

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

**EFFECTO DEL MANEJO EN LA PRODUCTIVIDAD ESTACIONAL Y TOTAL
EN AVENA FORRAJERA**

por

Mauro LONG CURBELO

Guillermo NÚÑEZ GOSSIO

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

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2023**

Trabajo final de grado aprobado por:

Director: _____

Ing. Agr. PhD. Federico Condón

Tribunal: _____

Ing. Agr. Esp. MSc. Ramiro Zanoniani

Ing. Agr. MSc. Dr. Fernando Lattanzi

Ing. Agr. MSc. PhD. Rodrigo Zarza

Ing. Agr. PhD. Federico Condón

Fecha: 27 de febrero de 2023

Estudiantes:

Mauro Long Curbelo

Guillermo Núñez Gossio

AGRADECIMIENTOS

A nuestro tutor Ing. Agr. PhD. Federico Condón por habernos brindado la oportunidad de llevar a cabo este trabajo de tesis, por el apoyo y por estar siempre atento a nuestro progreso y a disposición durante el desarrollo del mismo.

Al Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria “La Estanzuela” y al personal del Banco de Germoplasma, Laboratorio de Nutrición Animal y Pasturas y al Área de Pasturas, que nos permitieron hacer uso de las instalaciones y nos suministraron todo lo necesario para desarrollar el trabajo.

Al personal de la biblioteca de Facultad de Agronomía que nos facilitaron la búsqueda de material y estuvieron siempre a disposición.

A los correctores de la tesis Ings. Agrs. Ramiro Zanoniani, Rodrigo Zarza Fernando Lattanzi por la corrección efectuada y las recomendaciones de mejora realizadas.

Por último y más importante, a nuestras familias, novias y amigos por el apoyo incondicional y constante brindado durante todo el transcurso de nuestra etapa educativa.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VII
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	2
2.1. VERDEOS DE INVIERNO.....	2
2.1.1. Importancia, usos y superficie ocupada en Uruguay.....	2
2.1.2. Especies utilizadas.....	3
2.2. DESCRIPCIÓN DE LA AVENA COMO VERDEO DE INVIERNO.....	3
2.2.1. Cultivares evaluados.....	6
2.2.1.1. Estanzuela 1095a.....	6
2.2.1.2. INIA Columba.....	7
2.2.1.3. LEAv 1612.....	8
2.3. ÉPOCA DE SIEMBRA.....	8
2.3.1. Momentos de siembra utilizados en sistemas productivos en Uruguay.....	10
2.3.2. Factores que inciden en la germinación.....	11
2.3.2.1. Temperatura y humedad.....	11
2.4. ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO.....	12
2.4.1. Determinación del coeficiente de logro y el número de plantas.....	12
2.4.2. Fisiología del macollaje.....	13
2.4.3. Factores que afectan al macollaje.....	14
2.5. PRODUCCIÓN DE FORRAJE.....	17
2.5.1. Distribución y producción estacional y total.....	17
2.5.2. Acumulación de forraje con destino a reserva forrajera.....	17
2.6. MANEJO DE LA DEFOLIACIÓN.....	19
2.6.1. Número de hojas.....	23
2.6.2. Altura.....	24
2.6.3. NDVI.....	25
2.7. CALIDAD DE FORRAJE.....	27
2.7.1. Variables que determinan la calidad del forraje.....	27
2.7.1.1. Proteína cruda (PC).....	29
2.7.1.2. Fibra Detergente Neutro (FDN) y Ácido (FDA).....	30
2.7.1.3. Digestibilidad del forraje.....	30

2.8. EFECTOS DEL MANEJO DE LA DEFOLIACIÓN EN LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD DEL FORRAJE	31
3. MATERIALES Y MÉTODOS	35
3.1. CONDICIONES EXPERIMENTALES	35
3.1.1. Lugar y período experimental	35
3.1.2. Descripción del sitio experimental.....	35
3.1.3. Diseño experimental	35
3.1.3.1. Antecedente de chacra.....	36
3.1.3.2. Preparación de la siembra y manejo de las parcelas	36
3.1.4. Metodología experimental.....	38
3.1.4.1. Conteo de macollos, de tallos y número de plantas por metro lineal.....	38
3.1.4.2. Altura	38
3.1.4.3. Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)	39
3.1.4.4. Biomasa aérea disponible	39
3.1.4.5. Planta entera	40
3.1.4.6. Procesamiento de muestras de calidad.....	41
3.1.5. Manejo y análisis de datos.....	42
3.2. HIPÓTESIS	42
3.2.1. Hipótesis biológica	43
3.2.2. Hipótesis estadística	43
3.3. MODELO ESTADÍSTICO	44
4. RESULTADOS.....	46
4.1. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA	46
4.2. EFECTO DEL MANEJO DE LA DEFOLIACIÓN Y LA ÉPOCA DE SIEMBRA EN EL NÚMERO DE CORTES, TIEMPO ENTRE CORTES Y GRADOS DÍAS ACUMULADOS	47
4.3. ESTABLECIMIENTO Y DESARROLLO DEL CULTIVO.....	50
4.3.1. Plantas logradas	50
4.3.2. Evolución del número de macollos	50
4.3.2.1. Número de macollos en otoño.....	52
4.3.2.2. Número de macollos en invierno	52
4.3.2.3. Número de macollos en primavera.....	53
4.3.3. Cambios en la conformación de la planta: número de hojas y nudos en elongación evaluados en plantas enteras	54
4.4. PRODUCCIÓN DE BIOMASA.....	56
4.4.1. Producción estacional.....	56
4.4.1.1. Producción de biomasa en otoño	57
4.4.1.2. Producción de biomasa en invierno	59
4.4.1.3. Producción de biomasa en otoño + invierno.....	61
4.4.1.4. Producción de biomasa en primavera	63

4.4.2. Producción total	65
4.5. PARÁMETROS DE CALIDAD NUTRICIONAL.....	66
4.5.1. Identificación de factores asociados con la composición del forraje.....	66
4.5.1.1. Contenido de proteína cruda (PC).....	69
4.5.1.2. Fibra detergente neutro (FDN)	70
4.5.1.3. Fibra detergente ácido (FDA) y digestibilidad de la materia orgánica (DMO).....	72
4.5.1.4. Materia seca (MS)	75
4.5.1.5. Producción de proteína cruda estacional	76
4.5.1.6. Producción de materia seca digestible (MSD).....	80
4.5.1.7. Relación PC% - FDA%.....	82
4.6. TASA DE CRECIMIENTO	83
4.7. MEDIDAS INDIRECTAS DE PRODUCTIVIDAD	85
4.7.1. Relación altura-producción de biomasa.....	85
4.7.2. Relación NDVI-producción de biomasa	87
5. DISCUSIÓN	89
6. CONCLUSIONES	98
7. RESUMEN	99
8. SUMMARY.....	101
9. BIBLIOGRAFÍA.....	103
10. ANEXOS	126

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página no.
Cuadro No. 1 Superficie sembrada (ha) en Uruguay para distintos cultivos forrajeros anuales de invierno.....	4
Cuadro No. 2. Altura de corte óptima de <i>Avena sp.</i> según diferentes autores.....	25
Cuadro No. 3. Producción de forraje relativa al corte cada 100 días con remanentes de 10 cm de avena forrajera sometida a diferentes intensidades y frecuencias de defoliación.....	31
Cuadro No. 4. Producción y distribución estacional de forraje de avena (cv. E1095a) promedio de 3 años según la frecuencia de defoliación.....	33
Cuadro No. 5. Producción estacional y total de biomasa promedio de 2 ambientes edáficos diferentes según el manejo de la defoliación..	34
Cuadro No. 6. Fecha de cierre según época de siembra y manejo de la defoliación.....	40
Cuadro No. 7. Número de cortes realizados por estación y total según época de siembra y manejo de la defoliación.	48
Cuadro No. 8. Acumulación de grados días y número de días entre cortes según época de siembra y manejo de la defoliación.....	49
Cuadro No. 9 Resumen de significancia de efectos correspondiente al número de macollos promedio por estación de crecimiento	51
Cuadro No. 10. Número de macollos.m ² en invierno para la interacción genotipo por época de siembra.....	52
Cuadro No. 11. Promedio de macollos por época de siembra, manejo de la defoliación y genotipo para primavera.....	54
Cuadro No. 12. Número de hojas y nudos por planta según el manejo de la defoliación para el otoño, invierno y primavera.	55
Cuadro No. 13. Resumen de significancias de efectos correspondientes a la producción de biomasa estacional y total.....	57
Cuadro No. 14. Coeficiente de correlación del mejor modelo y significancia de factores y covariables por selección stepwise (p-crítico=0,15) en un modelo lineal múltiple para parámetros de calidad nutricional y tasa de crecimiento.....	68

Cuadro No. 15. Significancia de los efectos fijos para el análisis de contenido de proteína cruda (PC%) para cortes en estado vegetativo.	69
Cuadro No. 16. Significancia de los efectos fijos para el análisis de contenido fibra detergente neutro (FDN%).	71
Cuadro No. 17. Significancia de los efectos fijos para el análisis de contenido de fibra detergente ácido (FDA).	72
Cuadro No. 18. Comparaciones de medias para el parámetro fibra detergente ácido y digestibilidad de la materia orgánica según los efectos fijos significativos.	73
Cuadro No. 19. Significancia de los efectos fijos para el análisis de contenido de materia seca (MS).	76
Cuadro No. 20. Significancia de los efectos evaluados para tasa de crecimiento acumulada por estación y total.	84

Figura No.	Página no.
Figura No. 1. Temperatura mensual promedio y precipitaciones acumuladas mensuales para INIA La Estanzuela serie histórica 1965-2022 y para el año 2021.	47
Figura No. 2. Gráfico de caja del número de macollos por metro cuadrado promedio por estación de crecimiento según época de siembra y manejo de la defoliación.	51
Figura No. 3. Producción de biomasa disponible para la estación de otoño (kg MS.ha ⁻¹) según manejo de la defoliación (a) y época de siembra (b).	58
Figura No. 4. Producción de biomasa disponible en otoño (kg MS.ha ⁻¹) para la interacción a) manejo de la defoliación y época de siembra y b) manejo de defoliación y genotipo.	59
Figura No. 5. Producción de biomasa disponible (kg MS.ha ⁻¹) en invierno para a) el manejo de la defoliación y b) genotipo.	60
Figura No. 6. Producción de biomasa disponible (kg MS.ha ⁻¹) en invierno para la interacción manejo de la defoliación y época de siembra.	60
Figura No. 7. Producción de biomasa disponible para otoño + invierno (kg MS.ha ⁻¹) según a) manejo de la defoliación, b) época de siembra y c) genotipo.	62

Figura No. 8. Producción de biomasa disponible para otoño + invierno (kg MS.ha ⁻¹) para la interacción a) manejo de la defoliación y época de siembra y b) manejo de la defoliación y genotipo.....	63
Figura No. 9. Producción de biomasa disponible en primavera (kg MS.ha ⁻¹) según a) manejo de la defoliación y b) genotipo.	64
Figura No. 10. Producción de biomasa disponible en primavera (kg MS.ha ⁻¹) para la interacción a) manejo de la defoliación y época de siembra y b) manejo de la defoliación y genotipo.....	65
Figura No. 11. Evolución del porcentaje de proteína cruda desde el 5/5 al 12/10 según manejo de la defoliación.....	70
Figura No. 12. Evolución del porcentaje de fibra detergente neutro desde el 5/5 al 12/10 según manejo de la defoliación.	72
Figura No. 13. Evolución del porcentaje de fibra detergente ácido desde el 5/5 al 12/10 según manejo de la defoliación.	74
Figura No. 14. Evolución de la digestibilidad de la materia orgánica desde el 5/5 al 12/10 según el manejo de la defoliación.....	75
Figura No. 15. Producción de proteína cruda por hectárea por estación según a) manejo de la defoliación y b) época de siembra.	77
Figura No. 16 Producción de proteína cruda para la interacción época de siembra y manejo de la defoliación para a) otoño y b) otoño + invierno.	78
Figura No. 17. Producción de proteína cruda para la interacción manejo de la defoliación y genotipo para a) otoño, b) invierno, c) otoño + invierno y d) primavera.	79
Figura No. 18. Producción de materia seca digestible por estación según manejo de la defoliación.....	80
Figura No. 19. Producción de materia seca digestible por hectárea por estación para la interacción manejo de la defoliación y época de siembra.....	82
Figura No. 20. Relación entre porcentaje de fibra detergente ácido y porcentaje de proteína cruda.	83
Figura No. 21. Relación entre tasa de crecimiento y días desde el 5/5 al 12/10 según manejo de la defoliación.....	85
Figura No. 22. Relación entre producción de biomasa y altura para el a) manejo 3 hojas y b) manejo laxo.	86
Figura No. 23. Relación entre NDVI y producción de biomasa para el a) manejo 3 hojas y b) manejo laxo.	88

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los grandes desafíos para la producción ganadera tanto como lechera es poder cumplir con la demanda energética, la cual es relativamente constante a lo largo del año, con una oferta forrajera que es marcadamente estacional. En los sistemas de producción implementados en Uruguay, el período de final del verano y comienzo del otoño, hasta entrado el invierno suele ser una época donde hay déficit forrajero atribuido a la baja producción y lento crecimiento de las pasturas y también a que las nuevas áreas de pasturas están en fase de implantación.

Una de las herramientas con las que cuentan los productores es la implantación de verdes invernales, constituidos por gramíneas anuales como la avena, de rápido crecimiento inicial y capaz de proporcionar una alta producción otoñal. Los cultivos forrajeros anuales, o verdes, a diferencia de las pasturas plurianuales, pueden resultar costosos debido a que deben ser amortizados en solo un año. Por esto es fundamental realizar el mejor manejo posible con el objetivo de maximizar su rendimiento y poder diluir los costos por unidad de forraje producida.

Partes de esta optimización es planificación: variables de alto impacto en el rendimiento de la avena, como la fecha de siembra y el manejo del pastoreo, no tienen un costo económico agregado pero implican una planificación previa. El objetivo de este trabajo es evaluar el impacto de dos criterios de defoliación para definir el momento de cosecha de forraje, en interacción con la época de siembra en tres genotipos diferentes de avena, tanto en la productividad como en la calidad nutricional del forraje obtenido.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. VERDEOS DE INVIERNO

2.1.1. Importancia, usos y superficie ocupada en Uruguay

Según Carámbula (2002, 2007), los verdeos son cultivos forrajeros anuales que cumplen el cometido de aportar forraje en épocas críticas, como lo son el invierno, cuando las pasturas naturales, los mejoramientos de campo y las praderas sembradas disminuyen su productividad. Estos verdeos son en general gramíneas templadas, cuyas temperaturas óptimas de desarrollo son entre 15 y 20°C (Zanoniani y Ducamp, 2000). Se utilizan tanto puros como en mezclas o asociados; mediante la mezcla se logran aumentar los rendimientos y prolongar el ciclo productivo del verdeo (Carámbula, 2002).

Dichos cultivos anuales son de fácil implantación y manejo, además de que constituyen pasturas de alta productividad y calidad en un período corto de tiempo (Zanoniani y Ducamp, 2000, Carámbula, 2002). Adicionalmente a su importante producción en épocas críticas del año, ofrecen también en diversas circunstancias la posibilidad de poder efectuar un mejor manejo al resto de las pasturas del sistema productivo. Como contraparte, dicha alternativa forrajera presenta costos de instalación altos relativos a su período de utilización y en relación a las pasturas, dado que son amortizados en un solo período productivo (Amigone y Kloster, 1997, Carámbula, 2002, 2007).

Las especies y los cultivares de verdeos presentan diferentes características morfofisiológicas, como lo son el hábito de crecimiento, la precocidad en la producción de forraje, la capacidad macolladora, el tamaño de hoja, la sanidad foliar, la época de floración, el ciclo productivo y el rendimiento potencial de grano (Ayala et al., 2010). Estas características definen el destino productivo, así como también su ubicación dentro de los sistemas productivos (Carámbula y García, 1979). El uso de estos se concentra principalmente en sistemas lecheros y en menor proporción en sistemas de producción de carne vacuna y ovina (Carámbula, 2002).

Para los sistemas productivos lecheros y ganaderos de invernada son utilizados para mantener una alta producción individual en la época invernal. En otros sistemas también permite aumentar la eficiencia de cosecha al poder mantener una mayor carga durante el invierno y en la primavera hacer un uso eficiente de las pasturas perennes del sistema (Amigone y Kloster, 1997).

2.1.2. Especies utilizadas

En la actualidad existe una amplia variedad de especies y cultivares utilizables como verdeos de invierno según el momento del año donde se requiera el forraje (Perrachón, 2009).

Los verdeos invernales corresponden a la mayoría de los cereales tales como avena, trigo, cebada, centeno y triticale, así como también se incluye al raigrás anual y la cebadilla. De estos, las especies tradicionalmente más usadas son la avena y el raigrás (Zanoniani y Ducamp, 2000, Carámbula, 2007).

2.2. DESCRIPCIÓN DE LA AVENA COMO VERDEO DE INVIERNO

En nuestro país, la avena siempre fue el verdeo de invierno por excelencia (Zarza et al., 2009). Según la Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MGAP. DIEA, 2011), para el año censal la avena fue el verdeo con mayor superficie sembrada representando un 52% del total del área de cultivos forrajeros anuales invernales sembrados (cuadro no. 1).

En la última década se estima que la avena ha representado alrededor de 100000 ha anuales, lo que representa en promedio un 23% de la superficie sembrada de verdeos de invierno (estimación hecha en base al volumen de semilla comercializado) (Maranges y Rossi, 2021). Se debe notar que esta estimación no pondera la semilla guardada por los productores para uso propio, lo que la diferencia de otras estimaciones que indican una mayor área y una mayor participación de la avena en el área de verdeos de invierno, como es por ejemplo el Censo General Agropecuario del MGAP.

Cuadro No. 1 Superficie sembrada (ha) en Uruguay para distintos cultivos forrajeros anuales de invierno.

Año Censal	1950	1966	1970	1980	1990	2000	2011
Avena (Total)	356.053	355.258	250.566	296.453	263.810	235.552	228.861
Avena doble propósito	80.713	102.263	66.596	65.018	52.037	32.251	s.d
Avena pastoreo	275.340	252.995	183.970	149.842	211.773	203.301	s.d
Raigrás anual	7.208	82.416	59.377	39.265	53.335	98.251	199.594
Otros	38.501	46.523	18.218	4.658	9.946	26.007	12.340
Total verdeos de invierno	401.762	484.197	328.161	340.376	330.421	359.810	440.795
% Avena	88,6%	73,4%	76,4%	87,1%	79,8%	65,5%	52,0%

Fuente: tomado de Hernández y Piñeyro, 2020.

Es utilizada principalmente en los tambos para cubrir los requerimientos en cantidad y calidad que las praderas permanentes no pueden suplir (Millot et al., 1981a, Rebuffo, 2000).

La avena tiene una gran plasticidad en cuanto a su uso. Admite el pastoreo directo como también la henificación (Amigone y Kloster, 1997, Rebuffo, 2000). Su tolerancia a las altas temperaturas y déficit hídrico en etapa de plántula permiten que pueda ser sembrada tan temprano como a partir del 15 de enero (Ayala et al., 2010). Ante estas siembras tempranas es capaz de entregar forraje temprano en el otoño, característica que la destaca ante otras especies como puede ser el raigrás (Zanoniani y Ducamp, 2000, Formoso, 2010c, Zarza y Condón, 2021).

Permite tanto la siembra pura como en mezcla. La mezcla con raigrás se realiza con el fin de obtener una producción más estable a lo largo del año (Carámbula, 2002).

El género avena tiene varias especies (Kent, 2019). A nivel comercial las utilizadas son: *Avena sativa subsp. byzantina* Koch, *Avena sativa subsp. sativa* L. y *Avena strigosa* Schreb. (Zanoniani y Ducamp, 2000). Los cultivares de avena se diferencian por su velocidad de crecimiento inicial, condicionando el primer pastoreo y la curva de entrega del forraje (Amigone y Kloster, 1997), y también por su capacidad de macollaje (Rebuffo, 2000). También presentan diversidad en su ciclo, que va desde materiales precoces que responden a la suma térmica (común en materiales de avena blanca provenientes de Brasil o Estados Unidos, usados para producción de grano) hasta genotipo que tienen requerimientos de frío y respuesta al fotoperíodo y se adaptan mejor al pastoreo directo por mantenerse vegetativos durante más tiempo (ejemplo: E 1095a)¹.

La *Avena sativa subsp. byzantina* o amarilla, en los cultivares disponibles en Uruguay (como por ejemplo, los cultivares E1095a, y su re-selección ('RLE 115') se caracteriza por tener un macollaje denso y hojas finas (Ayala et al., 2010). Estas características sumadas a su ciclo largo la hacen una especie adaptada al pastoreo. Como cultivo de doble propósito es capaz de entregar buena cantidad de forraje y grano en siembras otoñales (Zanoniani y Ducamp, 2000). Sin embargo, su rendimiento en grano es menor al de la *Avena sativa subsp. sativa* (Ayala et al., 2010), conjuntamente con que presenta

¹ Federico Condón. 2022. Com. personal.

susceptibilidad al vuelco por tener tallos finos y débiles (Rebuffo, 1997, Ayala et al., 2010).

Las avenas blancas o *Avena sativa subsp. sativa* disponibles en Uruguay presentan un menor macollaje, cañas más gruesas y son más resistentes al vuelco (Zanoniani y Ducamp, 2000, Carámbula, 2007). Esta especie, en el país, es tradicionalmente destinada a la producción de grano. Presenta un ciclo más corto que la bizantina (Rebuffo, 1997, Zanoniani y Ducamp, 2000), por lo que sus siembras son más tardías (Zanoniani y Ducamp, 2000).

Los cultivares de *Avena strigosa* o negra del Uruguay son de escaso macollaje y de ciclo muy corto (Zanoniani y Ducamp, 2000). Su rendimiento en grano es muy bajo. Se utiliza por su alto potencial para la producción temprana de forraje dado su gran precocidad (Carámbula, 2007, Ayala et al., 2010).

Con referencia a la avena amarilla y blanca, Carámbula (2007) afirma que presenta la máxima calidad frente a los demás cereales invernales en cuanto a su uso para reserva forrajera, tanto en la confección de henos por sus tallos finos y bajo contenido en fibra como para la de ensilajes. Por esta misma característica, es posible pastorear la avena incluso cuando la misma se encuentra panojada y llenando grano, dado que su calidad se mantiene asociada a un correcto balance nutricional del forraje, lo que permite altas ganancias diarias a los animales en pastoreo (INTA, 2019).

2.2.1. Cultivares evaluados

2.2.1.1. Estanzuela 1095a

Este es el cultivar de avena bizantina más difundido en el Uruguay. Presenta características de marcada diversidad entre sus plantas, con porte vegetativo predominantemente semi-postrado, variando de erecto a postrado (Ayala et al., 2010). Presenta floración temprana, tallos y hojas finas y produce

una muy alta cantidad de macollos (Rebuffo, 1997). La diversidad también se refleja en su infección en royas, variando entre plantas².

Se puede sembrar bajo siembra directa como también bajo laboreo convencional, tiene una amplia ventana de siembra que va desde enero hasta agosto (Ayala et al., 2010), con una floración que no se adelanta por exceso de acumulación de forraje o suma térmica temprana². Presenta un alto vigor inicial y buen rebrote después de los pastoreos (Ayala et al., 2010).

Se destaca por su alta producción otoñal y buena calidad de forraje. Durante la etapa reproductiva, debido a sus tallos finos y altos, son susceptibles al vuelco (Rebuffo, 1997, Ayala et al., 2010). Es capaz de producir altos volúmenes de heno en primavera, en cambio tiene solamente aceptable rendimiento en grano (Ayala et al., 2010).

Ha demostrado estabilidad en cuanto a su resistencia a la roya, siendo aceptable para la roya de la hoja y muy buena para la roya del tallo (Ayala et al., 2010).

2.2.1.2. INIA Columba

Cultivar obtenido mediante el cruzamiento de E1095a e INIA Polaris (A. sativa subsp. sativa). De hábito vegetativo semi-postrado y de tallos gruesos en etapa reproductiva (Ayala et al., 2010, Condón et al., 2016).

Se adapta a siembras de febrero pero presenta mejor comportamiento a partir de marzo (Ayala et al., 2010, Condón et al., 2016). Aunque su ciclo en siembras tempranas es más corto que el de E1095a, posee una muy buena capacidad de rebrote estando encañada (Condón et al., 2016).

Su aptitud para el manejo doble propósito, ya sea para grano o reserva forrajera, es la cualidad que la destaca. Es capaz de una alta producción en grano, sobretodo en siembras de junio o julio. Presenta tallos gruesos y menor altura, por lo tanto, es menos susceptible al vuelco (Ayala et al., 2010).

² Federico Condón. 2022. Com. personal.

Ha demostrado mejor comportamiento sanitario ante la roya de la hoja que E1095a y también presenta un buen comportamiento ante la roya del tallo (Condón et al., 2016).

2.2.1.3. LEAv 1612

Es un genotipo de avena blanca, seleccionado de una colección de avena proveniente de la Quacker International Oat Nursery (QION), en Estados Unidos. Se trata de una avena que se encuentra en fase experimental, habiéndose evaluado en el Programa Nacional de Evaluación de Cultivares, pero que todavía no ha sido liberada. Muestra un comportamiento aceptable con respecto a roya de hoja, ciclo intermedio a corto, casi un mes más corto que E 1095a, buena adaptación al pastoreo y muy buen rendimiento de grano (Hernández y Piñeyro, 2020).

2.3. ÉPOCA DE SIEMBRA

Según Carámbula (2007), la época de siembra define el patrón de la distribución de forraje, dado que la misma está íntimamente relacionada con el volumen de forraje producido y, coincidentemente con Zanoniani y Noëll (1997), Rebuffo (2000) y Kent (2019), con la rapidez con la cual el forraje pueda ser utilizado mediante pastoreo.

Debido a la dependencia de las plantas forrajeras a los factores ambientales como lo son temperatura, intensidad de luz, balance hídrico y la disponibilidad de nutrientes, fundamentalmente el nitrógeno, la fecha de siembra es el factor de mayor importancia, dado que es el que tiene relación directa con el estado de estas variables en los diferentes estadios del cultivo (Zanoniani y Noëll, 1997). Tanto en avena como en raigrás, la elección de la época de siembra es generalmente más importante incluso que la elección del cultivar para determinar la producción otoño-invernal del verdeo (INIA, 2018).

En relación a la productividad del verdeo de avena, Holt (1972), Forsberg y Reeves (1995), Zanoniani y Noëll (1997), Carámbula (2007), Coblentz et al.

(2011) y Noutary (2014) coinciden en que existe una reducción en la producción total de forraje al atrasar la fecha de siembra, mientras que según Kent (2019), la productividad del verdeo no se ve afectada. Carámbula (1977, 2007) destaca que, si bien en algunas situaciones la producción total de forraje entre épocas de siembra tempranas y tardías varía muy poco, son las fechas tempranas de siembra las que realmente permiten disponer de forraje en los períodos críticos de deficiencia, cumpliendo con uno de los objetivos de estos cultivos. De forma numérica, Noutary (2014) señala que las siembras tempranas producen un 24% más de forraje en promedio que las tardías. Según INIA Uruguay (2021), existe una superioridad de hasta 2000 kg MS.ha⁻¹ en la producción otoñal de las siembras tempranas (febrero) en comparación con las siembras más tardías (marzo).

En siembras tempranas, de fines de febrero - inicios de marzo, el primer pastoreo se realiza entre 45 y 60 días post-siembra (Rebuffo, 2000). Sin embargo, un atraso en la fecha de siembra significa menores tasas de crecimiento como consecuencia de las bajas temperaturas a las cuales estará sometido el verdeo durante su implantación (Zanoniani y Noëll, 1997), causando un incremento exponencial de los días hasta la primera utilización, es decir, que el primer pastoreo sea más tardío (Zanoniani y Noëll, 1997, Rebuffo, 2000, Kent, 2019). Esto último no coincide con el objetivo agronómico de las siembras de verdeos de obtener forraje para pastoreo de manera temprana (Carámbula, 2007). El atraso también provoca una concentración de la producción hacia la primavera (Zanoniani y Noëll, 1997, Carámbula, 2007, Kent, 2019), ocasionando frecuentemente bajas utilizaciones totales y un menor período de aprovechamiento del verdeo (Zanoniani y Noëll, 1997, Carámbula, 2007).

Las fechas de siembra tempranas poseen sus propios desafíos. Se presenta una mayor probabilidad de déficit hídrico durante la implantación; incluso cuando la avena es capaz de crecer en condiciones de menor humedad en comparación a otros cultivos forrajeros, el déficit severo puede implicar incluso una pérdida total del cultivo. Frecuentemente estas siembras presentan germinaciones pobres, con poblaciones más ralas y desperejas (Rebuffo, 2000, Carámbula, 2007, Formoso, 2007). Las siembras muy tempranas son expuestas también a ataques más severos de plagas (Rebuffo, 2000, Carámbula, 2007, Noutary, 2014) y enfermedades foliares como las royas (Rebuffo, 2000, Carámbula, 2007).

Se debe tener en cuenta que siembras tempranas inducen la floración de ciertas avenas y estas tienden a encañar, por lo que se recomienda el pastoreo de las mismas para evitarlo y no comprometer la vida útil del verdeo (Rebuffo, 2000, Noutary, 2014).

La fecha de floración de las avenas forrajeras tiene baja respuesta ante la fecha de siembra ya que la misma está regulada mayoritariamente por el fotoperíodo y vernalización. Sin embargo, los genotipos de avenas desarrollados para producción de grano responden principalmente a la suma térmica, factor que determina que su floración sea variable en función de la fecha de siembra (Condón et al., 2021). En dicho trabajo llevado a cabo durante un año en Uruguay, se encontró que sembrando el 14 de febrero los cultivares E1095a e INIA Columba produjeron forraje hasta el mes de agosto u octubre dependiendo del manejo, mientras que el cultivar experimental catalogado como para producción de grano solamente produjo forraje hasta mayo.

2.3.1. Momentos de siembra utilizados en sistemas productivos en Uruguay

El período de siembra en Uruguay se extiende desde el mes de febrero hasta julio, dependiendo la variedad y el destino de la misma (Carámbula, 2007, Perrachón, 2009).

Para el cultivo de avena como forraje las fechas de siembra de febrero y principios de marzo son elegidas con el objetivo de obtener producción de forraje en el período crítico de otoño e invierno (Rebuffo, 2000, Carámbula, 2007). En explotaciones lecheras la siembra se realiza incluso desde mediados de enero (Rebuffo, 1997, Carámbula, 2007, Ayala et al., 2010, Perrachón y Formoso, s.f.). Las fechas de abril y mayo permiten obtener mayores rendimientos primaverales, en detrimento de la producción otoñal. Finalmente, para la producción de grano, la época de siembra más apropiada es durante los meses de junio y julio (Rebuffo, 2000).

Formoso (2010a) recomienda para *Avena sativa* subsp. *sativa* siembras de mediados a fines de marzo, priorizando la seguridad de que no encañen temprano, pero determinando también menores rendimientos otoñales de forraje.

Según Formoso (2010b), basado en resultados de 58 establecimientos de producción intensiva recopilada por grupos CREA, el 32% de los casos estudiados siembra avena en el mes de febrero, un 45% lo hace en marzo y el restante 23% lo hace en abril y mayo.

2.3.2. Factores que inciden en la germinación

2.3.2.1. Temperatura y humedad

La temperatura y la humedad son los principales factores determinantes en la elección de la época de siembra. De nada sirve aplicar los métodos de siembra correctos si la época de siembra no es la adecuada (Carámbula, 2003). Para una germinación rápida y uniforme se requiere que el suelo tenga un contenido de humedad adecuado. Una baja humedad en suelo retrasa e incluso impide la germinación (Carámbula, 2003, Javaid et al., 2022) y las semillas quedan expuestas al ataque de insectos (Carámbula, 2003). Por otro lado, suelos muy húmedos pueden provocar la muerte de la semilla o plántula por anoxia (Carámbula, 2003, 2007).

El contenido de humedad en suelo es variable a lo largo del año. Dado por el balance hídrico, en verano, debido a la alta evapotranspiración, el suelo generalmente presenta niveles deficientes de agua. En otoño, con temperaturas decrecientes, disminuye la evapotranspiración e incrementa la humedad del suelo hasta eventualmente llegar a su saturación en invierno (Carámbula, 2003).

La temperatura en Uruguay tiene sus máximos valores en enero y luego decrece lentamente hasta junio, momento en el que comienza a elevarse nuevamente (Carámbula, 2003). En verano, las temperaturas máximas pueden alcanzar valores perjudicialmente altos, de hasta 45°C (Carámbula, 2003), por lo que la siembra en verano provocaría un crecimiento más lento y efectos negativos sobre la germinación (Rebuffo, 2000). En siembras tardías sucede el mismo efecto, debido a las menores temperaturas, el porcentaje de germinación es menor y el crecimiento de las plántulas se enlentece (Carámbula, 2003). La

temperatura es el principal determinante de la germinación cuando los otros factores no son limitantes (Javaid et al., 2022).

2.4. ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO

El establecimiento o implantación se define como el número de plantas saludables que se establecen en la pastura, y está limitado a las primeras semanas del cultivo (Carámbula, 2003), desde la siembra hasta que el número de plantas logradas se mantiene estable (Zarza, 2020). Este proceso se puede subdividir en 3 etapas: la germinación, la emergencia y el porcentaje de establecimiento (Carámbula, 2003, Zarza, 2020).

Para tomar la decisión sobre a qué densidad sembrar es necesario, además de tener un número de plantas objetivo, conocer el peso de las semillas, el porcentaje de germinación y pureza y el coeficiente de logro (Zarza, 2020).

2.4.1. Determinación del coeficiente de logro y el número de plantas

Para lograr un número de plantas objetivo, es necesario considerar tanto el coeficiente de logro esperado como también las características del lote de semillas al momento de definir la densidad de siembra. Las características del lote de semilla son pureza, germinación y peso de mil semillas (PMS), factores que determinan la proporción de semillas viables en el lote (Zarza, 2020). Por otro lado, el coeficiente de logro relaciona el número de plántulas logradas y el número de semillas viables sembradas (Perrachón, 2016, Zarza, 2020). En él se engloban todos los factores ambientales que afectan la siembra y todo lo referido al manejo de la semilla durante la siembra (Zarza, 2020).

El número de plantas aparece en la fórmula de cálculo de densidad de siembra y coeficiente de logro. Es importante en la determinación del rendimiento de una pastura, ya que este se compone por el número de plantas por el peso de cada planta (Zarza, 2020). La población de plantas recomendada para la avena es de 200 a 250 pl.m⁻², aumentando la población objetivo conforme al atraso en la fecha de siembra (INTA Bordenave, 2003). Perrachón (2016), basado en Zarza

y en otros trabajos realizados por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), coincide en que el número de plantas nacidas por metro cuadrado recomendado para avena es de 200 pl.m².

La densidad de siembra varía según el cultivar utilizado debido a la diferencia de peso entre sus semillas y a su capacidad macolladora. LE 1095a generalmente se siembra a densidades de 100 kg.ha⁻¹, lo que equivale a 300 semillas viables por hectárea (Rebuffo, 2000). En general, una recomendación de densidad de siembra para avena para forraje varía entre 100 y 120 kg.ha⁻¹ (Rebuffo, 1997).

2.4.2. Fisiología del macollaje

El proceso de macollaje es un proceso relativamente discontinuo que comienza durante la fase vegetativa de la planta y es bloqueado en la fase reproductiva por la dominancia apical. Consiste en la formación de macollas a partir de yemas ubicadas en las axilas de las hojas (Carámbula, 2002). El crecimiento y desarrollo foliar determina la cantidad de yemas que potencialmente pueden generar macollos (Colabelli et al., 1998, Borrajo y Alonso, 2015). Estas macollas a su vez, debido a la semejanza de sus puntos de crecimiento con el que le dio origen, desarrollará nuevas hojas y en su meristemo axilar podrán formarse nuevas macollas (Carámbula, 2002).

El tamaño y la densidad de macollos puede verse alterado según la calidad de la luz incidente sobre la pastura. Debido a que las longitudes de onda PAR son absorbidas principalmente por el estrato superior, la cantidad y calidad de luz que llega al estrato inferior se ve reducida. Esta diferencia es mayor cuando canopeo es denso y menor cuando es bajo y abierto (Colabelli et al., 1998).

La luz es un regulador de la dominancia apical (Schneider et al., 2019). Al mejorar la calidad de luz, es decir, el aumento de la relación rojo/rojo lejano, el macollaje se incrementa (Deregibus et al., 1983, Demotes-Mainard et al., 2016). En cambio, al disminuir esta relación, el macollaje se ve reducido (Casal et al., 1987). La calidad de la luz puede afectar el macollaje de 3 maneras, sobre el número de nudos primarios (sitios de macollamiento potencial), la probabilidad

de que una yema crezca (Schneider et al., 2019) y el tiempo en el que un meristemo axilar comience su crecimiento (Bos y Neuteboom, 1998, Evers et al., 2006, Demotes-Mainard et al., 2016).

El proceso de macollaje es inhibido en las gramíneas anuales por la dominancia apical (Briske, 1991). Existen dos mecanismos fisiológicos que podrían explicar la dominancia apical (Schneider et al., 2019). Una teoría es que el meristema apical produce de forma continua la fitohormona auxina (Domagalska y Leyser, 2011), la cual es transportada a través del tallo basipetamente (Cline, 1994, Ongaro y Leyser, 2007, Domagalska y Leyser, 2011). La presencia de la auxina por un lado controla la producción de citoquinina y estrigolactona, hormonas que controlan la formación de macollos (teoría del mensajero secundario). Por otro lado, el transporte de la auxina a través del tallo no permite que se exporte la auxina de la yema axilar, proceso necesario para el brote de la misma (teoría de la canalización) (Domagalska y Leyser, 2011). El otro mecanismo fisiológico que regula la dominancia apical se basa en la competencia por nutrientes, la cual consiste en la privación y control nutricional de las yemas axilares mientras que el ápice está en crecimiento (Briske, 1991, Schneider et al., 2019). El crecimiento de las yemas axilares deja de estar latente una vez que la yema apical detiene su crecimiento (Schneider et al., 2019).

2.4.3. Factores que afectan al macollaje

Carámbula (2002) y McSteen (2009) plantean que las condiciones que afectan al macollaje pueden ser categorizados en condiciones intrínsecas, llamados factores genéticos, y condiciones extrínsecas, asociados a factores ambientales. Si bien son clasificados de forma diferencial, está claro que no son efectos independientes, sino que interaccionan frecuentemente entre sí (Assuero y Tognetti, 2010).

Las condiciones intrínsecas refieren a la velocidad de macollaje de las plantas adultas y a las diferencias que hay entre especies con respecto al número de hojas necesarias para que comience el proceso de macollaje (Carámbula, 2002). La velocidad de macollaje depende fundamentalmente de la tasa de aparición de hojas (TAH) y del tiempo que transcurra entre la formación del meristema axilar y su expansión y crecimiento (Carámbula, 2002). Para el caso

de la avena, White (1995) reporta que cuando la plántula tiene entre 2 y 4 hojas desarrolladas comienzan a emerger los macollos.

Las condiciones extrínsecas que afectan al proceso de macollaje son la luz, la temperatura, la disponibilidad de nutrientes y la disponibilidad de agua (Carámbula, 2002).

El efecto de la luz tiene un impacto directo tanto por su intensidad como por su calidad como regulador de los procesos fisiológicos del macollaje (Deregibus et al., 1983, Demotes-Mainard et al., 2016). La intensidad tiene efecto sobre la producción de asimilatos, con lo que un déficit de los mismos determinaría que se priorice el uso de los carbohidratos en el proceso de formación de hojas en lugar de macollos (Carámbula, 2002).

La temperatura, en cambio, actúa indirectamente sobre el macollaje de dos maneras. La primera, sobre la TAH, a mayor temperatura (dentro de cierto rango) mayor la TAH (Colabelli et al., 1998). La segunda manera en la que puede afectar es sobre las reservas de fotoasimilados de las plantas. Cuando la temperatura nocturna es alta, ocurre un incremento en la respiración (20 a 46% más por cada 10°C de aumento (Frantz et al., 2004), lo que conlleva una mayor pérdida de los fotoasimilados (Carámbula, 2002, Frantz et al., 2004), por lo cual el macollaje se ve reducido (Carámbula, 2002).

El reclutamiento de macollos decrece con frecuencias e intensidades mayores de pastoreo (Stout et al., 1981). Sin embargo, los efectos de la frecuencia y la intensidad de la defoliación en la iniciación del macollaje post pastoreo son difíciles de generalizar y son fácilmente confundidos con el desarrollo fenológico de la pastura y la ocurrencia de factores ambientales estacionales (Briske y Richards, 1995). Alturas de pastoreo bajas producen una alta población de macollos pequeños, mientras que mayores alturas de pastoreo generan una menor población de macollos pero de mayor tamaño (Matthew et al., 1995). Pastoreos aliviados generan un mayor sombreado y desaceleran el macollaje (Pujol, 1998). Manteniendo la frecuencia de defoliación, a mayores intensidades de defoliación hay una reducción en la densidad de macollos. Pasar de defoliaciones cada 2 semanas a cada 4 y 6 semanas provoca una disminución de la densidad de macollos y un aumento en el peso de cada macollo a una misma intensidad (Matthew et al., 2000)

El suministro de nitrógeno tiene un efecto directo sobre el macollaje, ya que el número de macollos responde fuertemente a la fertilización con nitrógeno (Colabelli et al., 1998, Amin et al., 2006, Bauer y von Wirén, 2020). A su vez, este nutriente tiene también un efecto indirecto en el macollaje dado por el impacto que causa en la TAH, pudiendo aumentarla hasta en un 20% en especies cespitosas (Deregibus, 2007). El efecto del nitrógeno es más evidente cuando la planta se enfrenta a condiciones óptimas de temperatura y a altas intensidades de luz (Carámbula, 2002); asimismo cuando el cultivo es denso, el efecto sobre el macollaje es inferior al efecto sobre plantas aisladas (Whitehead, 1970) debido a que en cultivos densos aumenta el sombreado en la base de la planta tornándose la luz el factor más limitante para el desarrollo de nuevos macollos (Simon y Lemaire, 1987). Esto indica que la respuesta del macollaje al nitrógeno es fuertemente condicionada por factores asociados a la cubierta vegetal y al ambiente (Colabelli et al., 1998).

Bajo condiciones de deficiencia hídrica ocurre una reducción en la tasa de macollaje (Turner y Begg, 1978, Fernández et al., 2002, Borrajo et al., 2018). Turner y Begg (1978) y Assuero y Tognetti (2010) exponen que bajo estas condiciones también incrementa la tasa de senescencia de macollos. Ante la carencia hídrica, la tasa de crecimiento de la pastura se reduce (Turner y Begg, 1978), explicado fundamentalmente por la reducción de la eficiencia del uso de la radiación (Hussain et al., 2004), ya que una menor cantidad de energía es absorbida por el cultivo dado que el proceso de fotosíntesis se ve aminorado (Colabelli et al., 1998). Además, la deficiencia hídrica causa una disminución de la TAH como consecuencia de la sensible disminución de la tasa de elongación foliar, lo que altera negativamente el número potencial de sitios de macollamiento (Assuero y Tognetti, 2010). Otro efecto que causa es la reducción en la relación parte aérea-raíz, donde el incremento del crecimiento de las raíces es mayor en proporción que el crecimiento de la parte aérea (Luxmoore y Millington, 1971, Hsiao y Acevedo, 1974, Turner y Begg, 1978). Esto se explicaría dado que la planta reduce el crecimiento aéreo antes de que se manifieste la reducción en la capacidad fotosintética de las hojas (Hsiao y Acevedo, 1974, Turner y Begg, 1978), lo que determina un incremento en los asimilatos disponibles (Hsiao y Acevedo, 1974), los cuales son utilizados en mayor proporción para el crecimiento radicular (Passioura, 1982).

2.5. PRODUCCIÓN DE FORRAJE

2.5.1. Distribución y producción estacional y total

Según Castro et al. (2020, 2021) LE1095a e INIA Columba no tuvieron diferencias significativas en la producción de forraje cuando se las evaluó como cultivos de doble propósito. Para siembras de comienzos de marzo, la producción de forraje total fue de 5092 y 5484 kg MS.ha⁻¹ en 2020 y de 3287 y 3305 kg MS.ha⁻¹ para el 2021, para el cultivar LE1095a e INIA Columba, respectivamente. Post cierre para ambos años existieron diferencias significativas en la producción de MS, en el 2020, E1095a obtuvo un rendimiento superior, 11526 contra 7086 kg MS.ha⁻¹. Sin embargo en 2021 INIA Columba obtuvo mayores rendimientos, con 7857 kg MS.ha⁻¹ en comparación con los 5471 kg MS.ha⁻¹ de LE1095a.

En un experimento llevado a cabo durante 3 años en Uruguay, con 2 manejos de corte, se obtuvieron producciones totales de entre 6500 y 10800 kg MS.ha⁻¹. La distribución de producción de forraje promedio fue de 39% (con un valor máximo de 49% y un mínimo de 34% según el año y manejo) en el otoño, un 28% (rango de 31% a 21%) promedio en invierno y 33% (rango de 35% a 30%) en primavera (Formoso, 2010c)

La tasa de crecimiento de la avena promedio para la estación de otoño es de 45 kg MS.ha⁻¹.d⁻¹, en el invierno la misma disminuye a 35 kg MS.ha⁻¹.d⁻¹ y en primavera vuelve a incrementarse (Castro et al., 2017, 2018, 2019, 2020, 2021).

2.5.2. Acumulación de forraje con destino a reserva forrajera

La avena presenta la máxima calidad frente a los demás cereales invernales en cuanto a su uso para reserva forrajera. Este cereal es prácticamente el único con destino a henolaje debido a que presenta tallos finos y bajo contenido relativo de fibra (Carámbula, 2007). Este autor sostiene que se pueden lograr ensilajes de muy buena calidad cosechando el forraje cuando las panojas emergen. Sin embargo, al menos en las condiciones de Nueva Zelanda,

la avena es utilizada en menor medida para ensilajes de planta entera en relación a los otros cereales, debido a que presenta menor relación grano:tallo y baja concentración de energía metabolizable en comparación a los demás cereales (DairyNZ, s.f.).

El momento de corte de la avena con destino a reserva forrajera influencia fuertemente el rendimiento y la calidad del forraje obtenida (Cuddeford, 1995), por lo cual el momento de corte implica un compromiso entre ambos (Squella y Ormeño, 2007, Irigoyen y Majó, 2011), el cual varía según la finalidad para la cual es realizada la reserva. Para utilizaciones con rodeos de alta demanda energética como sistemas de alta producción lechera es común el ensilaje en etapas de panojamiento o incluso antes, con el objetivo de maximizar la calidad del forraje (Cuddeford, 1995). Para rodeos con menores exigencias nutricionales como vacas secas y engordes se puede demorar el ensilaje hasta después del panojamiento para maximizar la cantidad de forraje cosechada (Cuddeford, 1995).

En términos generales se recomienda efectuar el corte en el estadio lechoso-pastoso del grano, donde hay buen volumen de materia seca y buena calidad, explicada por el aporte energético del grano (Cattani et al., 2008). Barnett et al. (1997) aclara que, si bien hay una disminución del porcentaje de DMO (digestibilidad de la materia orgánica) y PC (proteína cruda) del forraje cosechado, el estado de grano pastoso es el mejor para realizar el corte, dado que es cuando se obtiene la mayor cantidad de materia seca digestible. Un aspecto importante a considerar de esta especie es que, si bien el valor nutritivo del heno o ensilaje no decrece de forma tan importante como en otras especies al atrasar el corte, sí puede ocurrir pérdida de granos por caída ante un excesivo secado (Cattani et al., 2008).

Los valores de calidad del forraje para reserva oscilan entre 8 a 4% de contenido de proteína cruda (PC) y 70 a 55% de digestibilidad in vitro de la materia orgánica (Dear et al., 2005).

2.6. MANEJO DE LA DEFOLIACIÓN

Según Vallentine (2000) y Allen et al. (2011), el manejo del pastoreo es la manipulación del pastoreo en búsqueda de uno o más objetivos específicos basados en la respuesta vegetal, animal o económica. El manejo de la defoliación determina el éxito o el fracaso del proceso de producción de forraje (Carámbula, 2007). Éste se lleva a cabo a través del manejo conjunto de 3 variables que impactan a la producción de forraje: la intensidad, el momento y la frecuencia de la defoliación (García, 1996).

El objetivo de dicho manejo debe ser tal que maximice la producción de materia seca de buena calidad en la época crítica, cuando más se lo necesita (Zubizarreta, citado por Carámbula, 2007).

El manejo de la defoliación para obtener un sistema de pastoreo eficiente, el cual equilibre la producción de forraje, su calidad y la persistencia de la pastura, y que a su vez cumpla con el objetivo de obtener forraje en la época crítica se respalda en intensidades de defoliación severas (Parsons et al., 1988, Carámbula, 2007). Ante esos remanentes bajos, las frecuencias de pastoreo deberán ser lo suficientemente largas como para que se logre alcanzar la máxima tasa de crecimiento promedio y al mismo tiempo lo suficientemente cortas como para no alterar de forma negativa la estructura y producción futura de la pastura ante una elongación temprana (Parsons et al., 1988). Sin embargo, de acuerdo con Holt (1972), el manejo intenso deriva en sacrificar el rendimiento total del verdeo, dado que se afecta la rapidez del rebrote y el desarrollo de las plantas (Carámbula, 2007).

Cuando el objetivo del manejo de sistemas intensivos de producción de pasturas cultivadas es maximizar el crecimiento, la respuesta depende de: la estructura morfológica, la condición fisiológica y la respectiva plasticidad morfológica y fisiológica frente al manejo impuesto (Formoso, 1996).

El rebrote de las plantas es un proceso que en primera instancia se encuentra bajo control genético (Colabelli et al., 1998). En dicho proceso se involucran parámetros estructurales de la canopia como la población de macollas, número de hojas vivas por macollo y el tamaño de la hoja, los cuales determinan la dinámica del rebrote. La respuesta a la defoliación se da de 2

maneras: cuando ocurre un desbalance entre la oferta y la demanda de recursos causados principalmente por la defoliación, se da una respuesta fisiológica de corto plazo en las plantas. Dicha respuesta surge ante limitaciones de recursos por períodos cortos o ante frecuencias largas o intensidades laxas de defoliación. Cuando las limitaciones son más significativas, como bajo defoliaciones frecuentes y severas, donde la planta no logra restablecer la tasa original de suministro de recursos, se dan cambios morfológicos de largo plazo en las plantas (Chapman y Lemaire, 1993).

El rebrote se asocia a las reservas y al área foliar remanente conforme al tiempo transcurrido luego de la defoliación. Durante los primeros días post retiro del pastoreo el rebrote se concreta principalmente a expensas de reservas de carbohidratos situados en los entrenudos basales de los tallos (Gardner y Wiggans, 1960, Millot et al., 1981b, Pujol, 1998), en la base de las vainas de las hojas (Sprague, 1954) y en menor medida en las raíces (Fulkerson y Slack, 1994). Especies que presentan alto macollaje presentan ventajas por la existencia de mayores conexiones intermodulares entre los macollos, lo que determina una fuerte integración fisiológica que facilita el flujo de reservas dentro de la planta y que, por lo tanto, facilita el crecimiento post corte (Chapman y Lemaire, 1993).

Lograr altas velocidades de crecimiento luego de una defoliación depende fundamentalmente de la intensidad de defoliación (Kerrisk y Thomson, 1990). Davies (1974), en un experimento llevado a cabo sobre raigrás perenne, demuestra que defoliaciones más intensas, llegando incluso a no dejar hojas remanentes, provocan una disminución de la tasa de crecimiento post corte, relacionada a decrecimientos en la tasa de macollaje. Esta última decrece debido a una menor tasa de aparición foliar que condiciona la formación de meristemas que originen macollos. En otro experimento sobre raigrás, festuca y falaris llevado a cabo en dos años por Kerrisk y Thomson (1990), los tratamientos sometidos a una mayor altura de corte obtuvieron también mayores tasas de crecimiento en las estaciones de primavera, verano y otoño, y solamente para festuca se obtuvieron diferencias en invierno. Sin embargo, hay que considerar que dejar remanentes muy altos determinan desperdicio de forraje en el pastoreo inmediato y una disminución del forraje ofrecido en el próximo pastoreo debido a la muerte del material. En cambio, remanentes muy bajos causan un rebrote más lento y, por lo tanto, más largo (Chapman, 2016, Fariña et al., 2017).

El remanente mayor implica tasas de crecimiento post corte más altas (Parsons et al., 1988, Fulkerson y Slack, 1995, Pujol, 1998, Agnusdei et al., 2007) y, asimismo, tasas de mortandad de tejido mayores (Grant et al., 1981, Parsons et al., 1988, Pujol, 1998, Agnusdei et al., 2007). Bajo estos remanentes se alcanza la intercepción del 95% de la radiación incidente antes que bajo remanentes menores, lo que implica que, conforme a lo expresado por Parsons et al. (1988), la pastura está pronta para cortarse nuevamente dado que se alcanzó la máxima tasa de crecimiento (Chapman, 2016).

Según Chapman y Lemaire (1993), el mantener continuamente pasturas con altas cantidades de forraje, como se da en manejos poco frecuentes y/o poco intensos, afecta negativamente al crecimiento y a la utilización de la pastura. Dada la acumulación progresiva de material muerto (vainas y hojas) y el favorecimiento de dicho manejo a la extensión de los entrenudos basales, ocurre un decrecimiento constante de la relación hoja verde:tallo (Hunt y Broughman, 1967, Pujol, 1998). Esto determina que se limite la eficiencia fotosintética del material residual (Chapman y Lemaire, 1993) y que ocurra una inhibición del rebrote de las yemas situadas debajo del horizonte de pastoreo (Pujol, 1998). Esto último causa un decremento de la densidad de macollos (Hunt y Broughman, 1967, Pujol, 1998), lo cual se asocia estrechamente con menores rendimientos obtenidos por la pastura (Hernández Garay et al., 1997). Agnusdei et al. (2007) constatan lo anterior en experimentos llevado a cabo sobre festuca y agropiro, donde mayores alturas de remanentes se asocian con menor densidad de macollos. Pontes et al. (2003), sobre raigrás, concluyen que la densidad de macollos no se ve modificada por la altura de remanente. Sin embargo, en un estudio llevado a cabo por Fulkerson y Slack (1995) se reporta que el número de macollos por planta y el peso de los macollos en *Lolium perenne* se incrementó conforme al aumento de la altura del remanente, pasando de 2 a 5 cm y de 5 a 12 cm.

En remanentes altos, de 12 cm, el intervalo entre aparición de hojas fue el menor en comparación a remanentes de 5 y 2 cm (Fulkerson y Slack, 1995). Sin embargo, según Grant et al. (1981) y Chapman (2016), la tasa de aparición de hojas no se ve afectada ante intensidades de defoliación diferentes, al no ser que ésta sea lo suficientemente severa como para disminuir la TAH. El tamaño y el peso de las nuevas hojas que crecen post defoliación aumenta ante defoliaciones cada vez más laxas, dado que las hojas nuevas deben superar la

longitud de las vainas remanentes (Grant et al., 1981, Pujol, 1998, Chapman, 2016).

Carámbula (2007) sostiene que la altura de remanente ideal para verdeos de invierno para favorecer una refoliación rápida y asegurar la sobrevivencia de las plantas es de entre 6 y 7 cm. Por otra parte, INIA Uruguay (2020) recomienda remanentes de 5 cm en verdeos de invierno. Fulkerson y Slack (1995), para raigrás perenne, reportan que los mayores rendimientos de forraje se obtuvieron con remanentes de 5 cm cortando cada vez que había 3 hojas por macollo.

En el caso de la avena, nunca conviene realizar una defoliación rasa, ya que se encuentra la mayor parte de las reservas en los 5 cm basales de la planta (Rebuffo, 2000). Squella y Ormeño (2007) sostienen que lo apropiado sería dejar alturas de remanentes en avena de entre 7 y 10 cm. En un experimento realizado por Lowe y Bowdler (1988) la producción de materia seca total en Avena negra fue mayor cuando la altura de remanente disminuyó de 10 a 5 cm. Sin embargo, la producción desde mayo a julio no se vio afectada por la altura del remanente y de julio en adelante el rendimiento decreció con alturas de remanente mayores a 5. En otro experimento realizado por ellos no existieron diferencias en producción cuando el remanente fue de 5 o 10cm.

Parsons et al. (1988) demostraron que, para maximizar la cantidad de pastura cosechada por año, o sea el rendimiento de la misma, debe realizarse la defoliación cuando la tasa de crecimiento promedio sea máxima.

Para los verdeos invernales, Gomes y Reis (1999) proponen intervalos de cortes cada cuatro semanas como adecuados para obtener producciones de forraje de alto valor nutritivo; coincidentemente Carámbula (2007) indica que es adecuado el corte o pastoreo una vez cada 4 semanas, proceso que, a su vez, favorece el macollaje (Rebuffo, 1997).

En un experimento llevado a cabo en 2 años variando la intensidad y frecuencia de defoliación de un material de avena y uno de raigrás, Holt (1972) manifiesta que la defoliación menos frecuente resulta en una producción de forraje significativamente mayor. En avena, frecuencias de defoliación aliviadas, cada 45 días, permiten aumentar la producción de forraje en comparación a manejos más frecuentes (Formoso, 2010c). Para raigrás, 45 días corresponde a 3 hojas desarrolladas completamente (Chapman, 2016), lo cual concuerda con el

manejo recomendado para el verdeo (Fulkerson y Slack, 1995, Fulkerson y Donaghy, 2001, Fariña et al., 2017).

En una serie de experimentos llevados a cabo en *Avena strigosa* por Lowe y Bowdler (1988) se demostró que intervalos de la defoliación de 6 semanas obtienen la mayor producción de materia seca. A medida que la frecuencia de defoliación aumenta, disminuyen los rendimientos de materia seca. Los autores encontraron también que frecuencias de corte mayores a 6 semanas disminuyen el rendimiento.

2.6.1. Número de hojas

Las gramíneas forrajeras presentan un número de hojas vivas máximo el cuál se mantiene en equilibrio con la aparición de hojas nuevas y la senescencia de hojas viejas. Es posible ajustar una frecuencia de pastoreo teniendo en cuenta la velocidad de recambio foliar con el fin de optimizar la producción de la pastura y calidad de la misma y de esta manera se puede evitar la pérdida de forraje por senescencia (Colabelli et al., 1998).

Para *Dactylis glomerata*, Duru y Ducrocq (2000) reportan que el tiempo al cual la tasa de senescencia de la hoja iguala a la tasa de expansión de la misma es entre los 500 a 700 °CD. En dicho experimento se alcanzó esa igualdad de tasas en diferente cantidad de días según el año, dado por las condiciones imperantes del ambiente particular. Para 2 de los 4 años de evaluación, el raigrás alcanza la igualdad de tasas a los 60 días, mientras que en uno de los años ocurre a los 40 días post defoliación. El momento óptimo para realizar el pastoreo es cuando las tasas de senescencia y de elongación se igualan (Chapman, 2016).

Para la avena no se encontró información a nivel nacional sobre el número de hojas vivas por macollo. En un experimento llevado a cabo en Río Grande del Sur, Brasil, para *Avena strigosa*, el número de hojas vivas por macollo medidas fue de 2 en promedio (Confortin et al., 2010). En Pakistán, se realizó una evaluación de 9 cultivares *Avena sativa* y el número de hojas vivas por macollo varío en un rango de 3,8 y 5,2 (Hussain et al., 2010). En Irlanda, para 3

cultivares de Avena sativa el número de hojas verdes en el macollo principal oscilo en un rango de entre 3 y 3,7 (Finnan et al., 2019).

También se tomó como referencia el número de hojas vivas por macollo utilizados para el manejo de raigrás. Según Fariña et al. (2017), el número de hojas óptimo para el pastoreo del mismo es de 2,5 a 3, coincidentemente Rossi (2017) sugiere el pastoreo durante otoño e invierno cuando se alcanzan las 3 hojas en raigrás para producción de semilla. Según Fulkerson y Donaghy (2001), pastorear pasturas de *Lolium spp.* con más de 3 hojas vivas por macollo no solo que va a guiar al desperdicio de forraje sino que también el material senescente va a reducir la calidad del forraje disponible. Por lo tanto, el máximo intervalo de defoliación está determinado por el tiempo que le lleve a la planta desarrollar 3 hojas por macollo. Los autores determinan también un mínimo de 2 hojas por macollo, con lo cual defoliaciones por debajo de ese límite causan retardo y hasta la supresión del rebrote posterior, ocasionando la pérdida de plantas y, por lo tanto, de persistencia de la pastura.

Fulkerson y Slack (1995) llegaron a la conclusión de que en *Lolium perenne* el crecimiento post corte fue mayor en plantas cortadas cuando tenían 3 hojas en comparación a 1, atribuido al nivel de carbohidratos solubles en agua el cuál era mayor en las plantas defoliadas con menor frecuencia (3 hojas). Independientemente de la altura de remanente, se obtuvo una mayor producción de materia seca en los tratamientos con una defoliación cuando la planta alcanzó las 3 hojas que en 3 cortes cuando las plantas tenían una hoja.

La recomendación de defoliación con 3 hojas vivas se explica por lo siguiente: cuando hay 3 hojas vivas por macollo es cuando la cantidad de hojas viejas muriendo se iguala con la cantidad de nuevas hojas siendo producidas en el tope de la canopia. En ese momento se alcanza el máximo rendimiento y a partir de ese punto en adelante la tasa de acumulación neta es cero (Chapman, 2016).

2.6.2. Altura

La utilización de la altura del verdeo como criterio para el manejo de la defoliación resulta ser una herramienta de sencilla aplicación, de bajo costo y no

es destructiva. Además, a través de la misma es posible estimar la disponibilidad del forraje (Montossi et al., 2013).

La estimación de la disponibilidad se realiza con el uso de ecuaciones obtenidas a partir de la relación entre la altura y la disponibilidad. Las ecuaciones son generadas previamente mediante una regresión lineal entre la altura y la disponibilidad de forraje estimada por método de corte (Pravia et al., 2013).

Sin embargo, las ecuaciones de estimación difieren según la especie que componga el verdeo, su composición morfológica, densidad y estado fisiológico (Montossi et al., 2013).

En el caso de la avena, según varios trabajos, la disponibilidad varía entre 105 y 130 kg MS.cm⁻¹ de altura (De Barbieri et al., 2000, Montossi et al., 2013). En el caso de una avena en estado reproductivo, en un trabajo de tesis llevado a cabo durante un año, Dotta y Quintero (2018) encontraron una relación de 108 kg MS.cm⁻¹. La altura óptima de corte varía entre 15cm y 30cm (cuadro no. 2).

Cuadro No. 2. Altura de corte óptima de *Avena sp.* según diferentes autores.

Autor	Altura de entrada óptima (cm)
Millot et al. (1981b)	20
Squella y Ormeño (2007)	25 a 30
INTA (2011)	20
USDA (2006)	15 a 20
Tranier (2014)	25 a 30

2.6.3. NDVI

Las estimaciones de la cobertura de forraje por métodos satelitales es una técnica no destructiva que permite abarcar grandes superficies en tiempo real y con bajo costo. Esta estimación se basa en índices espectrales que se relacionan con la cobertura verde mediante la forma en que ocurre la reflectancia de radiación. A su vez, la cobertura vegetal se relaciona con la biomasa total de forraje, por lo que estos índices son capaces de estimarla (Pravia et al., 2013).

Entre los muchos índices existentes, el NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), resultado de imágenes satelitales de alta resolución, es el más usado para estimar cuantitativamente la producción de biomasa de pasturas anuales (Edirisinghe et al., 2011, Pravia et al., 2013, Cicore et al., 2016). De los índices estudiados por Cicore et al. (2016) para estimar la producción de biomasa aérea de una pastura dominada principalmente por *Thinopyrum ponticum*, el NDVI fue el que tuvo una significancia y un coeficiente de determinación más alto. Por lo tanto, para el trabajo, fue el índice con mejor capacidad predictiva.

Cicore et al. (2016) obtuvieron regresiones entre biomasa aérea y NDVI satelital con $r^2=0,85$ y $r^2=0,83$ para mediciones de NDVI realizadas en noviembre y diciembre respectivamente. Cabe destacar que fue realizado un solo corte sobre el crecimiento registrado en un mes desde una pastura homogénea que partió de 3 cm de remanente. En otro estudio llevado a cabo por Serrano et al. (2018) sobre pasturas naturales de Portugal, el NDVI explicó el 73% de la variación en la producción de biomasa medida, siendo dicha regresión lineal significativa. En el mismo estudio se comparó los valores de NDVI obtenidos y parámetros de calidad como FDN (fibra detergente neutro) y PC. Aumentos en los valores de NDVI se asociaban con valores de proteína mayores, con incrementos de 1,24% por cada decimal de incremento de NDVI, y valores de FDN menores, con decrementos de 3,58% por cada decimal de incremento de NDVI. La regresión lineal obtenida fue significativa, con $R^2= 0,69$ y $R^2= 0,78$ para PC y FDN respectivamente.

Edirisinghe et al. (2011) mediante experimentos llevados a cabo en el oeste de Australia durante 4 años sobre pasturas compuestas principalmente por *Trifolium subterraneum* y gramíneas anuales (*Bromus* spp., *Lolium rigidum*, *Hordeum leporinum*, entre otras) observaron que, sobre la totalidad de datos recopilados, no existió un patrón de respuesta claro entre NDVI y productividad. Sin embargo, emergieron patrones definidos de regresión entre ambos, que presentaban buen ajuste cuando se evaluó dentro de un mismo sitio y para un mismo año particular. A través de la corrección de la ecuación los investigadores encontraron una relación significativa exponencial con un $R^2= 0,82$ entre ambas variables. Esta ecuación de estimación única de la biomasa a través del NDVI surge de la estandarización de otras variables que afectan al ajuste, como lo son la fecha de emergencia del verdeo, la fecha de toma de la imagen satelital, el período productivo del verdeo, el año y el lugar. El modelo estimado se validó sobre pasturas de similar composición con rangos productivos observados de

500 a 4000 kg MS.ha⁻¹, logrando explicar el 85% de la variabilidad de la biomasa del potrero, con un error estándar de 315 kg MS.ha⁻¹.

El uso de sensores portátiles complementa a los satélites tradicionales, ya que permiten obtener medidas de productividad primaria más certeras, precisas y detalladas (Jaurena et al., 2015).

Una de las desventajas que plantea el uso de algoritmos y regresiones basados en sensores remotos es que son sitio y año dependientes, lo que dificulta el uso del modelo bajo otras condiciones que no sean las que le dieron origen (Lu, 2006). A su vez, el estado fenológico y el contenido de nitrógeno en las hojas hacen variar la relación entre el índice y la producción, por lo que influyen el ajuste del modelo y deben ser tenidos en cuenta (Jaurena et al., 2015).

2.7. CALIDAD DE FORRAJE

2.7.1. Variables que determinan la calidad del forraje

El valor nutritivo de las pasturas varía debido a diversos factores entre los cuales se encuentran el material genético (especie y cultivar), estado fenológico de la planta, fracción de la planta y factores ambientales (Trujillo y Uriarte, 2007).

En primer lugar, el factor genético es aquel que determina el valor nutritivo potencial que puede expresar una pastura según las condiciones ambientales a la que es sometida. Las leguminosas presentan valores superiores de nitrógeno y minerales en general en comparación con las gramíneas (Trujillo y Uriarte, 2007, McDonald et al., 2011). Esta diferencia se da en parte por el mayor contenido de pared celular de las gramíneas, el cual se relaciona inversamente con el contenido proteico (Trujillo y Uriarte, 2007). Entre cultivares también hay diferencias en su valor nutritivo, pero son de menor magnitud que las diferencias que se pueden encontrar entre especies (McDonald et al., 2011).

Las especies según a las condiciones ambientales a las cuales se han adaptado varían su valor nutritivo (Trujillo y Uriarte, 2007). Existen diferencias

nutricionales según el metabolismo fotosintético. Debido a sus características morfológicas y químicas las especies templadas, de metabolismo C3, presentan en general un mayor valor de digestibilidad, proteína cruda y minerales que las especies C4 (Barbehenn et al., 2004, McDonald et al., 2011). Estas últimas presentan una mayor proporción de tejido esclerénquimático y vascular mientras que presentan una menor proporción de mesófilo. A nivel morfológico las gramíneas templadas tienen una mayor proporción de lámina/vaina (Trujillo y Uriarte, 2007). Estas características resultan en una diferencia de digestibilidad promedio de 68,2 % para las C3 vs 55,5% para las C4 (Hacker, citado por Trujillo y Uriarte, 2007).

El estado fenológico es el factor más importante que afecta al valor nutritivo de las gramíneas (McDonald et al., 2011) y, por lo tanto, también al de las avenas (Burgess et al., 1972). A medida que avanza el estado de desarrollo de la planta ocurren cambios morfológicos y químicos que culminan en un empobrecimiento de la calidad nutricional de la misma (Dear et al., 2005, Trujillo y Uriarte, 2007), con la consecuente disminución del porcentaje de proteína y un aumento en el contenido de fibra (McDonald et al., 2011). A nivel morfológico la proporción de tallo aumenta en conjunto con el desarrollo. A nivel químico la digestibilidad del tallo disminuye al aumentar los tejidos de menor calidad como lignina y hemicelulosa (García, 2003, Trujillo y Uriarte, 2007, McDonald et al., 2011). La combinación de estos cambios concluye en una disminución de la digestibilidad de la planta entera (Trujillo y Uriarte, 2007). En las gramíneas la proporción de proteína cruda también decrece en la lámina con el aumento del desarrollo, pero la disminución no es tan grande como en el tallo (McDonald et al., 2011).

Los factores ambientales actúan sobre la distribución de los productos de la fotosíntesis. El valor nutritivo de las plantas es afectado según el destino de estos productos; los cuales pueden ser: al almacenamiento de reservas, al pool metabólico o a estructuras de sostén y defensa (Trujillo y Uriarte, 2007).

El factor ambiental de mayor influencia sobre la calidad de forraje es la temperatura, que al aumentar también aumenta la actividad metabólica y la lignificación de la pared celular, derivando en una reducción de la calidad forrajera ya que se reduce el contenido de nitratos, proteína y carbohidratos solubles del pool metabólico y aumenta el contenido de fibra (Wilson et al., 1991, Gillooly et al., 2001, Moore y Jung, 2001, Thorvaldsson et al., 2007, Trujillo y Uriarte, 2007).

La luz tiene un efecto positivo sobre la calidad, aumentando la energía disponible para la acumulación de azúcares y el metabolismo del nitrógeno. El nivel de nitrógeno en el suelo aumenta la producción de materia seca y el contenido proteico. Por último, la defoliación frena la lignificación debido a que la planta debe formar nuevas hojas para recomponer el área fotosintética por lo que tiene un efecto positivo sobre la calidad (Trujillo y Uriarte, 2007).

Las diferentes fracciones de la planta presentan diferencias en sus valores nutricionales. En plantas jóvenes, en estado vegetativo, la fracción lámina tiene valores de entre 15 a 25% de PC y 25 a 28% de FDN. Al analizar la fracción tallo+vaina los valores de PC oscilan entre 10 y 15% y los de FDN entre 30 a 35% (Trujillo y Uriarte, 2007). Cuando se comparan las hojas jóvenes con hojas maduras y senescentes se constata una pérdida de calidad, evidenciada a través de un decrecimiento progresivo de la digestibilidad in vitro de la materia seca. Esta diferencia se da debido a la mayor proporción de contenido celular y paredes celulares más delgadas y de mayor degradabilidad en hojas jóvenes con respecto a hojas más viejas (Agnusdei, 2007).

Los verdeos invernales presentan una alta digestibilidad y alto contenido proteico en la estación otoñal, sin embargo, debido al bajo aporte energético resulta en una dieta desbalanceada para los rumiantes. En primavera, aumenta el nivel de carbohidratos solubles y su aporte a la dieta es más balanceado (Trujillo y Uriarte, 2007).

2.7.1.1. Proteína cruda (PC)

De acuerdo a la base de datos de INIA (s.f.c) actualizada hasta agosto de 2022, el contenido de proteína cruda para avena durante todo su ciclo tiene una mediana en 14%, el cuartil superior en 19% y el inferior 11%. Según lo reportado por García (2003), los mayores valores ocurren en la estación de invierno, con valores de hasta 25%. Hacia la primavera la proporción en planta va disminuyendo a medida que la planta se desarrolla, la proporción de lámina/tallo disminuye y las temperaturas aumentan llegando a valores de entre 15 y 10%. El valor de este parámetro es más variable que el DMO teniendo en cuenta que es afectado por la disponibilidad de nitrógeno en suelo el cual a su

vez es muy afectado por las condiciones ambientales y la fertilización nitrogenada (García, 2003).

2.7.1.2. Fibra Detergente Neutro (FDN) y Ácido (FDA)

Según la base de datos de INIA (s.f.c) actualizada hasta agosto de 2022, la mediana para el contenido de FDN de un verdeo de avena a lo largo de todo el ciclo es de 60%, el cuartil superior es de 69% y el inferior de 52%. Para FDA estos valores son 35%, 41% y 30%, respectivamente.

El contenido de FDN y FDA aumenta conforme al avance de la madurez de las plantas de avena y se da hasta que se inicia la formación del grano, momento desde donde el porcentaje de FDN y FDA tiende a decrecer. Esto ocurre como resultado del llenado del grano y la acumulación de almidón, lo que causa un aumento en la proporción de grano (Ramírez et al., 2013), el cual supera de forma relativa al aumento del contenido de FDN y FDA en el follaje (Cherney y Marten, 1982), con lo cual ocurre un proceso de dilución de la fibra (Ramírez et al., 2013).

2.7.1.3. Digestibilidad del forraje

Las gramíneas anuales, como la avena, presentan los mayores valores de digestibilidad de la materia orgánica en invierno con descensos hacia la primavera, sin embargo, existen diferencias entre especies y cultivares (García, 2003). Para la base de datos de INIA (s.f.c) consultada en agosto de 2022, la media de DMO de la avena es 70%, el cuartil superior de 76% mientras que el inferior es 63%.

Según Owen (1964) y Coblenz et al. (2017) este verdeo tiene valores en torno a 75% de digestibilidad de la materia seca (DMS), pudiendo llegar a valores por encima del 80% (McDonald y Wilson, 1980). La DMO tiene un comportamiento estacional similar al de la PC, alcanzando los máximos en la

estación invernal con valores en torno al 80-85% y conforme avanza la primavera los mismos descienden hasta valores de 70% aproximadamente (García, 2003). Según Mieres et al. (2004) en promedio en otoño la DMO de la planta de avena fue de 66,1%, mientras que en invierno y primavera de 67,8% y 65,1%, respectivamente.

2.8. EFECTOS DEL MANEJO DE LA DEFOLIACIÓN EN LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD DEL FORRAJE

El manejo de la frecuencia y la intensidad de una pastura interacciona con las características morfogénicas y estructurales de la planta, determinando la producción de biomasa utilizable de la pastura (Chapman y Lemaire, 1993).

En un trabajo llevado a cabo por Best y Costantini (1989) se evaluó durante 1 año la producción de Avena sativa bajo el siguiente manejo de la defoliación: 3 intensidades de corte, con remanentes de 2, 6 y 10 cm, bajo 2 frecuencias de corte, cada 85 días y cada 100 días entre corte. Las intensidades de defoliación tuvieron impacto en la producción de materia seca. Cortes más al ras del suelo rindieron menos en ambas frecuencias de defoliación que cortes más laxos (cuadro no. 3).

Cuadro No. 3. Producción de forraje relativa al corte cada 100 días con remanentes de 10 cm de avena forrajera sometida a diferentes intensidades y frecuencias de defoliación.

	Rendimiento relativo (%)*	
	Frecuencia 85 días	Frecuencia 100 días
Remanente 10 cm	42 a	100 A
Remanente 6 cm	28 b	55 B
Remanente 2 cm	13 c	26 C

Fuente: elaborado con base en Best y Costantini (1989).

* *Relativo al corte con remanente de 10 cm y con una frecuencia de 100 días entre defoliación. Valores seguidos de distinta letra difieren significativamente (Tukey con alfa=1%).*

En un experimento llevado a cabo por Formoso (2004) durante un año se evaluó la producción de materia seca de avena (cultivar E1095a) mediante 4 tratamientos: bajo 2 frecuencias de defoliación (5 y 8 cortes totales en

otoño+invierno) y 2 remanentes (3 cm y 6 cm). No se encontraron diferencias significativas en la producción de materia seca entre tratamientos.

En un trabajo realizado por Formoso (2010c) se comparó la producción de forraje de avena (cultivar E1095a) durante tres años bajo manejos de la defoliación frecuente (cortes cada 14 a 20 días) y aliviado (cortes cada 30 días), no encontrándose diferencias de producción de forraje entre ambos manejos de la defoliación, tanto para las estaciones de otoño, invierno y primavera, como para el total anual. En promedio, la tendencia a la reducción en el rendimiento (no significativas) provocadas por el manejo frecuente con respecto al aliviado fueron de 5%, 12% y 10% para el otoño, invierno y primavera, respectivamente (cuadro no. 4). Sin embargo, en 2 de los 3 años evaluados existieron diferencias productivas en invierno y primavera siempre a favor del manejo aliviado, mientras que en otoño esta superioridad existió en un solo año. No hubo diferencias en la densidad del canopeo, medida como $\text{kg}\cdot\text{cm}^{-1}$ ni en el MS% de los cortes estacionales según el manejo empleado. El manejo de la defoliación se realizó siempre con un mismo remanente de 4 cm de altura cambiando solamente la frecuencia de defoliación.

El diferente manejo de la defoliación no causó cambios en la distribución estacional del forraje (cuadro no. 4).

Dicho experimento se repitió durante otros 3 años poniendo foco en la producción otoño-invernal de los verdeos evaluados bajo las mismas frecuencias de cortes y los resultados fueron similares: no hubo diferencias significativas en la producción de otoño e invierno de avena entre ambos manejos, registrándose reducciones en el rendimiento para manejos frecuentes de 5% y 12% en otoño e invierno, respectivamente. Una de las conclusiones a las que llega el autor es que los verdeos bien establecidos y fertilizados correctamente deprimen poco su capacidad de producción de forraje bajo pastoreos frecuentes cada 15 a 20 días con respecto a 1 pastoreo por mes (Formoso, 2010c).

Cuadro No. 4. Producción y distribución estacional de forraje de avena (cv. E1095a) promedio de 3 años según la frecuencia de defoliación.

	Manejo de la defoliación	Otoño	Invierno	Primavera	Total
Producción estacional (kg MS.ha ⁻¹)	Frecuente	3148	2211	2679	8038
	Aliviado	3309	2512	2967	8788
Distribución estacional (%)	Frecuente	39	28	33	
	Aliviado	38	28	34	

Fuente: adaptado de Formoso (2010c).

En cuanto a la composición química del forraje de avena bajo ambos manejos, Formoso (2010c) aclara que el material más nuevo dado por las menores edades de los rebrotes del manejo frecuente se traduce en mayor calidad del forraje, medido en PC%, FDN%, FDA% y DMO%. Las mayores diferencias encontradas entre ambos manejos se registran en invierno para las variables de FDN%, PC%, DMO% y %Cenizas.

En un trabajo realizado por Hernández y Piñeyro (2020) en INIA La Estanzuela se evaluó durante 1 año la producción y acumulación de forraje de materiales de avena (4 avenas blancas, 1 amarilla y 1 strigosa) en función de dos manejos de la defoliación: frecuente y aliviado, cortando cada 35 y cada 50 días, respectivamente. El manejo frecuente tuvo alturas de corte promedio de 27 cm (rango de 25-30 cm), mientras que el aliviado presentó alturas de 35 cm (rango de 30 a 36 cm).

El manejo aliviado mostró la mayor producción de materia seca en todos los cultivos evaluados, en invierno, en primavera y en la producción total, mientras que el manejo frecuente fue superior únicamente en otoño (cuadro no. 5).

Cuadro No. 5. Producción estacional y total de biomasa promedio de 2 ambientes edáficos diferentes según el manejo de la defoliación.

Manejo	Otoño	Invierno	Oto+Inv	Primavera S/A	Total S/A
Aliviado	2270 b	3967 a	6237 a	7767 a	14191 a
Frecuente	2767 a	3094 b	5862 a	6534 b	12412 b

Fuente: adaptado de Hernández y Piñeyro (2020).

S/A – sin manejo de cierre y corte acumulación. Valores verticales seguidos de letras distintas difieren significativamente al 5% (Tukey).

Pedreira et al. (2017) evaluaron durante 2 años indicadores de calidad como proteína cruda y digestibilidad in vitro de la materia seca, entre otros, en *Brachiaria decumbens* cv. *Basilisk* sometido a dos frecuencias de corte (95 y 100% de intercepción de la radiación) y dos alturas de remanente (5 y 10 cm de remanente). Independientemente de la frecuencia de pastoreo, el forraje obtenido con remanentes de 10 cm presentó mayor digestibilidad que con remanentes menores, tanto para el componente hojas como para la totalidad del forraje.

En síntesis, se presentan resultados diversos en cuanto a la frecuencia de la defoliación aplicada. La frecuencia aliviada presenta mayor o al menos igual producción de materia seca en invierno, primavera y en el acumulado total. Existen resultados contradictorios para la estación de otoño. En cuanto a la intensidad de defoliación, según Best y Costantini (1989), manejos menos intensos, con más remanentes, producen más materia seca. Sin embargo, Lowe y Bowdler (1988) reportan lo contrario. En cuanto a la calidad del forraje, bajo manejos frecuentes y/o intensidades laxas se obtiene mayor calidad.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. CONDICIONES EXPERIMENTALES

3.1.1. Lugar y período experimental

El presente trabajo se realizó en el departamento de Colonia, Uruguay, Ruta 50, km 11, en la estación experimental INIA La Estanzuela. Este experimento fue llevado a cabo en el potrero 1 de la unidad de forrajeras, las coordenadas de este potrero son: 34°20'31,22"S y 57°41'52,50"O.

El trabajo de campo abarcó el período desde febrero del 2021 hasta noviembre del mismo año. Se realizó el procesamiento de muestras en laboratorio en febrero del 2022.

3.1.2. Descripción del sitio experimental

El sitio experimental se encuentra sobre la formación geológica Libertad, cuya litología se compone por lodolitas del período cuaternario. (MIEM. DINAMIGE, 1985a, 1985b). La unidad de suelo es Ecilda Paulier – Las Brujas, compuestos por Brunosoles Eútricos Típicos como dominantes y Brunosoles Subeútricos Típicos como asociados (MGAP. DSF, 1976).

3.1.3. Diseño experimental

El experimento tubo un diseño de bloques completamente al azar, formado por 3 factores en todas sus combinaciones (2 épocas de siembra, 3 cultivares y 2 manejos de defoliación), que conforman un total de 12 tratamientos, aleatorizados en tres repeticiones, agrupadas en bloques, generando un total de

36 unidades experimentales (anexo no. 1). El criterio de bloqueo fue por perpendicularidad a la pendiente en el lote sembrado.

Los factores son el manejo de la defoliación, la época de siembra y el uso de diferentes cultivares de avena. Las fechas de siembra temprana y tardía fueron el 26 de febrero y el 19 de abril respectivamente. Los cultivares de avena utilizados fueron La Estanzuela 1095a, INIA Columba y LEAv 1612 (cultivar experimental). Los manejos de la defoliación fueron laxo y 3 hojas. Para el manejo laxo los cortes se realizaron cada vez que el estrato foliar más denso alcanzaba los 25 cm de altura en el promedio de las parcelas y sus remanentes fueron de 11 cm, con el objetivo de dejar 1/3 de lámina remanente. El manejo de la defoliación 3 hojas (3H) consistió en el corte cada vez que en el promedio de las parcelas los macollos principales alcanzaron 3 hojas completamente elongadas (lígula visible) y sus remanentes fueron de 5-6cm. Para el criterio 3H no se contabilizaron las hojas cortadas ni las hojas en elongación. Este criterio fue aplicado a partir del segundo corte; el primer corte fue realizado en el mismo momento que para el manejo laxo de la época de siembra correspondiente, con el objetivo de asegurar el correcto desarrollo inicial del cultivo.

3.1.3.1. Antecedente de chacra

La rotación de la chacra es soja/trigo/verde de invierno. Por lo tanto, previo a la siembra de la avena hubo un barbecho químico. El trigo tuvo destino a enfardado mientras que la soja fue granífera.

3.1.3.2. Preparación de la siembra y manejo de las parcelas

Previo a la siembra se aplicó en la primer semana enero 3 litros de RoundUp (540 g/l equivalente en glifosato) y, en las parcelas correspondientes a la segunda época de siembra, se realizó una segunda aplicación de herbicida con Liberty (glufosinato de amonio 20 g) mediante el uso de rodillo con el fin de sembrar libre de malezas.

La densidad de siembra fue ajustada para lograr la población objetivo de 350 semillas viables por metro cuadrado. Debido al diferente peso de mil semillas y germinación presente entre los genotipos, se sembraron a diferentes densidades: 135 kg/ha de E1095a, 133 kg/ha de INIA Columba y 119 kg/ha de LEAv 1612. Las semillas fueron tratadas con curasemilla Cruiser (Thiametoxam 35g) a la dosis recomendada. En el estado de 3 hojas se aplicó insecticida para el control de lagartas.

Durante la implantación y la fase inicial del crecimiento de las parcelas correspondientes a la época de siembra temprana, se realizaron riegos sucesivos dado que desde la tercera década de febrero hasta la tercera década de marzo no se registraron precipitaciones. El sistema de riego se instauró inmediatamente posterior a la siembra. Sin embargo, durante primeros 10 días de instalado las parcelas no fueron irrigadas, dado un fallo en el sistema asociado a las tuberías. Este evento causó un atraso en la emergencia de la primera época de siembra, por lo que se decidió atrasar la segunda época de siembra respecto a la planificada inicialmente.

De acuerdo al criterio de fertilización utilizado por el Programa de Mejoramiento de Avena de INIA La Estanzuela³, cada fertilización se realizó con 120 kg urea.ha⁻¹. Durante el invierno se realizaron dos fertilizaciones a todos los tratamientos. Durante la primavera se fertilizó una vez a la época de siembra temprana y dos veces a la época de siembra tardía. En la totalidad del ciclo se aplicó 360 kg urea.ha⁻¹ a las parcelas sembradas en la época temprana y 480 kg urea.ha⁻¹ en aquellas de época tardía, originándose la diferencia durante el periodo reproductivo.

El control de malezas durante el crecimiento del verdeo se realizó mediante retiro manual y con azadeo de las entrelíneas y bordes cuando se consideraba que la densidad y desarrollo del enmalezamiento afectaba el desempeño del cultivo.

³ Federico Condón. 2022. Com. personal.

3.1.4. Metodología experimental

Se registró el promedio de altura y de índice NDVI de cada una de las parcelas previo a cada corte de biomasa. Además, se tomaron muestras de planta entera de las parcelas que serían cortadas. En el corte se pesó el material fresco y se procedió a sacar una muestra por corte para el análisis de calidad de las mismas, así como para obtener el porcentaje de materia seca.

A partir de agosto se realizó el cierre de las parcelas con la finalidad de evaluar la acumulación de forraje como si el corte fuera destinado a reserva forrajera.

3.1.4.1. Conteo de macollos, de tallos y número de plantas por metro lineal

En fase vegetativa, se realizaron 4 conteos representativos de la estación (otoño, invierno y primavera), el 3 de mayo, el 29 de mayo, el 17 de junio y 28 de agosto. El conteo de macollos se realizó en plantas desarrolladas, que ya habían tenido al menos un corte. Se colocó una referencia en el centro de la parcela con el fin de contabilizar siempre un mismo punto de la misma. Se contaron los macollos y el stand de plantas de 30 cm lineales, registrándose el valor a ambos lados de la referencia, es decir, las líneas de siembra ubicadas adyacentes a la regla y se realizó un promedio de los valores obtenidos.

3.1.4.2. Altura

Previo al corte de la parcela se procedió a la toma de alturas de todas las parcelas. Se realizaron 3 mediciones por parcela con regla milimetrada para obtener así un promedio de altura de ellas. La altura fue medida desde el suelo hasta el punto de la parcela donde se encontraba la mayor densidad foliar, es decir, el estrato más denso del verdeo.

Los datos de altura fueron utilizados para evaluar relaciones con la producción de biomasa y los valores de NDVI.

3.1.4.3. Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)

La determinación del NDVI fue realizada con Greenseeker[®], tomándose 2 mediciones por parcela. Antes de cada corte todas las unidades experimentales fueron escaneadas. Las mediciones se realizaron siempre a la misma altura, aproximadamente a un metro desde el suelo.

3.1.4.4. Biomasa aérea disponible

En el ensayo se midió la variable a través del rendimiento obtenido en la parcela, mediante la metodología de determinación directa (cortes). Los cortes fueron realizados por cortadoras de césped modelo Honda comercial hrc 216 para el manejo de la defoliación 3H y una cortadora Honda comercial hrc 216 modificada para cortar a la altura de 11 cm. Los cortes siempre se realizaron cortando los tres genotipos dentro de la misma época de siembra y manejo de la defoliación cuando llegaban al criterio de corte correspondiente a cada manejo. De las 6 líneas de siembra que componen la parcela, los cortes se realizaron sobre 3 líneas centrales para realizar las mediciones de peso fresco de la parcela y luego se cortaron las líneas restantes. El peso fresco se midió a campo inmediatamente posterior al corte con una balanza colgante marca Salter modelo 235-10s.

Las muestras fueron almacenadas en bolsas de nylon cerradas inmediatamente posterior al corte en una cámara a -20° C hasta tener disponibilidad en la estufa. Antes de ingresar las muestras a la estufa, se dejaron descongelar a temperatura ambiente. A continuación, se secaron en estufa durante 72 horas a 60 °C. Mediante el método de la doble pesada se obtuvo el valor del porcentaje de materia seca, pudiendo determinar el valor de materia seca aérea cosechada. Las muestras secas, luego de pesadas, se molieron en un molino y se almacenaron en sobres individuales con identificación en una cámara de secado para su posterior análisis de calidad.

Los valores de rendimiento se expresan como rendimiento estacional de otoño, invierno, otoño + invierno, primavera y total. Para la producción estacional, se tomaron las estaciones como: otoño: marzo-abril-mayo; invierno: junio-julio-

agosto; primavera: acumulación desde fecha de cierre hasta 12 de octubre. El rendimiento estacional se realizó mediante la sumatoria de las tasas de crecimiento diarias del período entre cortes que se presentó durante los 90 días de duración de las estaciones. El cálculo de la tasa de crecimiento se realiza mediante un modelo lineal, donde la producción obtenida de un período entre cortes es dividida por la cantidad de días comprendidos entre respectivos cortes.

Para evaluar el desempeño primaveral, en principio, se efectuó el cierre para acumulación. Los datos obtenidos del cierre corresponden a la estación de primavera en los resultados. La fecha del cierre es la fecha de corte previa a la encañazón de la parcela (cuadro no. 6.), a partir de este momento se dejó acumular biomasa hasta el estado de grano lechoso-pastoso. Originalmente se efectuaron 2 mediciones a través de cortes en el tiempo. La segunda medición, en estado pastoso del grano, fue descartada debido al daño causado por pájaros. El corte se efectuó manualmente, con una tijera, a 5 cm del suelo, colocando una regla de un metro en un lugar aleatorio de la parcela y cortando las líneas de siembra adyacentes a dicha referencia. El procesamiento de las muestras de estos cortes se hizo de la misma manera que para los cortes vegetativos.

Cuadro No. 6. Fecha de cierre según época de siembra y manejo de la defoliación.

Tratamientos	Cierre
Siembra temprana, manejo 3 hojas	18/08
Siembra temprana, manejo laxo	25/08
Siembra tardía, manejo 3 hojas	04/08
Siembra tardía, manejo laxo	25/08

3.1.4.5. Planta entera

El muestreo se realizó en las líneas de siembra ubicadas en los bordes de las parcelas previo al corte y constó de la remoción de una planta entera. La decisión de muestrear en el borde de la parcela se tomó dado que es un muestreo destructivo que afectaría a las demás mediciones realizadas (biomasa, NDVI y número de plantas y macollos por metro cuadrado) de haberse tomado del centro de la parcela. Las muestras se utilizaron para contar hojas muertas, cortadas,

elongadas y en elongación por planta. Una vez comenzada la elongación de tallos también se contó el número de nudos en el macollo principal. Estas mediciones se realizaron para evaluar el efecto del manejo de la defoliación sobre la morfología de las plantas y su relación con la calidad. El número de macollos por planta no se contabilizó porque las muestras se dañaban en su extracción y no era posible contabilizar los macollos correctamente.

3.1.4.6. Procesamiento de muestras de calidad

Se determinaron valores de porcentaje de proteína cruda (PC%), fibra detergente ácido (FDA%), fibra detergente neutro (FDN%), ceniza (Cen%) y materia seca analítica. El procesamiento de muestras constó de 2 etapas. La primera consiste en el procesamiento de muestras mediante la utilización del NIRS (Near Infrared Spectroscopy) y la segunda consiste en técnicas analíticas de laboratorio húmedo que fueron utilizadas para corregir el modelo de predicción utilizado por el NIRS.

Los patrones de espectros de absorbancia de las ondas electromagnéticas obtenidos a través del NIRS se extrapolan a través de una ecuación generada con una base de datos de referencia, la cual fue obtenida comparando los valores obtenidos por NIRS con las técnicas analíticas de referencia para cada parámetro de calidad estudiado.

Luego de obtenidos todos los datos del NIRS, se comparan con la base de datos de referencia. Mediante dicho análisis se seleccionan un 20% de las muestras, comprendiendo dicho porcentaje valores extremos, así como valores intermedios, para luego ser analizadas mediante técnicas de laboratorio húmedo y así poder corregir la ecuación de estimación. A través de este procedimiento se genera una nueva ecuación con un $R^2=0,98$ para proteína ($n=640$), $R^2=0,93$ para FDA ($n=1815$), $R^2=0,94$ para FDN ($n=1704$) y $R^2=0,89$ para la ceniza ($n=507$).

En la etapa analítica de laboratorio, la proteína se obtiene mediante el método 984.13 Kjeldahl con cobre como catalizador para determinación de nitrógeno (Mertens et al., 2002). La fibra detergente neutro y ácido (Método 973.18; Mertens et al., 2002) se determina a través del uso de indumentaria

ANKOM. La determinación de materia seca analítica se realizó con el método 7.003 y la ceniza a través del método 7.009 (Mertens et al., 2002).

En base a las determinaciones de los parámetros de calidad obtenidos en laboratorio se calcula el porcentaje de digestibilidad de la materia orgánica (DMO%) a través de la siguiente ecuación: $112,52 \cdot (1,45 \cdot \text{FDA})$ (Acosta, 2004). Con este valor y el de producción de materia seca se obtiene la producción de materia seca digestible (MSD).

3.1.5. Manejo y análisis de datos

Los datos fueron compilados en una base de datos realizada en Microsoft Excel y luego analizada en el programa estadístico Infostat (Di Rienzo et al., 2020) (versión 2020) y en SAS Institut (1993). Los datos se analizaron mediante análisis de varianza (ANAVA) para las producciones estacionales y totales, análisis de composición nutricional mediante modelos mixtos, considerando las fechas de cortes como medidas repetidas en el tiempo, ranking de medias, regresiones y selección de modelos de regresión lineal múltiple.

3.2. HIPÓTESIS

La hipótesis manejada es que los factores combinados en el experimento (fecha de siembra, manejo de defoliación y genotipo) tienen influencia en la productividad y calidad de forraje, factores críticos para lograr rentabilidad en sistemas de producción lechera; además, que existe la posibilidad de interacciones entre estos factores que puedan afectar de forma significativa el potencial de uso productivo de la avena como verdeo, tanto en la cantidad como en su calidad. Finalmente, se plantea que conocer estas interacciones y su influencia en el producto es el factor fundamental para el ajuste del manejo de acuerdo a condiciones productivas específicas.

3.2.1. Hipótesis biológica

Existen diferencias entre los manejos de la defoliación en cantidad de biomasa y nutrientes producidos. El manejo 3 hojas tiene una producción de biomasa y nutrientes mayor al laxo.

Los manejos de la defoliación provocan diferencias en la calidad del forraje. El manejo laxo tiene una calidad superior al manejo 3 hojas.

Existe interacción manejo x genotipo y manejo x época de siembra en calidad y producción de biomasa y nutrientes.

Habrà efecto del manejo sobre la producción acumulada de primavera.

El manejo de la defoliación produce diferencias en el número de los macollos por superficie.

Hay diferencias en producción de biomasa según la época de siembra. La siembra temprana tendrá una mayor producción total de biomasa.

Hay diferencias entre los genotipos, en cuanto a producción y calidad.

Hay relación significativa entre la altura, el valor de NDVI pre-corte y la biomasa disponible.

3.2.2. Hipótesis estadística

Primera hipótesis

Ho: $B_1=B_2$

Ha: $B_1>B_2$

Segunda hipótesis

Ho: $B_1=B_2$

Ha: $B_1<B_2$

Tercera hipótesis

$$H_0: BC_{1k} = BC_{2k}$$

$$H_a: BC_{1k} \neq BC_{2k}$$

$$H_0: BA_{1i} = BA_{2i}$$

$$H_a: BA_{1i} \neq BA_{2i}$$

Cuarta y quinta hipótesis

$$H_0: B_1 = B_2$$

$$H_a: B_1 \neq B_2$$

Sexta hipótesis

$$H_0: C_1 = C_2$$

$$H_a: C_1 > C_2$$

Séptima hipótesis

$$H_0: A_1 = A_2 = A_3$$

H_a : al menos un A_i diferente al resto

Octava hipótesis

$$H_0: \beta_{1/\beta_0} = 0$$

$$H_a: \beta_{1/\beta_0} \neq 0$$

3.3. MODELO ESTADÍSTICO

Para variables aleatorias medidas:

$$Y_{ijkl} = m + A_i + B_j + C_k + AB_{ij} + AC_{ik} + BC_{jk} + ABC_{ijk} + b_l + e_{ijkl}$$

Siendo Y = variable aleatoria que se observa, m = media general, i = genotipo, j = manejo de la defoliación, k = época de siembra, l = bloques

$i=1,2,3$ $j=1,2$ $k=1,2$ $l=1,2,3$

Para las regresiones altura:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon_i$$

Siendo Y= producción de biomasa y β = altura

Para la regresión de NDVI:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon_i$$

Siendo Y= producción de biomasa y β = NDVI

4. RESULTADOS

4.1. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

Las precipitaciones totales durante el ciclo de crecimiento (periodo febrero-octubre) fueron de 776 mm, inferiores a las históricas de 822 mm (figura no. 1), con los meses de abril, mayo y septiembre por encima del promedio histórico y los meses de marzo, junio, julio, agosto y octubre por debajo. Durante marzo (implantación de la primer fecha de siembra), las precipitaciones fueron similares a las de la serie histórica, pero un 67% estuvieron concentradas en la segunda mitad del mes, lo que condujo a la aplicación de un riego de 20 mm para asegurar la emergencia e implantación del cultivo.

En el balance hídrico construido utilizando la herramienta GESIR (INIA, s.f.b) y cuyos resultados se presentan en el Anexo no. 2, se visualiza el déficit hídrico durante los primeros 20 días post siembra de la época temprana que justificó el riego para la emergencia del cultivo. Si bien hubo meses donde la precipitación estuvo por debajo del promedio histórico, esto no habría generado un déficit hídrico durante la fase vegetativa del cultivo, dado que nunca se llegó al nivel de agotamiento permisible. Solamente el corte de acumulación sufrió condiciones de déficit hídrico, a excepción del corte de la época tardía bajo manejo 3H.

Se destaca que en el mes de septiembre las precipitaciones casi duplicaron el promedio histórico. En el mes de octubre (llenado de grano), ocurrieron precipitaciones de 23 mm, inferiores a los 110 mm del promedio histórico.

Las temperaturas mensuales promedio del 2021 no reflejaron grandes diferencias con la serie histórica (figura no. 1). Se presentó la distribución esperada, siendo enero el mes de mayor temperatura promedio con 23°C y junio y julio con las menores, siendo de 11°C. La temperatura promedio anual fue de 16,7°C. Las diferencias de temperatura mensual no fueron mayores a 1°C para ninguno de los meses a excepción de abril y mayo, siendo 1,7°C mayor y 1,2°C menor en 2021 respectivamente en comparación con la serie histórica.

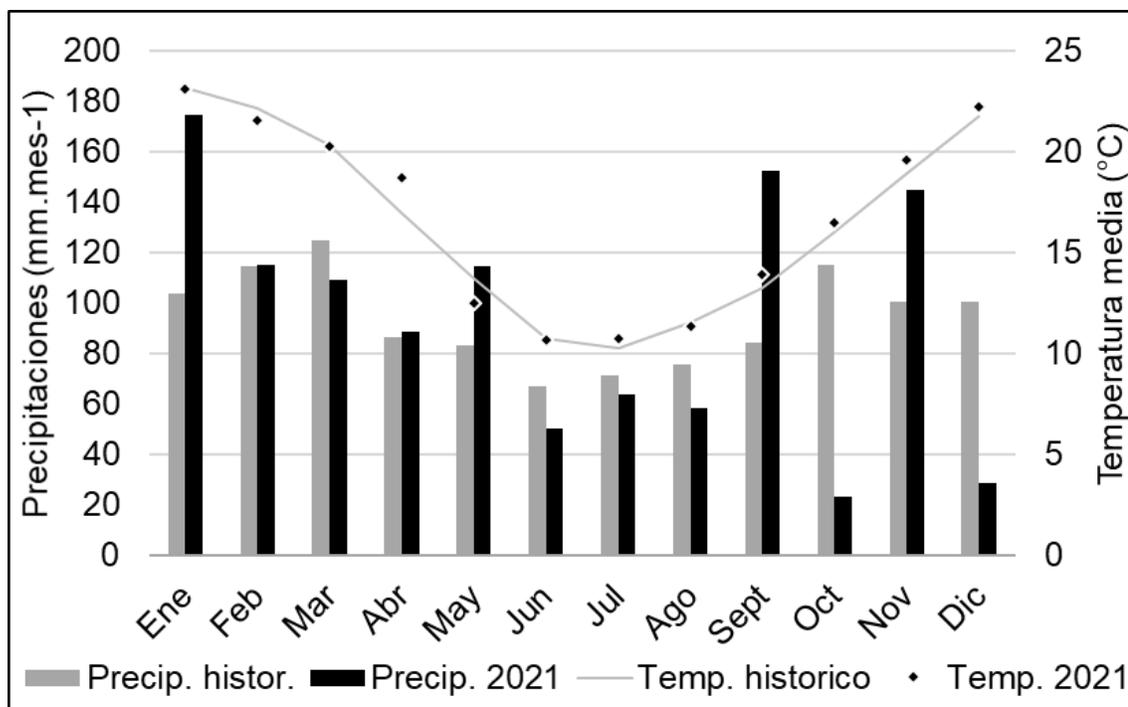


Figura No. 1. Temperatura mensual promedio y precipitaciones acumuladas mensuales para INIA La Estanzuela serie histórica 1965-2022 y para el año 2021. **Fuente:** elaborado con base en INIA (s.f.a).

4.2. EFECTO DEL MANEJO DE LA DEFOLIACIÓN Y LA ÉPOCA DE SIEMBRA EN EL NÚMERO DE CORTES, TIEMPO ENTRE CORTES Y GRADOS DÍAS ACUMULADOS

En el cuadro no. 8 se presentan las fechas de emergencia, número de días y grados días entre cortes. Sin tener en cuenta los períodos emergencia – primer corte y el período entre el último corte vegetativo y la cosecha de forraje acumulado, en promedio, el período entre cortes en estado vegetativo para el manejo 3 hojas fue de 52 días, mientras que para el manejo laxo fue de 21 días. En términos de grados día, el manejo 3 hojas tuvo un período de 314 °Cd y el manejo laxo de 133 °Cd entre cortes vegetativos. El número de cortes realizados

por estación y totales discriminados por manejo y época de siembra se presenta en el cuadro no. 7.

Las diferencias en la duración del ciclo vegetativo y en el ciclo completo del cultivo se detectaron entre las épocas de siembra. La siembra temprana presentó 158 días de ciclo vegetativo, correspondientes a una suma térmica de 1380 °Cd. La siembra tardía presentó 111 días de ciclo vegetativo (755° Cd en promedio), un ciclo 30% más corto que la temprana.

Cuadro No. 7. Número de cortes realizados por estación y total según época de siembra y manejo de la defoliación.

Época de siembra	Manejo de la defoliación	Otoño	Invierno	Primavera	Total
Temprana	3 hojas	1	2	1	4
	Laxo	1	5	1	7
Tardía	3 hojas	0	2	1	3
	Laxo	0	4	1	5

Cuadro No. 8. Acumulación de grados días y número de días entre cortes según época de siembra y manejo de la defoliación.

	<i>Época de siembra temprana (26/02/21)</i>				<i>Época de siembra tardía (19/04/21)</i>			
	Manejo 3 hojas		Manejo laxo		Manejo 3 hojas		Manejo laxo	
	Grados día acumulados	Días ^a	Grados días acumulados	Días	Grados días acumulados	Días	Grados días acumulados	Días
<i>Fecha de emergencia</i>	17/03/2021				26/04/2021			
<i>Corte 1</i>	683	49	683	49	419	52	482	66
<i>Corte 2</i>	360	51	152	21	268 ^b	48	123	19
<i>Corte 3</i>	314 ^b	54	160	20	585 ^c	69	131 ^b	23
<i>Corte 4</i>	496 ^c	55	163	28			86	13
<i>Corte 5</i>			111 ^b	22			450 ^c	48
<i>Corte 6</i>			135	21				
<i>Corte 7</i>			450 ^c	48				
<i>Total °CD solo vegetativo^d</i>	1356	154	1403	161	687	100	822	121
<i>Promedio °CD.día⁻¹</i>	8,8		8,7		6,9		6,8	
<i>Promedio °CD solo vegetativo</i>	452	51	234	27	343	50	205	30
<i>TOTAL °CD^e</i>	1852	209	1852	209	1272	169	1272	169

^a Días de crecimiento, desde la emergencia al 1er corte o entre cortes. ^b Comienzo de elongación. Primer corte donde se visualizan los nudos. ^c Corte de acumulación de forraje, realizado en estado lechoso-pastoso del grano. ^d Se entiende por vegetativo a todos los cortes que fueron realizados anteriores al corte de acumulación. ^e El total incluye los cortes vegetativos y el corte final de acumulación de forraje.

4.3. ESTABLECIMIENTO Y DESARROLLO DEL CULTIVO

4.3.1. Plantas logradas

El stand promedio de plantas logrado fue de 225 pl.m⁻², con una menor implantación en la primera época de siembra – promedio de 162 pl.m⁻² (rango de 235-118 pl.m⁻²) y de 257 pl.m⁻² para la época de siembra tardía (58% superior a la primera época). No hubo diferencias significativas en el stand de plantas según genotipos ni manejo de la defoliación (anexo no. 3). El menor número de plantas logrado en la siembra temprana se atribuye al déficit hídrico ocurrido para dicha siembra, que retraso la emergencia, con un período de 19 días en total contra los 7 días observados para la época tardía (cuadro no. 8).

4.3.2. Evolución del número de macollos

A pesar de la diferencia en el número de plantas logrado en las dos épocas de siembra, se observó una compensación del número de macollos debido a que en otoño no existen diferencias para el número de macollo por metro cuadrado (cuadro no. 9). El número de macollos comenzó con los valores más bajos en otoño, llegando al máximo en invierno y volviendo a caer hacia la primavera, pero con valores más altos que los otoñales (figura no. 2).

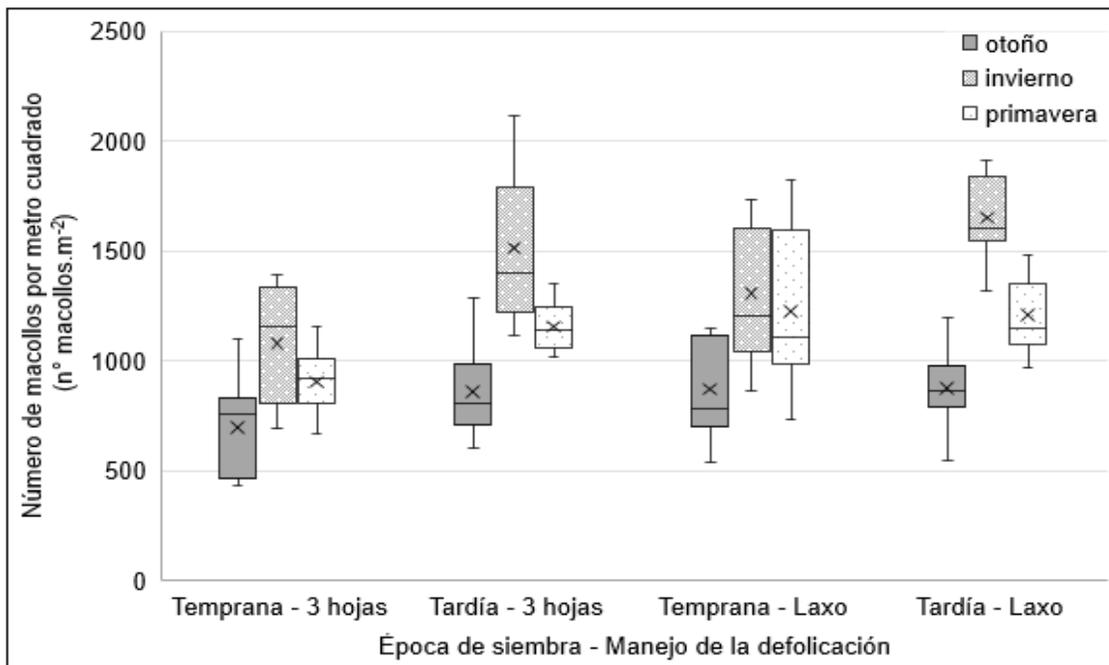


Figura No. 2. Gráfico de caja del número de macollos por metro cuadrado promedio por estación de crecimiento según época de siembra y manejo de la defoliación.

Cuadro No. 9 Resumen de significancia de efectos correspondiente al número de macollos promedio por estación de crecimiento

Fuente de Variación	Momento		
	Otoño	Invierno	Primavera
Bloque	ns	ns	ns
Manejo de la def. (M)	ns	*	**
Época de siembra (E)	ns	**	*
Genotipo (G)	**	**	*
M*E	ns	ns	**
M*G	ns	ns	**
E*G	ns	*	**
M*E*G	ns	ns	*

* Significativo al 5% con p -valor entre 0,01 y 0,05; ** significativo al 5% con p -valor menor a 0,01; ns efecto no significativo.

4.3.2.1. Número de macollos en otoño

Para el otoño no se encontraron diferencias significativas entre los manejos de la defoliación, épocas de siembra ni la interacción resultante entre estos factores cuadro no. 9. Sí se detectaron diferencias significativas (p -valor $<0,01$) entre genotipos; LEAv 1612 promedió 650 macollos.m⁻², un 41% menos que E1095a e INIA Columba (con 913 y 915 macollos.m⁻² respectivamente).

4.3.2.2. Número de macollos en invierno

Al llegar el invierno, se detectaron diferencias significativas en el número de macollos para manejos de la defoliación, épocas de siembra, genotipos y la interacción de genotipo x época de siembra (cuadro no. 9). El manejo laxo presentó un promedio de 1480 macollos.m⁻², un 14% más que el manejo 3 hojas (1299 macollos.m⁻²). La época de siembra tardía promedió 1584 macollos.m⁻² y la temprana 1195 macollos.m⁻². En cuanto a los genotipos, INIA Columba no se diferenció significativamente de los otros dos materiales, presentando 1405 macollos.m⁻², mientras que E1095a y LEAv 1612 se diferenciaron significativamente (1541 y 1222 macollos.m⁻², respectivamente).

El número promedio de macollos para la interacción genotipo x época de siembra (cuadro no. 10) fue igual para el genotipo E1095a, mientras que INIA Columba y LEAv 1612 lograron un mayor número de macollos en la época tardía.

Cuadro No. 10. Número de macollos.m⁻² en invierno para la interacción genotipo por época de siembra.

Genotipo	Época de siembra	No. de macollos.m ⁻²
INIA Columba	Tardía	1700 a
E1095a	Tardía	1585 a
E1095a	Temprana	1497 a b
LEAv 1612	Tardía	1467 a b
INIA Columba	Temprana	1110 b c
LEAv 1612	Temprana	977 b

Valores con diferente letra son estadísticamente diferentes al 5%.

4.3.2.3. Número de macollos en primavera

En la primavera todos los efectos e interacciones evaluados fueron significativos (cuadro no. 9). El manejo laxo presentó más macollos que el de 3 hojas (1218 macollos.m⁻² contra 1032 macollos.m⁻²); la época de siembra tardía más macollos que la temprana (1183 contra 1067 macollos.m⁻², respectivamente). En cuanto a los genotipos, E1095a presentó más macollos que INIA Columba y LEAv 1612, que no se diferenciaron significativamente entre ellos (1222 contra 1075 y 1078 macollos.m⁻² respectivamente).

Sólo el genotipo LEAv 1612 se diferencia significativamente según la época de siembra, con promedios de macollos.m⁻² de 1266 y 889 para siembra tardía y temprana respectivamente, lo que representa un 42% más de macollos en la siembra tardía.

La interacción genotipo x manejo de la defoliación separa de forma significativa al manejo laxo de E1095a del resto de las combinaciones genotipo x manejo con 1424 macollos.m⁻², un 23% más LEAv 1612 con manejo laxo, (1158 macollos.m⁻²).

La interacción siembra x manejo muestra que solamente para el manejo 3 hojas hay diferencias entre épocas de siembra; la época de siembra tardía logró una población de macollos un 21% mayor que la de la época de siembra temprana (1157 vs 906 macollos.m⁻², respectivamente) (figura no. 2).

La interacción triple indicó que ningún genotipo se diferenció por manejo dentro de una misma época a excepción de E1095a, que en la siembra temprana y manejo laxo alcanzó 1670 macollos (cuadro no. 11). INIA Columba no modifica significativamente el número de macollos de primavera según época de siembra y manejo de la defoliación y LEAv 1612 presenta más macollos en época tardía que en época temprana.

Cuadro No. 11. Promedio de macollos por época de siembra, manejo de la defoliación y genotipo para primavera.

Época de siembra	Manejo de la defoliación	Genotipo	Promedio de macollos en primavera	
Temprana	3 hojas	E1095a	941	de
		INIA Columba	967	cde
		LEAv 1612	810	e
	Laxo	E1095a	1670	a
		INIA Columba	1046	cde
		LEAv 1612	967	cde
Tardía	3 hojas	E1095a	1098	cd
		INIA Columba	1190	bc
		LEAv 1612	1183	bcd
	Laxo	E1095a	1176	bcd
		INIA Columba	1098	cd
		LEAv 1612	1350	b

Valores con diferente letra son estadísticamente diferentes al 5%.

4.3.3. Cambios en la conformación de la planta: número de hojas y nudos en elongación evaluados en plantas enteras

El manejo de la defoliación provocó cambios en la conformación de la planta, como se observa en el cuadro no. 12. Al analizar estos datos hay que tener en cuenta que fueron plantas extraídas del borde de las parcelas, lo que determina un mayor desarrollo y que no sea completamente representativa de lo que ocurra en la totalidad de la parcela, dado por el ambiente diferente a la cual están sometidas.

Cuadro No. 12. Número de hojas y nudos por planta según el manejo de la defoliación para el otoño, invierno y primavera.

Estación	Manejo de la defoliación	Hojas muertas	Hojas cortadas	Hojas elongadas	Hojas en elongación	Hojas totales	Número de nudos visibles
Otoño	3 hojas	3,7 *	- -	2,6 ns	1,0 ns	7,2 *	0 -
	Laxo	14,6	9,6	2,7	4,2	26,3	0
Invierno	3 hojas	21,1 ns	1,8 **	15,9 **	10,5 ns	49,2 ns	2 **
	Laxo	28,1	13,7	8,0	11,5	61,2	3,3
Primavera	3 hojas	20,8 *	6,2 **	6,3 **	5,4 ns	38,7 ns	4,1 *
	Laxo	30,5	12,1	1,9	4,2	48,7	3,6
Media	3 hojas	18,5 *	3,2 **	11,2 **	7,7 ns	40,2 ns	3,1 ns
	Laxo	26,2	13	6,1	9,1	53,4	3,4

* Significativo al 5% con p-valor entre 0,01 y 0,05; ** significativo al 5% con p-valor menor a 0,01; ns efecto no significativo.

El muestreo de plantas antes de los cortes no detectó diferencias significativas entre manejos en cuanto al número de hojas en elongación. Sin embargo, el número de hojas muertas por planta fueron siempre mayores para el manejo laxo, a excepción del invierno, donde no se encontraron diferencias. El número promedio de hojas muertas es un 40,5% mayor para el manejo laxo respecto al 3 hojas. El manejo laxo resulta en 4 veces más hojas cortadas promedio por planta que el manejo 3 hojas. El número de hojas elongadas promedio fue un 84% mayor para el manejo 3 hojas en comparación al laxo; únicamente en otoño no se encuentran diferencias.

El número de hojas totales (suma de hojas muertas, elongadas, cortadas y en elongación por planta) en promedio no fue significativamente diferente entre manejos, solamente en otoño el manejo laxo presentó más hojas totales que el 3 hojas.

El número de nudos visibles promedio por planta, durante los meses de agosto y septiembre, no difirió entre manejos. En invierno el manejo laxo presentó más nudos por planta, mientras que en primavera presentó más nudos el manejo 3 hojas. Se encontraron diferencias significativas entre genotipos (anexo no. 3); E1095a no se diferenció de los otros dos materiales, con 3,3 nudos en promedio. Mientras tanto, INIA Columba presentó una media de 3,7 nudos, diferenciándose de los 2,6 nudos por planta de LEAv 1612.

4.4. PRODUCCIÓN DE BIOMASA

4.4.1. Producción estacional

El período de otoño en este trabajo se considera desde la emergencia de la primera fecha de siembra (17 de marzo) hasta el 31 de mayo. El invierno comprende desde el 1 de junio hasta la fecha de cierre de las parcelas (mes de agosto). Otoño + invierno es la producción de ambos períodos sumados. La primavera va desde el cierre al corte de acumulación (12/10).

El cuadro no. 13 presenta las significancias para los diferentes factores y sus interacciones para la producción estacional de biomasa. Se evidencia que los factores época de siembra, genotipo, el manejo de la defoliación y las interacciones tienen un efecto significativo en definir la producción de forraje estacional. En el anexo no. 4 se presentan las producciones estacionales de cada tratamiento.

Cuadro No. 13. Resumen de significancias de efectos correspondientes a la producción de biomasa estacional y total.

Efecto	Otoño	Invierno	Oto+Inv	Primavera	Total
Manejo de la def. (M)	**	**	**	**	**
Época de siembra (E)	**	ns	**	ns	**
Genotipo (G)	ns	**	**	**	**
M*E	**	**	**	*	**
M*G	*	ns	*	*	**
E*G	ns	ns	ns	ns	*
M*E*G	ns	ns	ns	ns	ns

* Significativo al 5% con p-valor entre 0,01 y 0,05; ** significativo al 5% con p-valor menor a 0,01; ns efecto no significativo.

4.4.1.1. Producción de biomasa en otoño

En la figura no. 3a se puede visualizar la producción de biomasa disponible bajo los dos manejos de la defoliación. El manejo 3 hojas logró una producción 415 kg MS.ha⁻¹ mayor que el manejo laxo (p<0,05), 1404 y 989 kg MS.ha⁻¹ respectivamente.

La época de siembra temprana produjo más del cuádruple que la época tardía (figura no. 3b), obteniéndose producciones de 1957kg MS.ha⁻¹ y 436 kg MS.ha⁻¹ respectivamente.

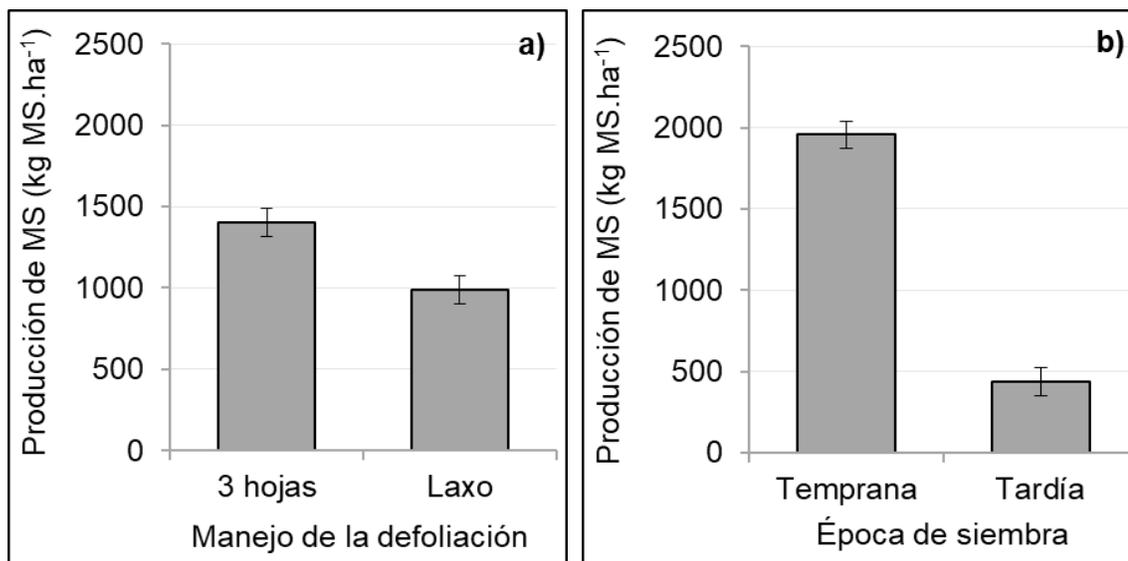


Figura No. 3. Producción de biomasa disponible para la estación de otoño (kg MS.ha⁻¹) según manejo de la defoliación (a) y época de siembra (b).

Para la época de siembra temprana los manejos obtuvieron diferente producción otoñal, siendo 873 kg MS.ha⁻¹ mayor para el manejo 3 hojas. Sin embargo, para la siembra tardía no existieron diferencias entre manejos (figura no. 4a).

Para los genotipos INIA Columba y LEAv 1612, el manejo 3 hojas generó una producción de biomasa mayor que el laxo. Para el cultivar E1095a no se detectaron diferencias entre manejos. Para un mismo manejo no existieron diferencias entre genotipos (figura no. 4b).

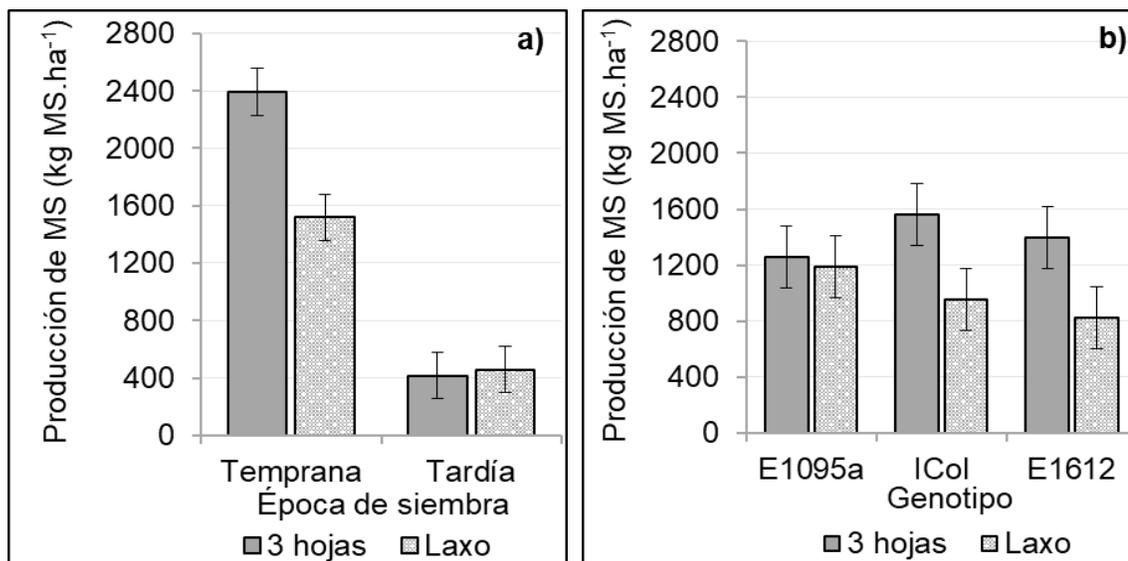


Figura No. 4. Producción de biomasa disponible en otoño (kg MS.ha⁻¹) para la interacción a) manejo de la defoliación y época de siembra y b) manejo de defoliación y genotipo.

4.4.1.2. Producción de biomasa en invierno

El manejo 3H logró una producción un 8% mayor que el manejo laxo (figura no. 5a). Las producciones de INIA Columba y E1095a fueron similares; ambos genotipos produjeron respectivamente un 12,5 y 13,5 % más que LEAv 1612 (figura no. 5b).

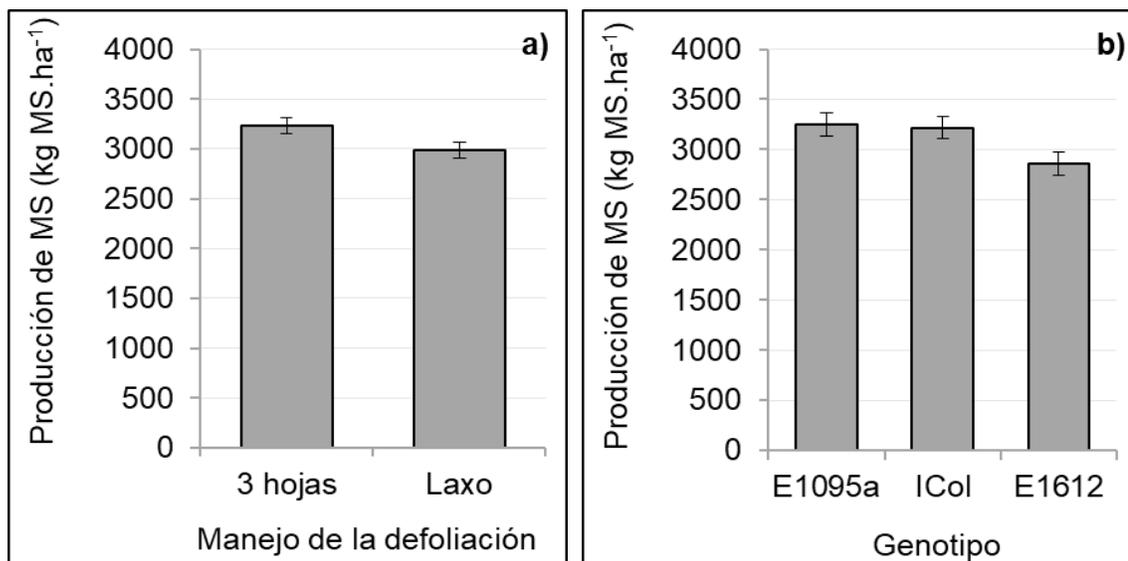


Figura No. 5. Producción de biomasa disponible (kg MS.ha⁻¹) en invierno para a) el manejo de la defoliación y b) genotipo.

Para la siembra temprana, el manejo 3H alcanzó una producción 22% mayor que el laxo; no existieron diferencias para manejos dentro de la época tardía (figura no. 6).

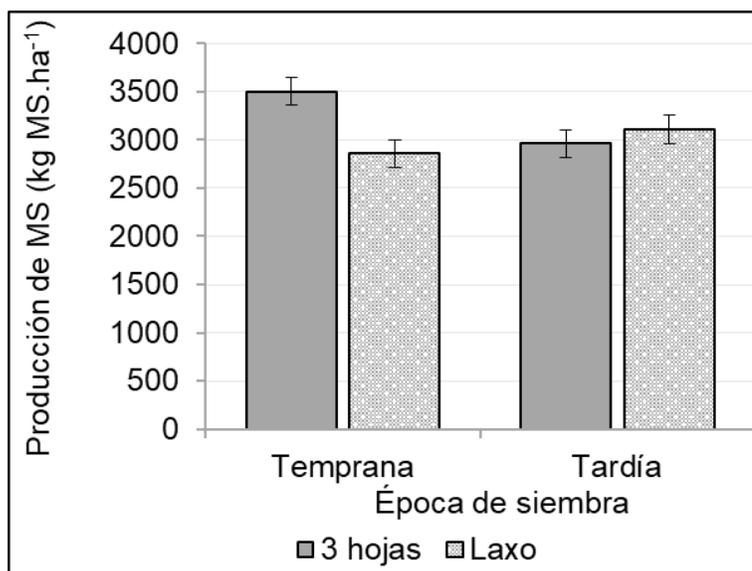


Figura No. 6. Producción de biomasa disponible (kg MS.ha⁻¹) en invierno para la interacción manejo de la defoliación y época de siembra.

4.4.1.3. Producción de biomasa en otoño + invierno

Como se muestra en la figura no. 7a, el manejo de la defoliación 3 hojas produjo un 17% más de forraje que el manejo laxo. La producción del manejo laxo se compuso de un 75% de aporte invernal y un 25% de aporte otoñal mientras que para el manejo 3H fue un 70% invernal y un 30% otoñal.

La época de siembra temprana obtuvo una producción 32% mayor que la época tardía (figura no. 7b). Dicha diferencia fue explicada principalmente por la producción otoñal, ya que el período de crecimiento fue 40 días más largo.

Como se muestra en la figura no. 7c, los genotipos E1095a e INIA Columba no se diferenciaron entre sí y lograron una mayor producción que LEAv 1612.

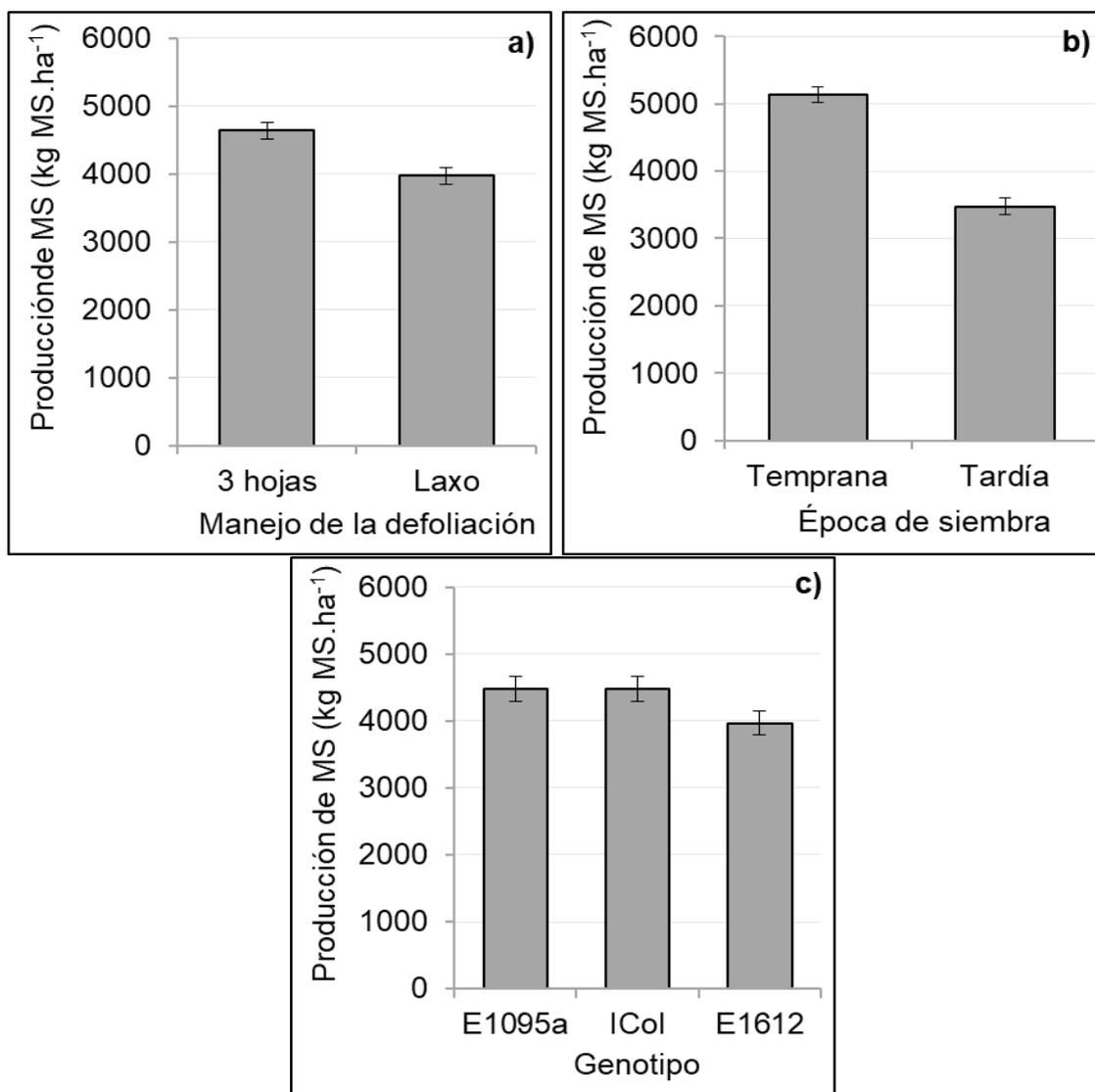


Figura No. 7. Producción de biomasa disponible para otoño + invierno (kg MS.ha⁻¹) según a) manejo de la defoliación, b) época de siembra y c) genotipo.

En el acumulado de otoño e invierno, el manejo 3H fue un 35% superior al de la defoliación laxa en la época de siembra temprana, en cambio para la época tardía no se detectaron diferencias entre manejos (figura no. 8a).

Como puede observarse en la figura no. 8b, la producción bajo el manejo 3 hojas fue 24% y 26% superior al laxo en los genotipos INIA Columba y LEAv 1612, respectivamente. El genotipo E1095a fue el único en el cual no se hallaron diferencias. Ningún genotipo es significativamente diferente entre sí cuando el

manejo aplicado es 3 hojas. Sin embargo, bajo el manejo laxo, E1095a es superior a LEAv 1612, mientras que INIA Columba es intermedio y no se puede considerar diferente a ninguno de los dos.

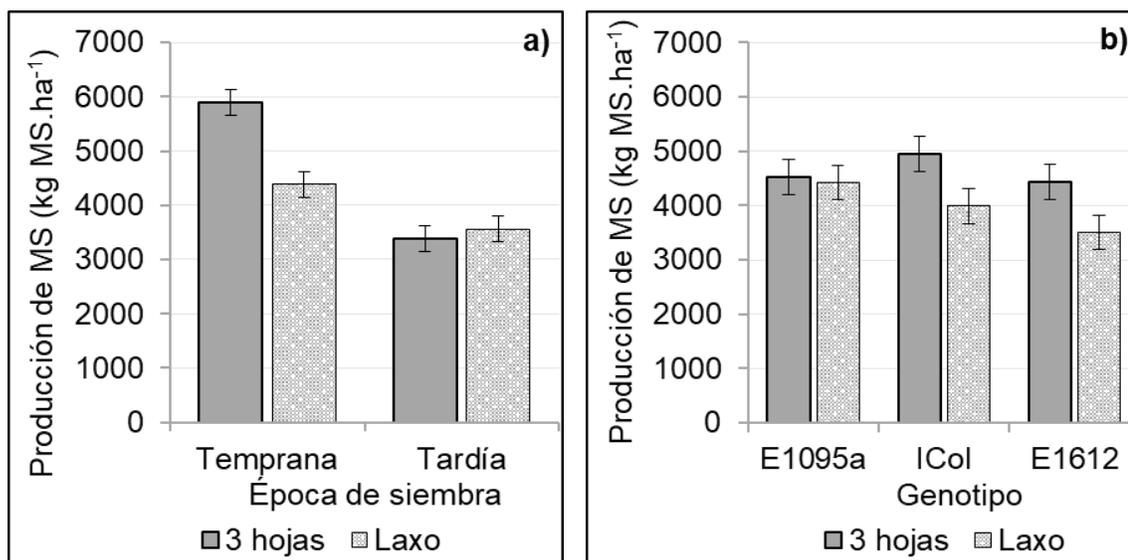


Figura No. 8. Producción de biomasa disponible para otoño + invierno (kg MS.ha⁻¹) para la interacción a) manejo de la defoliación y época de siembra y b) manejo de la defoliación y genotipo.

4.4.1.4. Producción de biomasa en primavera

El manejo 3 hojas obtuvo una mayor producción que el laxo, 4380 y 3778 kg MS.ha⁻¹ respectivamente (figura no. 9a). Las producciones de E1095a y LEAv 1612 no se diferenciaron y lograron una producción un 40% y 24% mayor que INIA Columba, respectivamente (figura no. 9b).

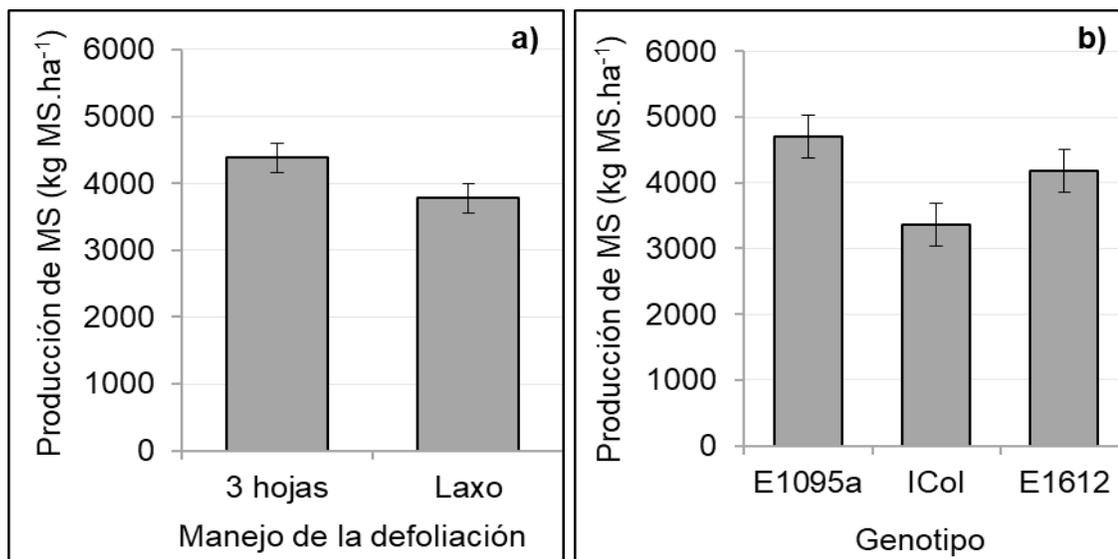


Figura No. 9. Producción de biomasa disponible en primavera (kg MS.ha⁻¹) según a) manejo de la defoliación y b) genotipo.

Para la época de siembra tardía, no se detectaron diferencias en producción entre manejos (figura no. 10a). La combinación siembra temprana*manejo 3H logró una mayor producción (4654 kg MS.ha⁻¹) que el manejo laxo sembrado en época temprana (3517 kg MS.ha⁻¹).

INIA Columba fue el único genotipo en el que el manejo 3H se diferenció del laxo (figura no. 10b), obteniéndose producciones de 4085 kg MS.ha⁻¹ y 2634 kg MS.ha⁻¹, respectivamente. Solamente bajo el manejo laxo se diferenciaron los genotipos, siendo únicamente la producción de INIA Columba menor que la de E1095a y LEAv 1612.

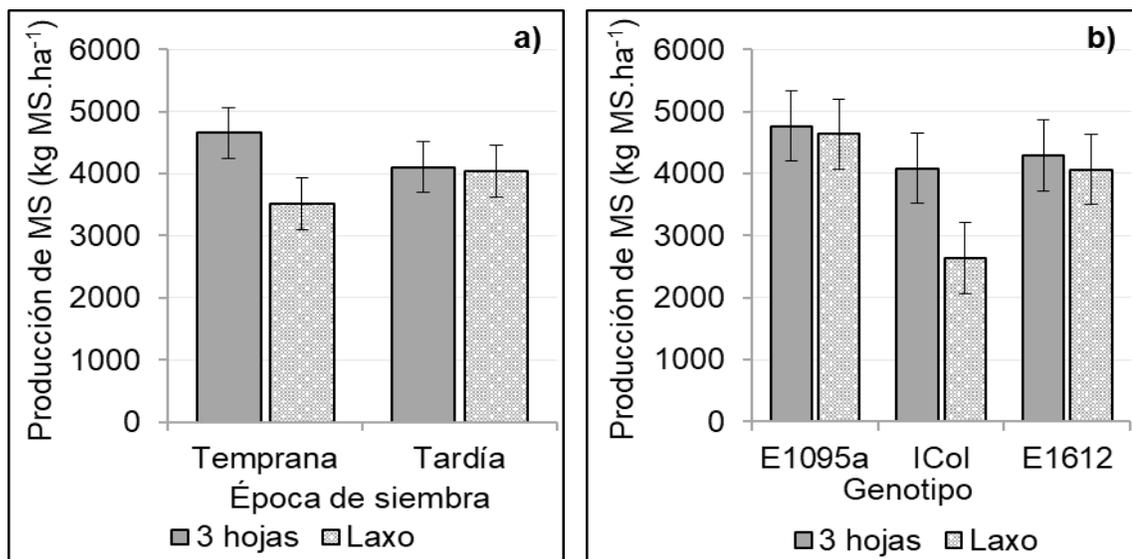


Figura No. 10. Producción de biomasa disponible en primavera (kg MS.ha⁻¹) para la interacción a) manejo de la defoliación y época de siembra y b) manejo de la defoliación y genotipo.

4.4.2. Producción total

La producción total incluye el corte con acumulación de forraje (primavera), a partir de fechas indicadas en cuadro no. 8 y es producto de la suma de la producción en otoño, invierno y primavera.

La producción total de forraje se diferenció significativamente según época de siembra, manejo de la defoliación, genotipo y las interacciones manejo*época, manejo*genotipo y época*genotipo (cuadro no. 13). La siembra temprana produjo un 22% más que la tardía, con producciones de 9223 kg MS.ha⁻¹ y 7544 kg MS.ha⁻¹ respectivamente. El manejo 3 hojas produjo 16% más que el manejo laxo, con 9017 kg MS.ha⁻¹ y 7751 kg MS.ha⁻¹ respectivamente. El genotipo E1095a produjo 9173 kg MS.ha⁻¹, siendo superior estadísticamente a INIA Columba y a LEAv 1612, los cuales no se diferenciaron significativamente entre sí (7833 y 8145 kg MS.ha⁻¹ respectivamente).

Para la interacción manejo*época, el manejo 3 hojas solamente se diferenció del resto en la época de siembra temprana, siendo superior a todas las demás combinaciones.

El genotipo INIA Columba fue el único genotipo en el que se detectaron diferencias para el manejo de la defoliación, donde el manejo 3H logró producciones de biomasa superiores a las del manejo laxo (9041 kg MS.ha⁻¹ y 6625 kg MS.ha⁻¹, respectivamente).

Para la interacción época*genotipo, E1095a en época temprana fue la combinación superior (10238 kg MS.ha⁻¹), INIA Columba*tardía logró la menor producción de biomasa (6796 kg MS.ha⁻¹) y el resto de las combinaciones no se diferenciaron entre ellas (con producciones de 7,5 a 9 ton MS.ha⁻¹).

La distribución de la producción tomando en cuenta todo el ciclo del cultivo presentó diferencias según la época de siembra. La distribución para la siembra temprana es de 21% en otoño, 34% en invierno y 44% en primavera, mientras que para la siembra tardía es de 6% en otoño, 40% en invierno y 54% en primavera. No se detectaron cambios en la distribución de la producción del forraje conforme al manejo de la defoliación efectuado.

4.5. PARÁMETROS DE CALIDAD NUTRICIONAL

4.5.1. Identificación de factores asociados con la composición del forraje

En el cuadro no. 14 se presentan los resultados de la selección de variables (época de siembra, manejo, genotipo y el momento de la evaluación como coeficiente lineal y cuadrático) en modelos de regresión lineal múltiple a través de la selección Stepwise, teniendo como criterio para ingresar al modelo un p-valor mínimo de 0,15. La selección de variables se realizó con información con cortes vegetativos y reproductivos. Se observa que las variables que mejor fueron explicadas son el contenido porcentual de proteína cruda (PC%), fibra detergente neutro (FDN%), fibra detergente ácido (FDA%), de ceniza (Cen%) y de digestibilidad de la materia orgánica (DMO%), obteniéndose valores de coeficiente de correlación (r^2) mayores a 0,85. En este sentido, se considera que en términos generales aquellas variables que resultaron significativas se relacionan con la variación de los parámetros medidos en el tiempo. El valor de los coeficientes de los factores significativos se presenta en anexo no. 5.

Para todos los parámetros, el momento de la evaluación expresado como el número de días post emergencia temprana (DPE1) fue el principal factor determinante en el ajuste de los modelos de regresión, entrando en los modelos de forma lineal y cuadrática, lo que establece un ajuste polinómico de segundo grado de las curvas regresoras. Determinado por el signo de los coeficientes de DPE1 la curva correspondiente a PC%, Cen% y DMO% se presenta con un máximo durante el invierno, aumentando los valores hacia la primavera. Para el caso de FDN%, FDA%, MS%, kg PC.ha⁻¹ y kg MSD.ha⁻¹ ocurre lo contrario, con un mínimo en invierno. Este factor indicaría que el momento del año sería el factor principal en la explicación del valor de estos parámetros, influido en distinto nivel por la época de siembra, manejo y genotipo y en algunos casos por sus interacciones.

Cuadro No. 14. Coeficiente de correlación del mejor modelo y significancia de factores y covariables por selección stepwise (p -critico=0,15) en un modelo lineal múltiple para parámetros de calidad nutricional y tasa de crecimiento.

	PC%	FDN%	FDA%	Cen%	MS%	DMO%	kg PC.ha ⁻¹	kg MSD.ha ⁻¹	TC ^a
r ²	0,88	0,9	0,88	0,81	0,48	0,88	0,52	0,73	0,76
DPE1 ^b	***	***	***	***	***	***	***	***	
(DPE1) ²	***	***	***	***	***	***	***	***	***
E2 ^c					*				***
M2 ^d	***	*		*				***	***
E1 ^e *M2							**		***
E2*M1 ^f	**						***		**
M1*G1612 ^g			*			*			
M2*GCol ^h			***			***			***
M2*G1612			**			**			
GCol		**			***				
G1612		***		***					

^a TC- tasa de crecimiento (kg MS.ha⁻¹.d⁻¹); ^b DPE1 – días post emergencia de la época de siembra temprana (17/03); ^c E2 – época de siembra tardía; ^d M2 – manejo de la defoliación laxo; ^e E1 – época de siembra temprana; ^f M1 – manejo de la defoliación 3 hojas; ^g G1612 – genotipo LEAv 1612; ^h GCol – genotipo INIA Columba.

* Significativo al 15% (P-valor entre 0,05 y 0,15); ** significativo al 5% (P-valor entre 0,01 y 0,05); *** significativo al 1% (P-valor <0,01); ns no se presentan diferencias significativas

4.5.1.1. Contenido de proteína cruda (PC)

El análisis de proteína cruda considerando las fechas de evaluación como medidas repetidas en el tiempo, detectó significancia de la época de siembra, manejo, genotipo y de la interacción época de siembra* manejo (cuadro no. 15), evaluación que coincide parcialmente con los resultados de los coeficientes de regresión identificados anteriormente.

Cuadro No. 15. Significancia de los efectos fijos para el análisis de contenido de proteína cruda (PC%) para cortes en estado vegetativo.

Efecto	NumDf	DenDf	F	Pr>F
Bloque	2	66	2,32	0,1067
Manejo	1	7	15,94	0,0052
Época	1	7	217,9	<0,0001
Genotipo	2	66	13,52	<0,0001
Manejo*Época	1	7	29,46	0,001
Manejo*Genotipo	2	66	1,41	0,2523
Época*Genotipo	2	66	2,05	0,1366
Época*Manejo*Genotipo	2	66	2,04	0,1385

Tomando en cuenta solo cortes en estado vegetativo, el manejo generó una diferencia significativa en contenido de PC% (laxo 29,1% contra 3H 28,0%). La época de siembra tardía presenta valores más altos que la temprana (30,7% contra 26,3%). LEAv 1612 presenta más PC% que INIA Columba, mientras que este último presenta mayores valores que E1095a (29,3% contra 28,4% contra 27,8% respectivamente). La época tardía no presenta diferencias entre manejos para el PC%, mientras que en la época temprana el manejo laxo tiene mayor PC% (27,6% contra 25,0%).

Para el modelo de regresión del PC%, se detectan como factores significativos los días post emergencia, el manejo de la defoliación y la interacción manejo 3H*siembra tardía. El manejo de defoliación laxo presenta un coeficiente positivo, lo que indica que este manejo presenta mayor PC% que el manejo 3H. La avena bajo el manejo 3 hojas con época de siembra tardía (E*M tardía_3h) tendrá un mayor PC% respecto a las demás combinaciones de época de

siembra*manejo de la defoliación, dado que el coeficiente tiene signo positivo (cuadro no. 14; anexo no. 5).

La evolución del porcentaje de proteína cruda (PC%) difiere en el período según el manejo de la defoliación (figura no. 11). Se puede observar que el PC% es siempre mayor para el manejo laxo, acentuándose la diferencia principalmente durante el invierno, donde alcanza incluso un 5% de diferencia entre manejos. Dicha diferencia entre manejos comienza a disminuir hacia la primavera, donde los valores de PC% no difieren significativamente entre manejos (anexo no. 6).

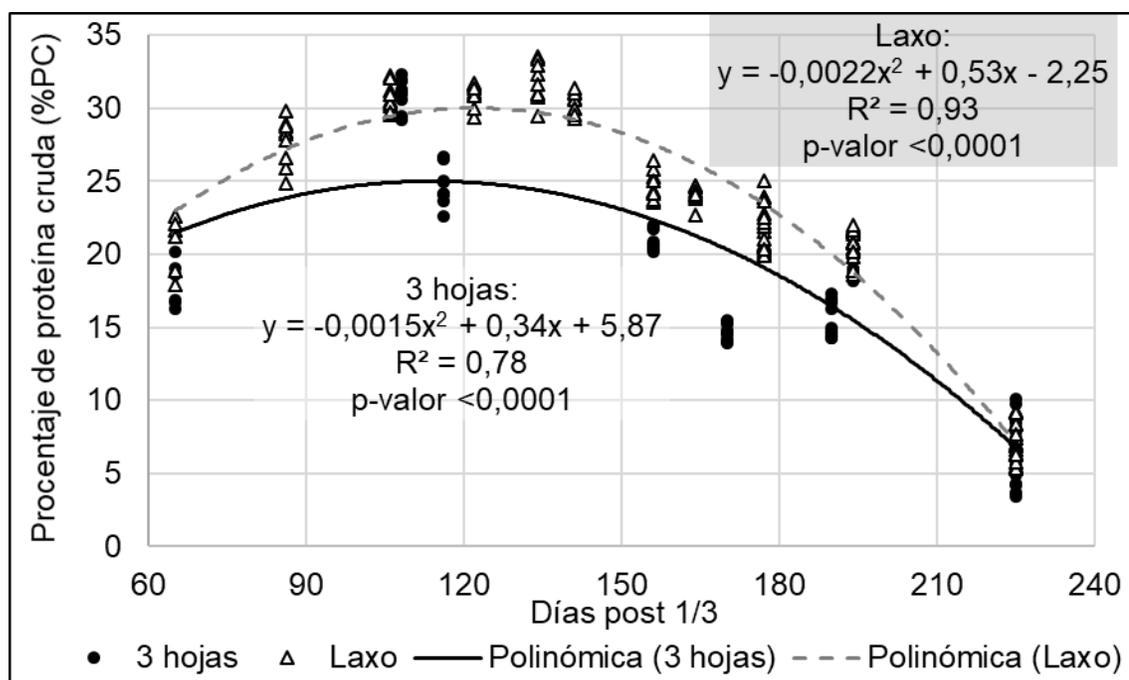


Figura No. 11. Evolución del porcentaje de proteína cruda desde el 5/5 al 12/10 según manejo de la defoliación.

4.5.1.2. Fibra detergente neutro (FDN)

Para cortes efectuados en estado vegetativo, mediante el análisis de los parámetros de calidad considerando las fechas de evaluación como medidas repetidas en el tiempo se detectó significancia de la época de siembra, genotipo y la interacción triple, época*manejo*genotipo (cuadro no. 16).

Cuadro No. 16. Significancia de los efectos fijos para el análisis de contenido fibra detergente neutro (FDN%).

Efecto	NumDf	DenDf	F	Pr>F
Bloque	2	66	0.73	0.4837
Manejo	1	7	0.35	0.5716
Época	1	7	6.85	0.0346
Genotipo	2	66	25.91	<.0001
Manejo*Época	1	7	4.92	0.0621
Manejo*Genotipo	2	66	0.52	0.5984
Época*Genotipo	2	66	0.31	0.7370
Manejo*Época*Genotipo	2	66	5.40	0.0068

El manejo de la defoliación no provoca diferencias en el FDN%. La época tardía presenta valores más bajos de FDN% que la temprana (34,3% contra 36,7%). LEAv 1612 presenta valores menores de FDN% que INIA Columba y E1095a, los cuales no se diferencian entre sí (34,3% contra 35,8% y 36,3% respectivamente). Para esta variable la interacción triple fue significativa, la cual se explica porque para el genotipo LEAv 1612 hay diferencias en el contenido de FDN entre épocas para manejo laxo mientras que en el resto esto no ocurre. Además, para este mismo genotipo en siembras tardías no hay diferencias entre manejos.

En el modelo de regresión, el manejo de la defoliación laxo posee menores valores de FDN% que el manejo 3 hojas. Los genotipos también fueron significativos. Dado por sus coeficientes, el genotipo LEAv 1612 es el que menor FDN% presenta, seguido por INIA Columba y luego por E1095a.

La evolución de la fibra detergente neutro (FDN) comienza con valores intermedios en otoño, cayendo a los valores mínimos durante el invierno y luego, en primavera, experimenta un fuerte incremento, de aproximadamente 20% (figura no. 12). La diferencia entre manejos de la defoliación es de 3,5% en promedio, siendo siempre más alto para el manejo 3H. Sin embargo, la diferencia entre manejos se va acentuando paulatinamente, siendo mínima en otoño y máxima en primavera.

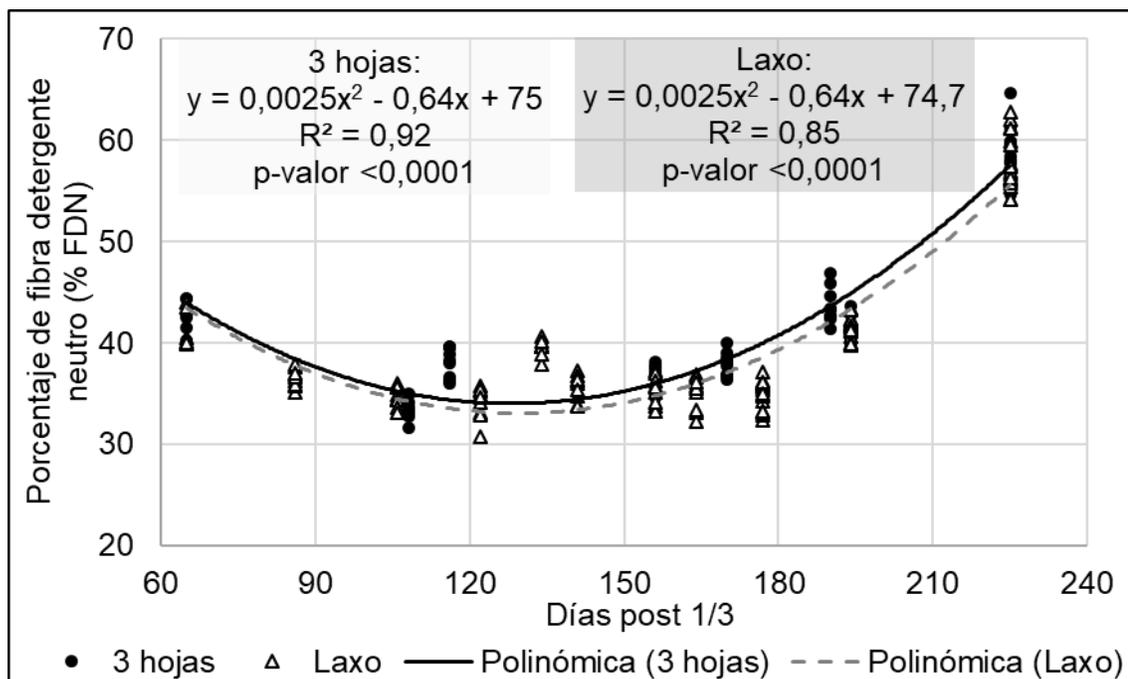


Figura No. 12. Evolución del porcentaje de fibra detergente neutro desde el 5/5 al 12/10 según manejo de la defoliación.

4.5.1.3. Fibra detergente ácido (FDA) y digestibilidad de la materia orgánica (DMO)

En el análisis del modelo mixto el efecto época de siembra, manejo de la defoliación, genotipo y la interacción época*manejo fueron significativos para FDA (cuadro no. 17).

Cuadro No. 17. Significancia de los efectos fijos para el análisis de contenido de fibra detergente ácido (FDA).

Efecto	NumDf	DenDf	F	Pr>F
Bloque	2	66	0.44	0.6428
Manejo	1	7	9.31	0.0186
Época	1	7	142.12	<.0001
Genotipo	2	66	67.93	<.0001
Manejo*Época	1	7	180.74	<.0001
Manejo*Genotipo	2	66	3.12	0.0509
Época*Genotipo	2	66	0.31	0.7334
Manejo*Época*Genotipo	2	66	2.09	0.1315

Tomando en cuenta solamente cortes efectuados en estado vegetativo, el manejo de la defoliación laxo presenta menor FDA% que el 3H (20,2% contra 20,9%). La época tardía presenta valores más bajos de FDA% que la temprana (19,0% contra 21,9%). LEAv 1612 presenta valores menores de FDA% que INIA Columba, y éste a su vez menores que E1095a (19,1% contra 20,4% y 22,0% respectivamente). Para la época temprana, el manejo laxo presenta menores FDA% que el 3H (20,1% contra 23,7%), mientras que en la época tardía el manejo 3H presenta menor FDA% (18,0% contra 20,2%) (cuadro no. 18).

Cuadro No. 18. Comparaciones de medias para el parámetro fibra detergente ácido y digestibilidad de la materia orgánica según los efectos fijos significativos.

Efecto		Media FDA (%)	Media DMO (%)
Manejo	3H	20,9 A	82,3 B
	Laxo	20,2 B	83,3 A
Época	Temprana	21,9 A	80,7 B
	Tardía	19,1 B	84,8 A
Genotipo	E1095a	22,0 A	80,7 C
	INIA Columba	20,4 B	82,9 B
	Leav 1612	19,1 C	84,8 A
Manejo*Época	3H*Temprana	23,7 A	78,1 C
	Laxo*Tardía	20,3 B	83,2 B
	Laxo*Temprana	20,1 B	83,4 B
	3H*Tardía	18,0 C	86,5 A

Valores con diferente letra para un mismo efecto y dentro de una misma columna son estadísticamente diferentes al 5%.

La combinación del manejo laxo y los genotipos LEAv 1612 e INIA Columba resultaron componentes determinantes del modelo de regresión stepwise. Ambos tuvieron coeficientes negativos, determinando que, bajo manejo laxo, el FDA% sea el mayor para E1095a, intermedio para LEAv 1612 y el menor para INIA Columba (anexo no. 5). Bajo el manejo 3H, el genotipo LEAv 1612 presenta valores de FDA% menores que las demás combinaciones de genotipos*manejo 3H.

La evolución de FDA% presenta una tendencia similar a la FDN%, con valores intermedios en otoño, cayendo a valores mínimos durante el invierno y

luego presentando un incremento de 10% desde el comienzo al fin de la primavera (figura no. 13). La diferencia entre manejos resultó en 3,5% en promedio, siendo siempre más alto para el manejo 3H. La diferencia entre ambos se observa de manera relativamente constante, diferenciándose ya desde el primer corte, en otoño.

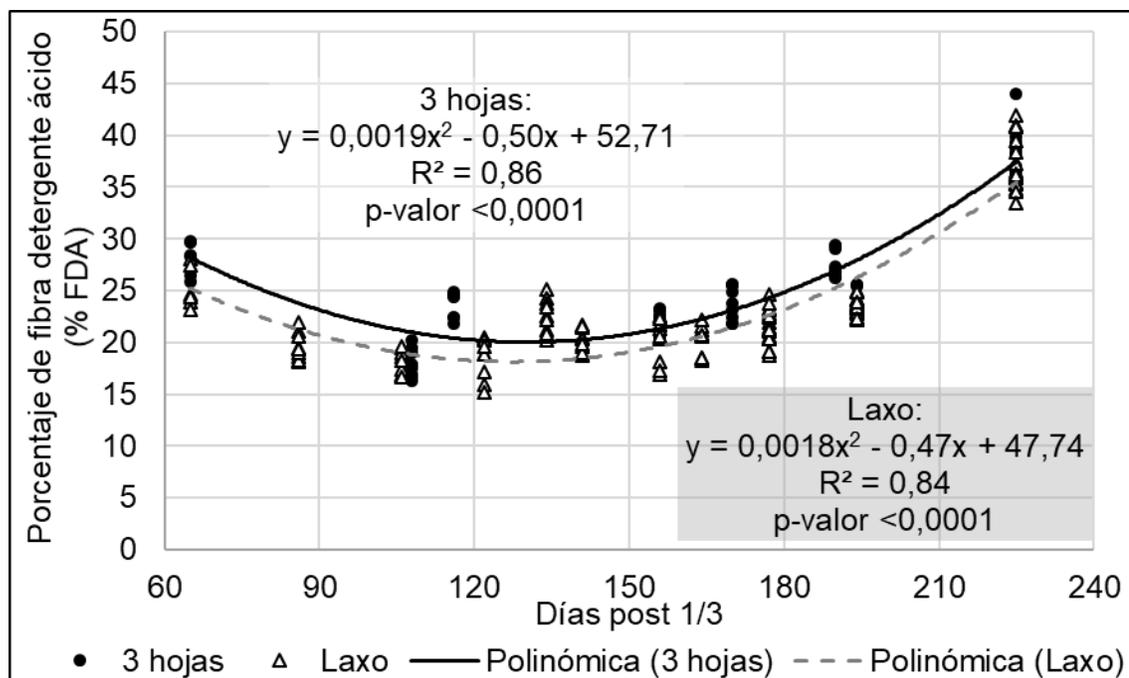


Figura No. 13. Evolución del porcentaje de fibra detergente ácido desde el 5/5 al 12/10 según manejo de la defoliación.

Para la digestibilidad de la materia orgánica se detectaron como significativos los mismos efectos que para la FDA tanto en el análisis de modelos mixtos como en el de regresión. Esto se debe a que la DMO fue calculada mediante una ecuación a partir de los valores de FDA. Los valores de las medias de DMO y sus significancias se relacionan inversamente con los de FDA (cuadro no. 18). La evolución del parámetro se presenta de forma opuesta que la de FDA pero con un mínimo en primavera, valores intermedios en otoño y los mayores en invierno, con una diferencia promedio para el período entre manejos de 5,2% (figura no. 14).

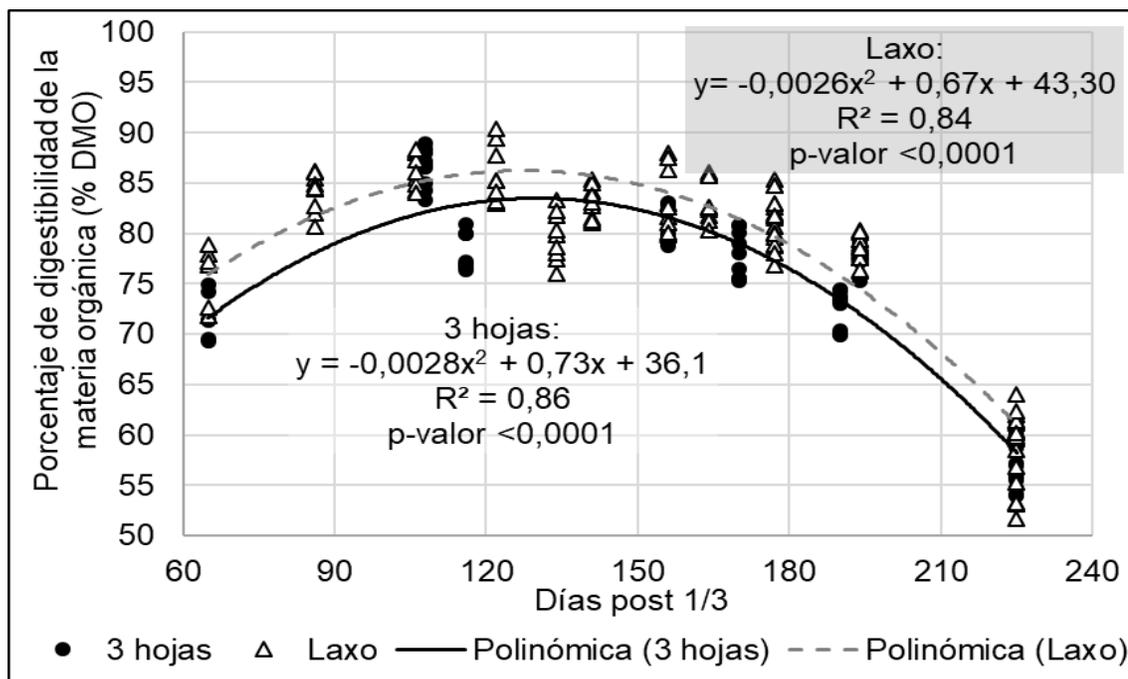


Figura No. 14. Evolución de la digestibilidad de la materia orgánica desde el 5/5 al 12/10 según el manejo de la defoliación.

4.5.1.4. Materia seca (MS)

Para el análisis mediante modelo mixtos (solo cortes en estado vegetativo) se detectó como significativo al efecto época de siembra, genotipo y la interacción manejo*genotipo (cuadro no. 19).

La época temprana presenta valores más altos de MS% que la tardía (20,4% contra 18,6%). LEAv 1612 presenta más MS% que E1095a, mientras que este último presenta mayores valores que INIA Columba (21,1% contra 19,5% contra 17,9% respectivamente). LEAv 1612 e INIA Columba no diferencian su MS% según manejo de la defoliación, mientras que E1095a presenta mayor MS% para el manejo 3H que para el laxo (20,2 contra 18,9% respectivamente).

Cuadro No. 19. Significancia de los efectos fijos para el análisis de contenido de materia seca (MS).

Efecto	DF Num	DF Den	Valor F	Pr > F
Bloque	2	66	1.46	0.2392
Manejo	1	7	3.65	0.0976
Época	1	7	23.34	0.0019
Genotipo	2	66	119.11	<.0001
Manejo*Época	1	7	2.79	0.1386
Manejo*Genotipo	2	66	4.45	0.0154
Época*Genotipo	2	66	1.64	0.2015
Manejo*Época*Genotipo	2	66	0.60	0.5524

Para el modelo de regresión del MS%, aunque presenta un ajuste pobre ($r^2=0,48$), se detectan como factores significativos los días post emergencia, la época de siembra y el genotipo. La época de siembra tardía presenta un coeficiente negativo, lo que indica que este manejo presenta menor MS% que la época temprana. La avena INIA Columba presenta un menor MS% respecto a los demás genotipos, dado que el coeficiente tiene signo negativo.

4.5.1.5. Producción de proteína cruda estacional

Para el modelo de regresión de selección de variables con el algoritmo stepwise de la producción de PC.ha⁻¹, la interacción época*manejo es determinante (cuadro no. 14). Los coeficientes del modelo indican que la combinación de factores época tardía*manejo 3H logra la mayor producción de PC.ha⁻¹, mientras que la época temprana*manejo laxo es la de menor producción.

En otoño, el manejo 3H obtuvo una producción un 21% más proteína cruda por hectárea que el laxo (figura no. 15a). En los acumulados de invierno y otoño + invierno, el manejo laxo produjo un 21% y un 11% más que el de 3 hojas, respectivamente. Los manejos no se diferenciaron en primavera.

En otoño, la época de siembra temprana logró una producción (kg PC.ha⁻¹) 3 veces mayor que la tardía (figura no. 15b). En invierno y primavera, la época tardía produjo un 9% y un 38% más respectivamente. Para el total acumulado entre otoño e invierno, el aporte de la diferencia otoñal fue mayor que el aporte

de la diferencia invernal, lo cual explica el comportamiento de la misma, donde la época de siembra tardía produjo el 80% de lo que produjo la temprana.

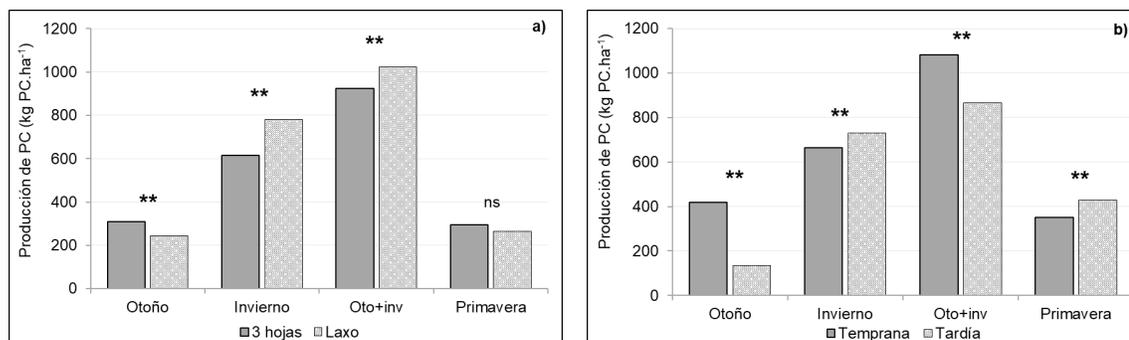


Figura No. 15. Producción de proteína cruda por hectárea por estación según a) manejo de la defoliación y b) época de siembra. ** Significativo al 5% con P -valor menor a 0,01; ns Efecto no significativo.

En otoño y en primavera no se detectaron diferencias entre genotipos, mientras que en invierno y en el acumulado de otoño + invierno sí. En otoño y primavera la producción de proteína cruda osciló entre 250 y 300 kg PC.ha⁻¹ según el genotipo. En invierno, E1095a e INIA Columba produjeron 728 kg PC.ha⁻¹ y 712 kg PC.ha⁻¹, un 11% y 9% más que LEAv 1612 respectivamente. En el acumulado de otoño + invierno, INIA Columba produjo un 11% más que LEAv 1612, mientras que no se detectó diferencias entre estos genotipos contra E1095a.

Para la acumulación otoño y otoño + invierno, la interacción manejo de la defoliación x época de siembra resulta significativa (figura no.16). En otoño, la época de siembra temprana bajo el manejo 3 hojas obtuvo una producción de 490 kg PC.ha⁻¹, mientras que el manejo laxo produjo un 29% menos. En la época de siembra tardía los manejos de la defoliación no se diferenciaron entre sí, siendo su producción de 129 y 141 kg PC.ha⁻¹ para el manejo 3 hojas y el laxo, respectivamente. Lo contrario ocurrió en la categoría otoño + invierno, donde solamente se diferenciaron los manejos en la época tardía, siendo en este caso el manejo laxo el que obtuvo la mayor producción de proteína cruda, resultando un 25% superior al manejo 3 hojas. En invierno y primavera esta interacción no fue significativa.

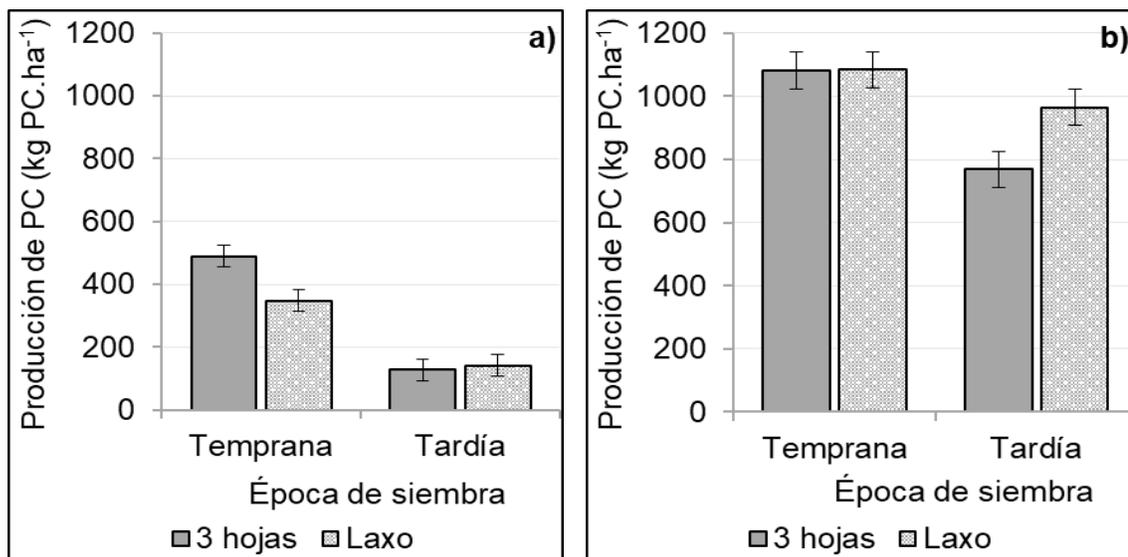


Figura No. 16 Producción de proteína cruda para la interacción época de siembra y manejo de la defoliación para a) otoño y b) otoño + invierno.

La interacción manejo de la defoliación x genotipo fue significativa para cada una de las estaciones evaluadas como se puede ver en la figura no.17. En otoño, el manejo 3 hojas produjo más proteína cruda en INIA Columba y LEAv 1612 que el manejo laxo; para E1095a no hay diferencias entre manejos. En invierno, todos los genotipos lograron una mayor producción de proteína con el manejo laxo contra el 3H. En otoño + invierno, los manejos únicamente se diferenciaron para el genotipo E1095a, siendo superior el manejo laxo. En primavera, los manejos se diferencian únicamente para el genotipo INIA Columba, siendo superior en este caso el manejo 3 hojas.

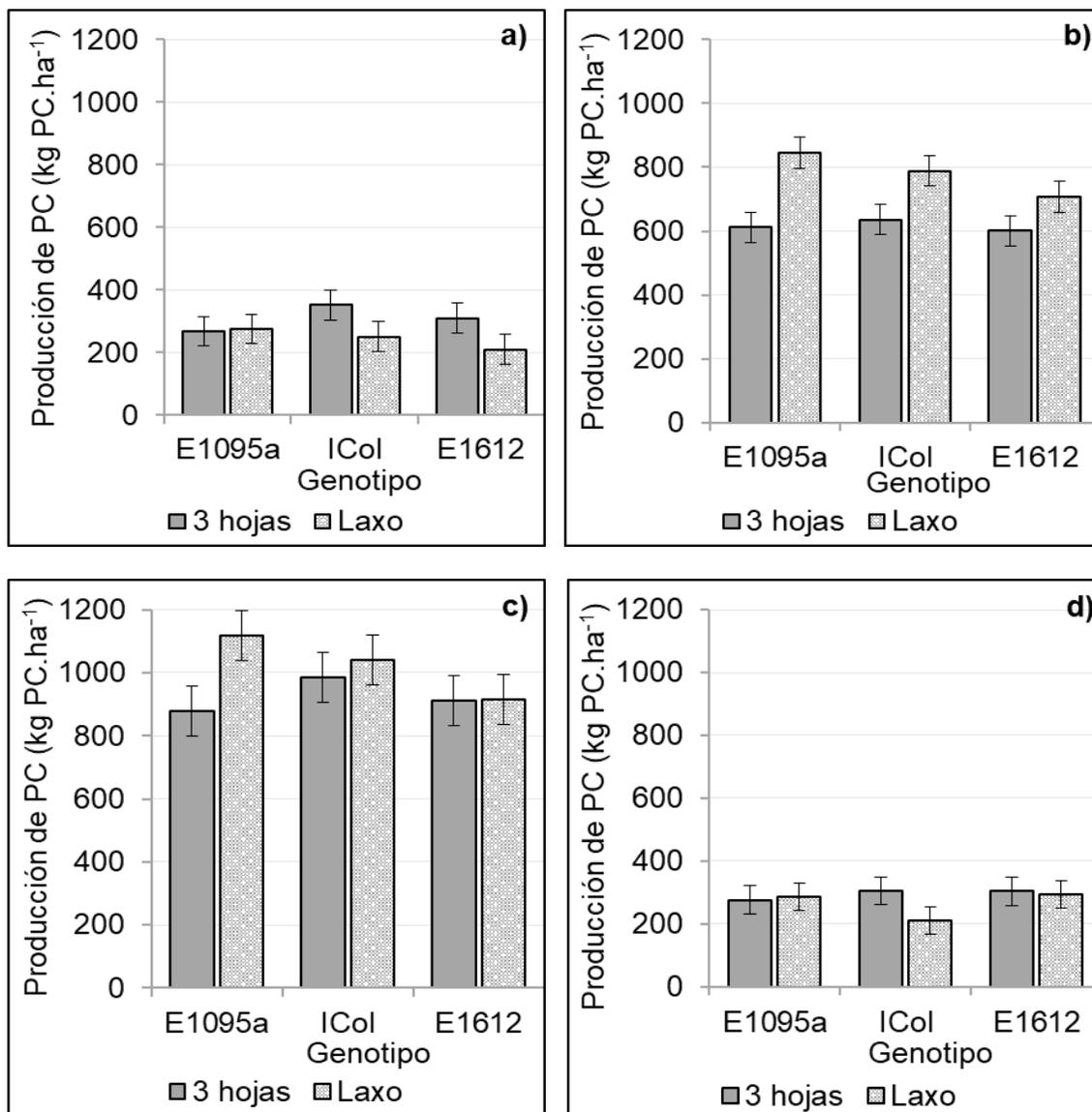


Figura No. 17. Producción de proteína cruda para la interacción manejo de la defoliación y genotipo para a) otoño, b) invierno, c) otoño + invierno y d) primavera.

1095a - genotipo E1095a. Col - genotipo INIA Columba. 1612 - genotipo LEAv 1612.

4.5.1.6. Producción de materia seca digestible (MSD)

Para el modelo de regresión de la producción de materia seca digestible por hectárea, el manejo de la defoliación es un parámetro determinante. El manejo 3H tiene mayor producción de MSD.ha⁻¹ en comparación con el laxo.

Mediante el análisis de varianza, para la variable producción de materia seca digestible por hectárea (kg MSD.ha⁻¹), el efecto del manejo de la defoliación fue significativo únicamente en primavera. El manejo 3H produjo 2498 kg MSD.ha⁻¹, un 14% más que el laxo. En las otras estaciones el manejo 3 hojas mostro una tendencia a ser mayor, diferencias que no fueron significativas (figura no. 18).

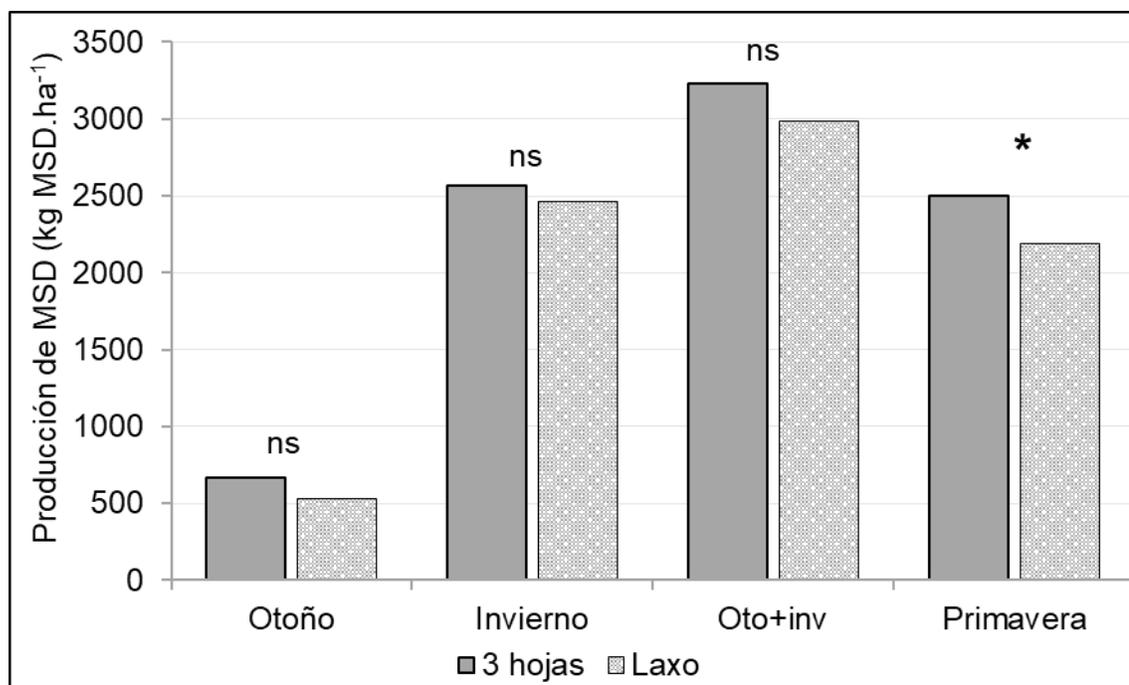


Figura No. 18. Producción de materia seca digestible por estación según manejo de la defoliación.

* Significativo al 5% con *p*-valor entre 0,01 y 0,05; ns efecto no significativo.

La época de siembra fue significativa para la estación de otoño y otoño + invierno, siendo superior la época de siembra temprana. En otoño, la época temprana produjo 821 kg MSD.ha⁻¹, produciendo 446 kg MSD.ha⁻¹ más que la tardía. En otoño + invierno, la época temprana produjo 3231 kg MSD.ha⁻¹ y la tardía 2988 kg MSD.ha⁻¹. Tanto en invierno como en primavera las diferencias entre épocas de siembra no fueron significativas, con producciones promedio para invierno y primavera de 2512 y 2343 kg MSD.ha⁻¹ respectivamente.

Los genotipos mostraron diferencias significativas en la estación de invierno y primavera. En invierno, INIA Columba fue superior al genotipo LEAv 1612, el primero produjo 2592 kg MSD.ha⁻¹, una producción 9% mayor al segundo. Por otro lado, E1095a obtuvo una producción de materia seca digestible intermedia y no se diferenció significativamente de ninguno de los otros dos genotipos. En primavera, E1095a y LEAv 1612 sin diferenciarse entre sí produjeron un 27% y 24% más que INIA Columba respectivamente, la cual logró una producción de 1998 kg MSD. ha⁻¹.

Fue significativa la interacción del manejo de la defoliación y la época de siembra para invierno, otoño + invierno y primavera (figura no. 19). En siembra temprana, el manejo 3 hojas produce para invierno, otoño + invierno y primavera sistemáticamente más materia seca digestible que bajo el laxo. Para la época tardía no hay diferencias significativas entre los manejos.

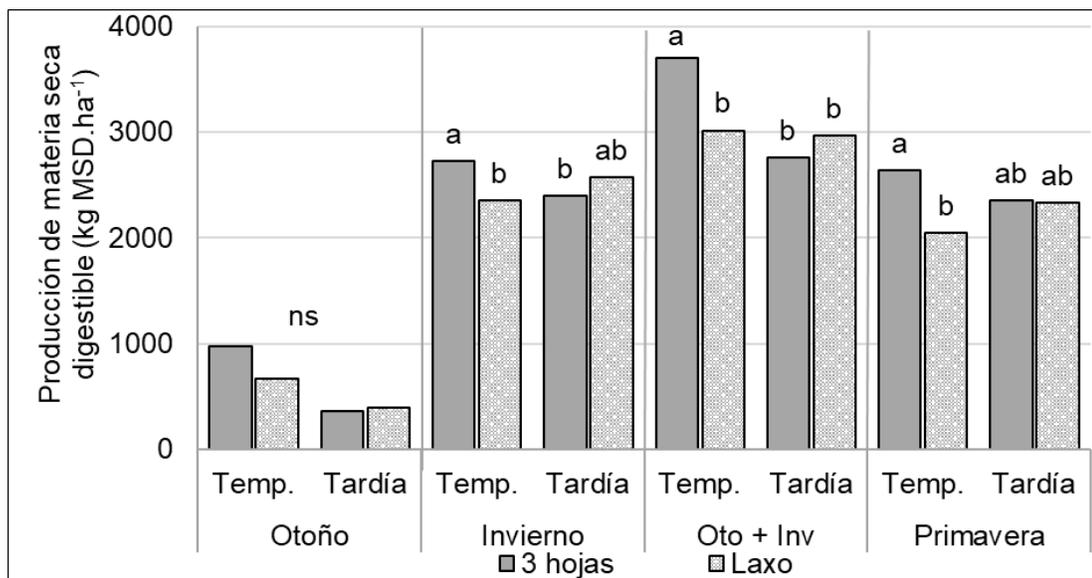


Figura No. 19. Producción de materia seca digestible por hectárea por estación para la interacción manejo de la defoliación y época de siembra.

Valores con diferente letra dentro de cada estación son estadísticamente diferentes al 5%.

4.5.1.7. Relación PC% - FDA%

En la figura no. 20 se muestra que existe una relación lineal, fuerte, negativa y significativa entre el PC% y el FDA%. Por cada unidad porcentual que aumenta el PC% disminuye en un 0,76% el contenido del FDA%. En el gráfico se pueden diferenciar al menos 2 grupos de puntos, correspondientes a cortes en estado vegetativo y en estado reproductivo. El grupo comprendida por debajo de 10% PC corresponde a los valores en estado reproductivo.

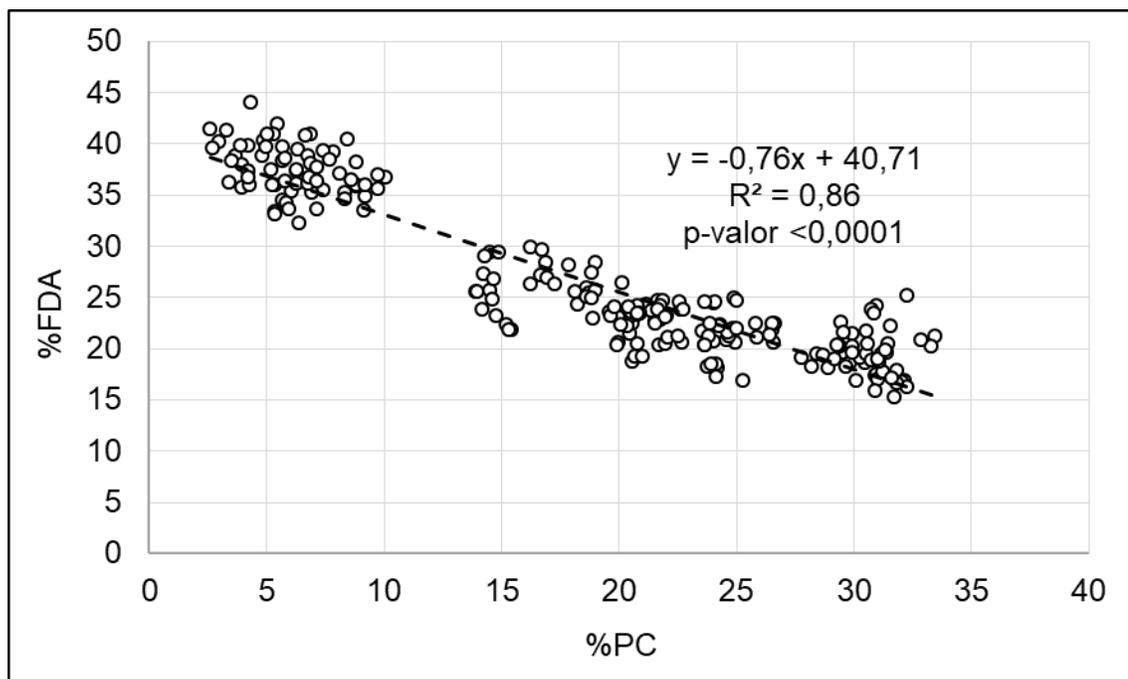


Figura No. 20. Relación entre porcentaje de fibra detergente ácido y porcentaje de proteína cruda.

4.6. TASA DE CRECIMIENTO

Para la tasa de crecimiento el manejo de la defoliación 3 hojas logró mayores valores que el laxo en otoño, invierno, la acumulación otoño + invierno y para el total del ciclo. La época temprana logró mayores tasas que la tardía en otoño y la época tardía mayores en invierno. INIA Columba y E1095a lograron mayores tasas que LEAv 1612 en invierno y otoño + invierno. En primavera E1095a y LEAv 1612 no se diferenciaron entre sí y fueron un 43% y 26% superiores a INIA Columba respectivamente. En el total del ciclo E1095a logró las mayores tasas de crecimiento, mientras que LEAv 1612 e INIA Columba no se diferenciaron (cuadro no. 20 y anexo no. 8).

La interacción manejo * época resultó significativa en la totalidad del ciclo y en todas las estaciones menos invierno. Cuando la época de siembra fue tardía, los manejos no se diferenciaron en otoño y en el total del ciclo, mientras que en la producción vegetativa de otoño+invierno el manejo 3 hojas fue superior y en primavera, sin embargo, el manejo laxo presenta mayor tasa que el manejo 3

hojas. En siembras tempranas el manejo 3 hojas logró mayores tasas de crecimiento en el total y en todas las estaciones menos en invierno.

Se detectó que la interacción manejo * genotipo fue significativa en otoño, otoño + invierno, primavera y en la totalidad del ciclo (cuadro no. 20). En todas las estaciones y en la producción total no hay diferencias en la tasa de crecimiento entre genotipos bajo manejo 3 hojas. Bajo manejo laxo, en otoño y en el acumulado de otoño + invierno E1095a e INIA Columba no se diferenciaron entre sí y fueron superiores a LEAv 1612. En primavera bajo manejo laxo E1095a y LEAv 1612 tuvieron similar tasa y fueron 76% y 54% superiores a INIA Columba respectivamente. En la totalidad del ciclo, bajo manejo laxo E1095a fue el que presentó mayor tasa, mientras que INIA Columba y LEAv 1612 no se diferenciaron (anexo no. 8).

Cuadro No. 20. Significancia de los efectos evaluados para tasa de crecimiento acumulada por estación y total.

Efecto	Otoño	Invierno	Otoño+Invierno	Primavera	Total
Manejo de la defoliación	**	**	**	ns	**
Época	**	*	ns	ns	ns
Genotipo	ns	**	**	**	**
Manejo*Época	**	ns	**	**	**
Manejo*Genotipo	*	ns	*	**	**
Época*Genotipo	ns	ns	ns	*	*
Man*Época*Gen	ns	ns	ns	ns	ns

* *Significativo al 5% con p-valor entre 0,01 y 0,05; ** significativo al 5% con p-valor menor a 0,01; ns efecto no significativo.*

La tasa de crecimiento registrada para el período de estudio varía conforme al avance de las estaciones, según se muestra en la figura no. 21. La tasa presenta un mínimo en invierno y comienza a aumentar con crecimientos crecientes a medida que ingresa la primavera. En invierno se da la mayor diferencia entre manejos, con 10 kg MS.ha⁻¹.d⁻¹ más en promedio para el manejo 3 hojas. Para el último corte (correspondiente a la acumulación), que es donde se da el cambio de ranking de la tasa según los manejos, no se encontraron diferencias significativas entre ambos (cuadro no. 20).

El procedimiento stepwise de selección de modelos para regresiones lineales dio como resultado que los parámetros determinantes del modelo son los días post emergencia de manera cuadrática, la época de siembra, manejo de la

defoliación, época de siembra temprana con manejo laxo, época de siembra tardía con manejo 3 hojas y manejo laxo para el genotipo INIA Columba (cuadro no. 14). Las constantes correspondientes a cada factor que integra el modelo se presentan en el anexo no. 5.

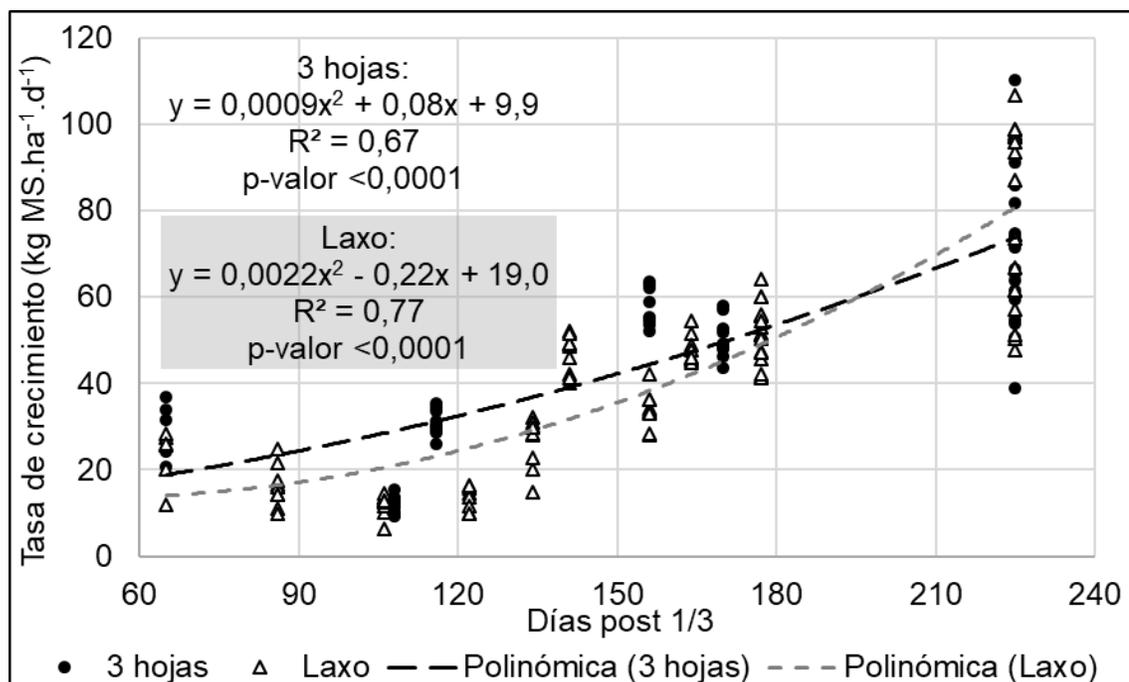


Figura No. 21. Relación entre tasa de crecimiento y días desde el 5/5 al 12/10 según manejo de la defoliación.

4.7. MEDIDAS INDIRECTAS DE PRODUCTIVIDAD

4.7.1. Relación altura-producción de biomasa

En la figura no. 22 se evidencia la relación existente entre la altura previa al corte y la producción de biomasa para el manejo de la defoliación 3 hojas y laxo para los cortes realizados en estado vegetativo. La regresión lineal para el manejo 3 hojas presenta un ajuste alto ($R^2=0,84$), positivo y significativo, mientras que la misma para el laxo tiene un ajuste menor ($R^2=0,48$). Los rangos de distribución de los datos, tanto en altura como en producción, son menores en el manejo laxo.

Para el manejo 3 hojas, un aumento de un centímetro de altura significan 63 kg MS.ha⁻¹, mientras que para el manejo laxo significan 66,5 kg MS.ha⁻¹ (base -344,1 y -975 respectivamente).

Cuando se consideran cortes en estado vegetativo y reproductivo conjuntamente el ajuste de la regresión es menor, R²=0,49 para 3 hojas y R²=0,4 para laxo. Cuando se consideran solamente los cortes realizados en estado reproductivo, la regresión en ambos manejos es inexistente.

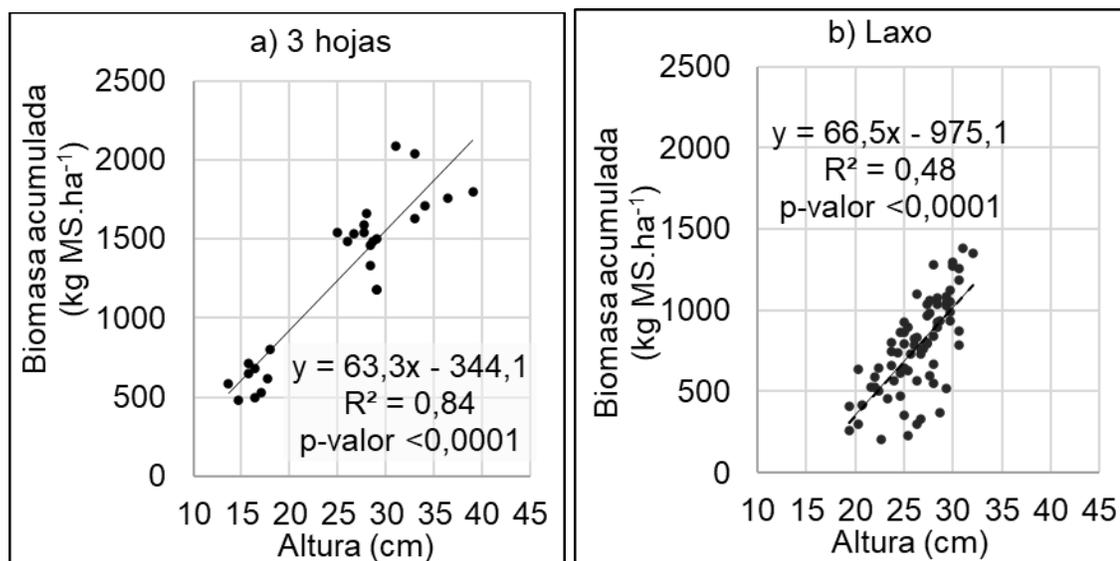


Figura No. 22. Relación entre producción de biomasa y altura para el a) manejo 3 hojas y b) manejo laxo.

La regresión distinguiendo por manejo y época de siembra de manera conjunta de cortes en estado vegetativo es baja. Tanto para la época temprana como tardía, la regresión resulta mayor para el manejo laxo que para el de 3 hojas, con R²<0,41 y R²<0,22, respectivamente.

No hay un efecto del genotipo en la regresión, por lo que el uso de una sola regresión basada en el manejo es suficiente para explicar el comportamiento de los genotipos estudiados.

4.7.2. Relación NDVI-producción de biomasa

La relación entre NDVI y producción de biomasa en estado vegetativo tiene una regresión débil para el manejo 3 hojas, con 2 nubes de datos claramente diferenciadas entre sí, mientras que para el laxo el ajuste de la regresión es mayor (figura no. 23). El manejo laxo presenta rangos de NDVI mayores y de producción menores en comparación al manejo 3 hojas.

Para ambos manejos la regresión considerando los cortes en estado reproductivo o estado vegetativo y reproductivo juntos presenta ajustes bajos, con $R^2 < 0,35$.

La regresión por manejo y época de siembra presenta menor ajuste que considerando únicamente el manejo. El coeficiente de determinación para el manejo 3 hojas es de 0,28 y 0,47 y para el laxo de 0,36 y 0,28, para la época temprana y la tardía respectivamente.

No hay diferencias notorias en el ajuste según genotipos para el manejo laxo, ya que presentan similar pendiente, ordenada en el origen y ajuste, por lo que una única curva para este manejo explica bien el comportamiento de los genotipos analizados. El manejo 3 hojas presenta datos insuficientes como para generar regresiones de NDVI-producción de biomasa ajustadas para cada genotipo (n=6).

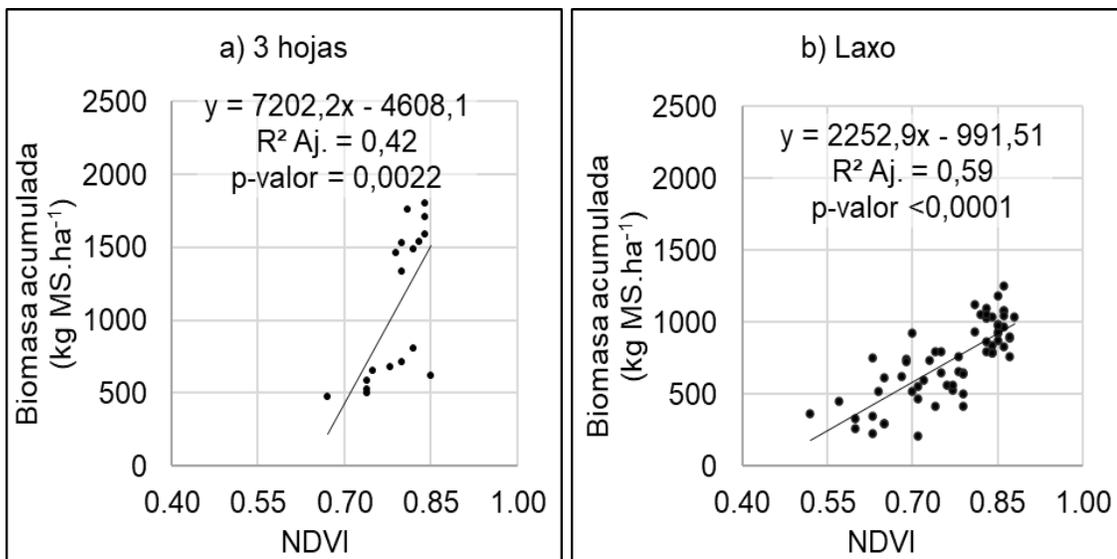


Figura No. 23. Relación entre NDVI y producción de biomasa para el a) manejo 3 hojas y b) manejo laxo.

5. DISCUSIÓN

El manejo de la defoliación con acumulación de forraje hasta que se llega a 3 hojas elongadas logró una mayor producción estacional y total de materia seca comparado con el manejo de cortes frecuentes y con mayor remanente (manejo laxo), con una producción de 42%, 8%, 17% y 16% mayor en otoño, invierno, en el acumulado de otoño e invierno y en primavera respectivamente. La producción total de materia seca del manejo 3 hojas fue un 16% mayor. Estos resultados concuerdan con lo expresado por Holt (1972) y Lowe y Bowdler (1988) en avena, quienes encontraron que una mayor frecuencia de defoliación reducía la producción total. También coinciden con lo encontrado por Hernández y Piñeyro (2020) sobre 6 cultivares de avena para las producciones estacionales de invierno, primavera y producción total, mientras que en otoño no coinciden, dado que ocurrió lo contrario. Formoso (2010c) estudiando frecuencia de defoliación en avena no encontró diferencias significativas entre los manejos de la defoliación, aunque para otoño, invierno y primavera detectó tendencias a favor del manejo aliviado. En dicho trabajo se usaron frecuencias de defoliación menores, de 14 a 30 días, lo que pudo haber limitado la expresión de la significancia del manejo de la defoliación. Además, Formoso (2010c) utilizó avena 1095a, que de acuerdo al presente trabajo no presenta diferencias productivas atribuibles a los manejos de la defoliación.

En este sentido, los resultados obtenidos permiten afirmar que defoliaciones cada 45 días aproximadamente permiten aumentar la producción de forraje en relación a manejos más frecuentes, conclusión también presentada por Formoso (2010c). Este resultado se ubica en el rango de las frecuencias óptimas entre 40 a 60 días entre cortes obtenidas por Duru y Ducrocq (2000) en *Dactylis* en el que la tasa de senescencia y la de expansión se igualan, momento óptimo para pastorear según Chapman (2016). También coincide con el *Lolium multiflorum*, en el que la defoliación óptima se da cuando hay 3 hojas vivas completamente desarrolladas por macollo (Fulkerson y Donaghy, 2001, Fariña et al., 2017, Rossi, 2017).

Con referencia a la altura del remanente post corte, los resultados concuerdan con Lowe y Bowdler (1988), Fulkerson y Slack (1995), Carámbula (2007) e INIA Uruguay (2020), en que las alturas de remanentes ideales para

avena que maximizan la producción de forraje rondan en torno a 5-7 cm, ya que los resultados muestran que un corte con 5 cm de remanente no conlleva pérdidas en rendimiento comparados con un remanente mayor; en este sentido no concuerda con los resultados de Best y Costantini (1989), y en su valor son más bajos que los estimados por Squella y Ormeño (2007).

La tasa de crecimiento fue siempre mayor para el manejo 3 hojas en todas las estaciones y en el total, a excepción de primavera, donde no hay diferencias. Estos resultados están en concordancia con reportes para raigrás, festuca y falaris (Kerrisk y Thomson, 1990); se puede afirmar que la altura de remanente del manejo 3 hojas no fue lo suficientemente baja como para causar una disminución de la tasa de crecimiento (Davies, 1974), sino que incluso fue mayor bajo este manejo.

La época de siembra fue significativa para la producción estacional de otoño y otoño+invierno, con un efecto positivo de la fecha temprana, que produjo más del cuádruple en otoño y en el acumulado otoño+invierno un 32% más que la tardía. En la producción total, la época temprana produjo 22% más. Esto puede ser atribuido al efecto de un período de crecimiento más largo (cuadro no. 8) y a una temperatura más adecuada durante el período de crecimiento; en el caso de la producción de otoño de la siembra tardía, esta corresponde a pocos días de crecimiento (36 días) y menores tasas de crecimiento por encontrarse en fase de crecimiento inicial (anexo no. 8).

Dichos resultados coinciden con lo expresado por Holt (1972), Forsberg y Reeves (1995), Zanoniani y Noëll (1997), Carámbula (2007), Coblenz et al. (2011) y Noutary (2014), donde la producción de la siembra temprana fue mayor a la de la siembra tardía. La superioridad de las siembras tempranas en la producción otoñal y en el acumulado de otoño e invierno evidencia lo destacado por Carámbula (1977, 2007), que las mismas permiten disponer de forraje en época críticas. No se evidenció una superioridad de la época de siembra tardía en la producción primaveral, lo cual no coincide con lo afirmado por Rebuffo (2000) y Kent (2019), que con los atrasos en la siembra la producción primaveral es mayor.

Para la época de siembra temprana, el manejo 3H siempre obtuvo producciones de biomasa mayores que el laxo en todas las estaciones. Para la época tardía no hubo diferencias entre manejos. Esto implica que, ante siembras tardías, la elección del manejo de la defoliación a implementar no sería de

importancia en la determinación del rendimiento del verdeo. Sin embargo, ante siembras tempranas, el ajuste del manejo cuando el cultivo alcanza 3 hojas implica un aumento en la producción de forraje de 2651 kg MS.ha⁻¹ y una mayor producción en todas las estaciones. Esta respuesta al manejo podría estar asociado al potencial del ambiente. En ambientes de mayor potencial, como la siembra temprana, que admiten mayores producciones, el manejo 3 hojas se logra diferenciar del laxo, mientras que en ambientes limitantes no lograría expresar esta superioridad.

Un patrón similar ocurre con la tasa de crecimiento, donde las diferencias en la tasa estacional de otoño e invierno fueron mayores para la siembra temprana y para el manejo 3 hojas en forma sistemática, siendo en la interacción época*manejo la combinación siembra temprana y manejo 3 hojas la de mayor tasa de crecimiento, con las otras combinaciones con valores menores e iguales (anexo no. 8). Este comportamiento se corresponde con los resultados de producción de materia seca. Para la época tardía, sin embargo, no se divisa una generalidad tan clara con respecto a la superioridad de uno u otro manejo.

La productividad del verdeo de avena se vio afectada por el genotipo utilizado. Las diferencias se hayan fundamentalmente en la producción vegetativa (otoño+invierno) y en la producción primaveral. En la producción de invierno y la acumulada de otoño + invierno, INIA Columba y E1095a no se diferenciaron y en promedio produjeron un 13% más que la de LEAv 1612. Estos resultados no coinciden con el experimento de Hernández y Piñeyro (2020), los cuáles no hallaron diferencias entre cultivares para estas estaciones. En primavera, E1095a y LEAv 1612 lograron producir en promedio un 32% más biomasa que INIA Columba; este ranking coincide con lo expuesto por Hernández y Piñeyro (2020). Esta diferencia productiva se debe probablemente a un ciclo más corto (floración 14 días más temprana que E1095a y LEAv 1612) (anexo no. 9) y a una mayor susceptibilidad a la roya de la hoja de INIA Columba (23% severidad vs 12,5% y 13% para LEAv 1612 y E1095a respectivamente). E1095a logró una producción total de 9174 kg MS.ha⁻¹, un 17% y 13% mayor que INIA Columba y LEAv 1612, respectivamente. Para Hernández y Piñeyro (2020), E1095a y LEAv 1612 no se diferenciaron, e INIA Columba fue la que menor producción total logró. Desde el punto de vista productivo, se detectaron diferencias importantes entre cultivares que deberían ser consideradas al momento de la elección del cultivar a sembrar, enfocando la decisión en la

productividad estacional diferencial que poseen los genotipos utilizados según la finalidad productiva del verdeo.

Los genotipos E1095a e INIA Columba presentan la mayor tasa de crecimiento en invierno y en el período otoño + invierno. En primavera, E1095a y LEAv 1612 son los genotipos con las mayores tasas. Para el total del ciclo E1095a logró la tasa de crecimiento más alta, de 48,5 kg MS.ha⁻¹.d⁻¹, mientras que las tasas de INIA Columba y LEAv 1612 no se diferenciaron entre sí y promediaron 42,3 kg MS.ha⁻¹.d⁻¹.

Para la producción de biomasa y la tasa de crecimiento existen diferentes respuestas de los cultivares al manejo empleado, a excepción de E1095a que no difiere su producción ni la tasa de crecimiento según el manejo empleado. En otoño y en la producción vegetativa (acumulado de otoño+invierno), los genotipos INIA Columba y LEAv 1612 lograron mayores producciones y tasas de crecimiento con el manejo 3H. En primavera, el manejo 3H fue superior para la producción solamente en el genotipo INIA Columba, sin embargo, no se detectaron diferencias en la tasa de crecimiento para este genotipo entre manejos. La tasa de crecimiento para el total del período se diferenció entre manejos únicamente para INIA Columba, con mayores tasas para el manejo 3 hojas. Por lo tanto, se puede argumentar que el manejo 3 hojas es recomendable para maximizar la producción de biomasa en los genotipos estudiados, ya que se logra una producción superior o igual al laxo.

Los resultados con respecto al efecto de los manejos de la defoliación en los parámetros de calidad indican que el manejo laxo logra mayor contenido de proteína cruda durante toda la estación de crecimiento y menor contenido de FDN durante el estado vegetativo, logrando mayores diferencias entre manejos en el invierno. Esta diferencia en la calidad a favor del manejo laxo se puede explicar por la mayor cosecha de la fracción lámina, la cual, según fuera expresado por Trujillo y Uriarte (2007), presenta valores más altos de proteína y más bajos de fibra detergente neutro. Es relevante considerar que los contenidos de fibra y de proteína logrados por el forraje durante la fase vegetativa en ambos manejos no serían limitantes de la producción animal de alta exigencia (Acosta, 2004). Sin embargo, en términos no de composición sino de producción total, la producción de proteína cruda fue mayor para el manejo 3 hojas en otoño y primavera, mientras que en invierno y en el acumulado otoño e invierno fue mayor para el manejo laxo. Se puede concluir que en otoño y primavera el efecto del manejo

en la biomasa producida es mayor que su efecto en la pérdida de calidad, mientras que en invierno y otoño+invierno el efecto es mayor en la mejora de la calidad lograda por el manejo laxo que el efecto del manejo 3 hojas en la productividad.

Con respecto a la producción de materia seca digestible total, el manejo generó diferencias solamente en primavera, con producciones 14% mayores para el manejo 3 hojas. Este resultado coincide con lo encontrado por Gomes y Reis (1999), quienes con cortes cada 8 semanas aproximadamente (periodo similar al manejo 3H) igualmente lograron maximizar la cosecha de forraje de alto valor nutritivo. Esto determina que, contrariamente a lo afirmado por Carámbula (2007), pastoreos cada 6-8 semanas aún son convenientes para maximizar la cosecha de materia seca digestible en el caso de la avena. En este parámetro se puede observar que la mayor calidad lograda por el manejo laxo logra compensar la menor cantidad de forraje que produce en comparación con el manejo 3 hojas. Esto explica que los manejos no se diferencien en la producción de materia seca digestible, excepto en primavera, ya que se produce más forraje bajo manejo 3 hojas y no hay diferencias en la calidad lograda entre manejos.

En lo referente a la época de siembra, en la época tardía se observó un mayor contenido de proteína cruda y menor contenido de FDN, FDA y MS en estado vegetativo. Esto se puede deber a que el período de producción se ubica en invierno y principios de primavera, período de baja temperatura lo cual puede haber determinado una menor actividad metabólica, crecimiento y lignificación de la pared celular lo que explicaría estas diferencias entre los parámetros nutricionales, como ha sido reportado por Wilson et al. (1991), Gillooly et al. (2001), Moore y Jung (2001), Thorvaldsson et al. (2007) y Trujillo y Uriarte (2007).

En la estación de otoño y en el acumulado de otoño + invierno la producción de proteína cruda por hectárea y materia seca digestible por hectárea fue mayor para la época temprana, lo cual se debió principalmente a la mayor producción de biomasa en otoño. En invierno y primavera no hubo diferencias en producción de materia seca digestible mientras que en producción de proteína cruda en la época tardía fue superior, lo cual es atribuible al mayor contenido de proteína en planta dado que en producción de biomasa no se diferenciaron.

De acuerdo a los resultados obtenidos, las siembras tardías implican mejores parámetros de calidad pero que no logran compensar la menor

producción de forraje otoñal, alcanzando menores valores de producción de proteína cruda y materia seca digestible.

Durante el estado vegetativo, el PC% fue mayor para el manejo laxo solamente cuando se sembró temprano, mientras que en siembras tardías no hay diferencias. El FDN% y FDA% fue menor para temprano*laxo contra temprano*3H mientras que en la época tardía ocurrió lo contrario.

La producción de PC.ha⁻¹ para el ciclo vegetativo (otoño + invierno) se diferencian según manejos solamente con siembras tardías, logrando una mayor producción el manejo laxo. Para la etapa de acumulación de forraje no se hallaron diferencias entre manejos en ninguna de las épocas de siembra.

La producción de MSD.ha⁻¹ en siembras tempranas fue mayor con manejo 3H en invierno, primavera y otoño + invierno, en siembras tardías no existieron diferencias entre manejos. Esto tiene las mismas implicancias prácticas que lo expuesto para producción de forraje.

En cuanto a la calidad nutricional de los genotipos, LEAv 1612 es el cultivar que presenta los mejores valores en los parámetros de calidad, seguido por INIA Columba y por último E1095a. Una explicación a este fenómeno pueden ser las diferencias en tamaño de hoja y número de macollo por planta, los cuales afectan la relación hoja/tallo, la cual según Trujillo y Uriarte (2007) afecta la calidad. LEAv 1612 presenta los valores más altos del contenido de PC, INIA Columba es intermedia y E1095a presenta los menores valores (en estado vegetativo). LEAv 1612 presenta a su vez los menores valores de FDN y FDA, mientras que E1095a e INIA Columba se diferencian entre sí solamente en el contenido de FDA, teniendo E1095a los valores más altos.

En invierno, E1095a e INIA Columba lograron un 11% más de producción de PC.ha⁻¹ que LEAv 1612. Este resultado se explica principalmente por la diferencia en la producción de biomasa entre genotipos. En otoño + invierno INIA Columba produjo un 11% más PC.ha⁻¹ que LEAv 1612, mientras que E1095a no se diferenció de ninguno de los dos cultivares. Aunque LEAv 1612 logró mayor PC% en dicho período, fue la mayor producción de biomasa de INIA Columba la que explicó la diferencia.

En invierno, INIA Columba logró una producción 9% mayor de MSD.ha⁻¹ que LEAv 1612, mientras que E1095a no se diferenció de ninguno de ellos. Esto

se fundamenta de la misma manera que la producción de $PC.ha^{-1}$ en otoño + invierno. En primavera, E1095a y LEAv 1612 produjeron 26% más $MSD.ha^{-1}$ que INIA Columba, lo que acompaña la producción de biomasa de los genotipos.

Para la producción de $PC.ha^{-1}$ en el período vegetativo E1095a es el único genotipo en el que se diferencian los manejos, siendo superior el laxo. En la acumulación post-cierre (primavera), efectuar manejos laxos no es recomendable para el genotipo INIA Columba.

La elección del genotipo a utilizar deberá ser enfocada en el momento de entrega de forraje deseado, dado que la producción de forraje de calidad se ve alterada por el genotipo. En términos generales, INIA Columba destaca en producción vegetativa de nutrientes explicado por una calidad intermedia pero una producción superior. Pensando en la producción de forraje de calidad en primavera, como podría ser para reserva forrajera, y de acuerdo a los resultados, las mejores opciones a considerar serían E1095a y LEAv 1612.

El manejo laxo logró una mayor densidad de macollos que el manejo 3 hojas en invierno y primavera (14% y 18% más respectivamente); en general la tendencia hallada coincide con los resultados de Fulkerson y Slack (1995) y es opuesto a Hunt y Brougham (1967), Pujol (1998) y Agnusdei et al. (2007), dado que no hubo un decremento de la densidad de macollos bajo manejo laxo ni tampoco ocurrió que el número de macollos explique el menor rendimiento de este manejo como afirman Hernández Garay et al. (1997). Este mayor número de macollos logrados por el manejo laxo puede deberse a una mayor sobrevivencia de los nuevos macollos reclutados debido a una mayor área foliar remanente. También se encontró mayor número de hojas cortadas en el manejo laxo, así como más hojas muertas, corroborando lo expuesto por Chapman (2016) y Fariña et al. (2017), donde manejos laxos determinaron una disminución del forraje total y de forraje verde ofrecido dado por la muerte de hojas. Además, las hojas cortadas que quedan de remanente corresponden a hojas más maduras que no fueron levantadas durante el corte, lo cual se asocia con un valor nutricional más alto del material cosechado por el manejo laxo, hecho que se verificó en los resultados. Durante el invierno, el manejo laxo provocó un mayor número de nudos visibles, lo que implica que este manejo tiende a encañiar antes, lo cual repercute posiblemente en la calidad de acuerdo a lo expresado por Hunt y Broughman (1967) y Pujol (1998), aunque esto no se encontró en los resultados presentados para dicha estación.

La época de siembra tardía logró un mayor número de macollos por metro cuadrado en invierno y primavera (33% y 11% más respectivamente). Este resultado puede ser explicado por el mayor número de plantas logrado en la época de siembra tardía. Esta superioridad de macollos no se ve reflejada en la producción de biomasa de dichas estaciones.

El número de macollos.m⁻² de E1095a fue superior a LEAv 1612 en todas las estaciones y solamente en primavera fue mayor que INIA Columba. Únicamente en el otoño INIA Columba produjo más macollos.m⁻² que LEAv 1612. Este parámetro sin embargo no logra explicar los resultados productivos obtenidos, dado que no existe relación entre ellos.

En cuanto a la estimación de la productividad a través de medidas indirectas, se encontró una relación significativa entre la altura pre corte y la biomasa en estado vegetativo. Esta relación tuvo un mejor ajuste ($r^2=0,84$) para el manejo 3 hojas, con una pendiente de 63 kg MS.ha⁻¹.cm⁻¹, la cual es menor a la reportada por De Barbieri et al. (2000), Montossi et al. (2013) y Dotta y Quintero (2018); el manejo laxo tuvo un ajuste menor ($r^2=0,48$). La relación entre el índice NDVI y la disponibilidad de biomasa vegetativa fue mayor para el manejo laxo, el cual tuvo una pendiente de 225 kg MS.ha⁻¹ por cada unidad decimal de NDVI y un ajuste de $R^2 = 0,59$, siendo este menor al medido por Edirisinghe et al. (2011) y Cicore et al. (2016), probablemente debido al mayor número de datos utilizados y a los factores de corrección utilizados en dichos trabajos. A pesar de que el ajuste sea estadísticamente significativo, estas medidas indirectas no parecen tener suficiente robustez como para predecir la respuesta en producción de biomasa. Comparativamente, la estimación de la biomasa a través de la altura parece ser más precisa y robusta que el NDVI.

A través de la selección de un modelo de regresión lineal mediante el proceso stepwise de infostat, utilizando como variables regresoras tanto las variables categóricas del ensayo como los días post emergencia de la fecha temprana y su potencia al cuadrado, se identificó que el momento del corte y su potencia fueron significativos para modelar todos los parámetros analizados (excepto para tasa de crecimiento que solo fue significativo al cuadrado), indicando que posiblemente el desarrollo fenológico del cultivo y parámetros como la temperatura se correlacionen con los parámetros de calidad evaluados (cuadro no. 14).

También los parámetros de clasificación y tratamientos aplicados generaron efectos sobre la calidad del forraje. El manejo de la defoliación fue significativo para los parámetros de PC%, Cen%, FDN%, kg MSD.ha⁻¹ y tasa de crecimiento. La época de siembra fue significativa para el ajuste del modelo de regresión lineal únicamente en el porcentaje de materia seca y para la tasa de crecimiento. La época temprana presentó mayores tasas de crecimiento y valores de MS% que la época tardía. El genotipo resultó significativo para los parámetros FDN%, y MS%. En FDN%, INIA Columba y LEAv 1612 son diferentes y logran menores valores que E1095a. Para modelar el parámetro MS% solamente se detectó al genotipo INIA Columba como factor significativo, logrando valores inferiores a los de LEAv 1612 y E1095a (cuadro no. 14; anexo no. 5).

6. CONCLUSIONES

A pesar de que este trabajo se llevó a cabo durante un solo año y que por lo tanto hay un efecto del ambiente en los resultados (efecto año), a partir de los resultados obtenidos se puede concluir que:

Para lograr maximizar el potencial de producción de biomasa es necesario en un primer paso lograr sembrar temprano el verdeo, factor reportado en este y otros trabajos.

El segundo paso es conocer el potencial productivo del genotipo, debido a su diferente capacidad de respuesta al manejo y producción de biomasa; en este sentido, más allá de los cultivares usados en este ensayo, es esperable obtener respuestas diferentes entre cultivares distintos de avena; algunos tienen una mayor producción en estadios vegetativos y otros una mayor capacidad de acumulación en estadio reproductivo.

El tercer factor a definir es el manejo de la defoliación a efectuar, teniendo en cuenta el potencial de producción del ambiente, la importancia del volumen esperado de producción y la relevancia de la calidad nutricional requerida. La producción de biomasa y materia seca digestible se diferenciaron entre manejos de la defoliación únicamente en la siembra temprana a favor del manejo 3 hojas; en la siembra tardía no se encontraron diferencias. Para calidad nutricional, el manejo laxo, con alto remanente y cortes frecuentes, logró mayores niveles de digestibilidad de materia orgánica y proteína cruda que el manejo 3 hojas.

La mejor calidad del manejo laxo provoca que se logre compensar su menor producción de biomasa, por lo que el manejo laxo logra alcanzar la producción de materia seca digestible ($\text{kg MSD}\cdot\text{ha}^{-1}$) del manejo 3 hojas en la fase vegetativa, no así en la reproductiva, donde la productividad pesa más que la calidad. El manejo laxo logró una mayor producción de proteína cruda para la totalidad del ciclo vegetativo, mientras que en primavera no hubo diferencias entre manejos.

7. RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue estudiar el efecto del manejo de la defoliación en la productividad estacional y total de avena forrajera. Los 3 cultivares de avena utilizados se sometieron a cortes conforme a un manejo de la defoliación 3 hojas, que constaba en cortar cada vez que la parcela llegaba a 3 hojas totalmente desplegadas y dejaba 5 cm de remanente, y a un manejo laxo, que consistía en cortes cuando la parcela llegaba a 25 cm de altura dejando 11 cm de remanente. Se trabajó en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones por tratamiento. Los tratamientos fueron constituidos por 3 factores: 3 genotipos (La Estanzuela 1095a, INIA Columba y LEAv 1612), 2 manejos de la defoliación (3 hojas y laxo) y 2 épocas de siembra (temprana y tardía). Sobre cada parcela se determinó la producción de biomasa y la composición nutricional del forraje, así como la altura y el valor del NDVI al momento del corte. En una muestra de planta entera se evaluó además la estructura de la planta y durante el transcurso del experimento se contabilizaron macollos por metro cuadrado. La elección de fechas de siembra tempranas permite una mayor producción de forraje donde las diferencias se ubican principalmente en la mayor producción otoñal de las siembras tempranas. El manejo de la defoliación 3 hojas es superior al manejo laxo para la producción de biomasa. Los genotipos tienen diferentes producciones estacionales y totales. E1095a presenta producciones de biomasa superiores durante todo el ciclo, mientras que INIA Columba logra altas producciones en su fase vegetativa en detrimento de su producción primaveral. LEAv 1612 logra las menores producciones en su fase vegetativa pero presenta mayor potencial de producción primaveral. La definición del manejo de la defoliación a emplear toma mayor relevancia en fechas de siembra tempranas, dado que ambos manejos se diferencian, mientras que en fechas tardías no hay diferencias entre ellos en producción de biomasa. El trabajo también confirma que existen diferentes respuestas al manejo según el genotipo utilizado, dado que E1095a es aparentemente insensible al manejo, mientras que INIA Columba y LEAv 1612 tienen cierto grado de respuesta al mismo, en general a favor del manejo 3 hojas. En este trabajo se halló que el manejo laxo logra forrajes de mayor calidad y que a pesar de tener una menor producción de biomasa (a excepción de primavera) logra compensar su producción de materia seca digestible cosechada ($\text{MSD}\cdot\text{ha}^{-1}$) dado que no se diferencia del manejo 3 hojas e incluso el manejo laxo logra mayor cosecha de proteína cruda durante el ciclo

vegetativo. Las fechas tempranas también son capaces de producir más nutrientes que las siembras tardías. Sin embargo, en épocas de siembra tempranas es necesario hacer un manejo de la defoliación 3 hojas para maximizar la cosecha de materia seca digestible mientras que en avena sembrada tarde no hay diferencias entre manejos. Se observó una mayor población de macollos bajo el manejo laxo, así como un cambio en la estructura de la planta cuando es sometida a diferentes alturas de cortes y remanentes. En este trabajo, la estimación de la productividad a través del uso de la altura y el índice NDVI no parece ser lo suficientemente robusta como para lograr una buena predicción. Comparativamente, la estimación de la biomasa a través de la altura parece ser más precisa que el NDVI.

Palabras clave: avena, manejo de la defoliación, producción de biomasa, calidad nutricional, época de siembra, digestibilidad, proteína cruda, altura, NDVI

8. SUMMARY

The objective of this study was to determine the effect of defoliation management on the seasonal and total productivity of forage oats. The three cultivars of oats used underwent through cuts according to a “3 leaves” defoliation management criterion, which consisted on a defoliation frequency each time that the plot reached 3 totally elongated leaves and leaving 5 cm of sward, and through a “lenient” defoliation management criterion, which consisted on cuttings when the plot reaches 25 cm height and leaving 11 cm sward. The experimental design was a completely randomized blocks with 3 repetitions per treatment: 3 genotypes (La Estanzuela 1095a, INIA Columba y LEAv 1612), 2 defoliation management criteria (3 leaves and lenient) and 2 sowing times (early and late). In each plot the biomass production and nutritional composition was determined, as well as the height and the NDVI value before the defoliation. With an entire plant sample the structure of the plant was also evaluated and during the course of the experiment the number of tillers per square meter was counted. Choosing early sowing dates allows a greater forage production, which differences are spotted mainly in it's bigger fall production. The 3 leaves defoliation management criterion reaches a greater forage production. Different genotypes have different seasonal and total forage production. E1095a cultivar presents greater biomass and nutrient production during the whole lifecycle, meanwhile INIA Columba achieves high productions in the vegetative phase in detriment of the spring production. LEAv 1612 obtains the lower productions in the vegetative phase but attains greater spring production potential. The settle for the defoliation management criteria to be used takes superior significance in early sowing dates, due to the differentiation between both managements, meanwhile there are no differences between both in the late sowing dates. The present work confirms that there are different responses to the employed defoliation management according to the genotype used, considering that E1095a is apparently insensitive to the management, while INIA Columba and LEAv 1612 have certain grade of response to it, generally in favour of 3 leaves defoliation management. In this work was attested that the quality increasement compensates the lower forage production of the lenient management (except for spring), as there is no difference between the defoliation management criteria in the digestible dry matter (DDM.ha⁻¹) harvested and even that the lenient management achieves a greater crude protein harvest during the vegetative cycle. Early sowing dates are able to achieve a

greater production of nutrients than the late sowing dates. However, only when the forage oats have been sown early, it's necessary to apply a 3 leaves defoliation management criterion in order to maximize the digestible dry matter production. Late sowing dates allow to apply any of the two defoliation criterions with no difference in nutrient production. A higher tiller population was seen under the lenient defoliation management criterion. The defoliation heights and swards were also seen to have an impact on the plant structure. In this study, the productivity estimation through the NDVI and average plant height on the plot was not sufficiently precise to be able to achieve a good prediction. When comparing the two predictions, using the average plant height seems to be more precise than the NDVI.

Keywords: oats, defoliation management, biomass production, nutritional quality, sowing dates, digestibility, crude protein, height, NDVI

9. BIBLIOGRAFÍA

1. Acosta, Y. 2004. Estimadores de valor nutritivo para producción de leche. (en línea). In: Mieres, J. M. ed. Guía para la alimentación de rumiantes. Montevideo, INIA. pp. 69 - 78. (Serie técnica no. 142). Consultado nov. 2022. Disponible en <http://www.inia.uy/publicaciones/documentos%20compartidos/111219240807141556.pdf>
2. Agnusdei, M. 2007. Calidad nutritiva del forraje. (en línea). Argentina, s.e. s.p. Consultado set. 2022. Disponible en https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pastoreo%20sistemas/64-calidad.pdf
3. _____; Assuero, S.; Fernández Grecco, G.; Cordero, J.; Burghi, V. 2007. Influence of sward condition on leaf tissue turnover in tall fescue and tall wheatgrass swards under continuous grazing. (en línea). Grass and Forage Science. 62(1): 55 - 65. Consultado set. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2007.00561.x>
4. Allen, V. G.; Batello, C.; Berretta, E. J.; Hodgson, J.; Kothmann, M.; Li, X.; Mclvor, J.; Milne, J.; Morris, C.; Peeters, A.; Sanderson, M. 2011. An international terminology for grazing lands and grazing animals. (en línea). Grass and Forage Science. 66(1): 2 - 28. Consultado mar. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2010.00780.x>
5. Amigone, M.; Kloster, A. 1997. Verdeos de invierno. (en línea). Argentina, s.e. s.p. Consultado 12 feb. 2022. Disponible en https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas_cultivadas_verdeos_invierno/26-verdeos_de_invierno.pdf
6. Amin, M.; Hamid, A.; Choudhury, R.; Raquibullah, S.; Asaduzzaman, M. 2006. Nitrogen fertilizer effect on tillering, dry matter production and yield of traditional varieties of rice. (en línea). International Journal of Sustainable Crop Production. 1(1): 17 - 20. Consultado jun. 2022. Disponible en <http://ggfjournals.com/assets/uploads/17-20.pdf>

7. Assuero, S.; Tognetti, J. 2010. Tillering regulation by endogenous and environmental factors and its agricultural management. (en línea). The Americas Journal of Plant Science and Biotechnology. 4(1): 35 - 48. Consultado jun. 2022. Disponible en [http://www.globalsciencebooks.info/Online/GSBOnline/images/2010/AmJPSB_4\(SI1\)/AmJPSB_4\(SI1\)35-48o.pdf](http://www.globalsciencebooks.info/Online/GSBOnline/images/2010/AmJPSB_4(SI1)/AmJPSB_4(SI1)35-48o.pdf)
8. Ayala, W.; Bemhaja, M.; Cotro, B.; Do Canto, J.; García, J.; Olmos, F.; Real, D.; Rebuffo, M.; Reyno, R.; Rossi, C.; Silva, J. 2010. Forrajeras: catálogo de cultivares 2010. (en línea). Montevideo, INIA. 132 p. (Ediciones especiales no. 38). Consultado jun. 2022. Disponible en <http://inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/18429300810155513.pdf>
9. Barbehenn, R.; Chen, Z.; Karowe, D.; Spickard, A. 2004. C3 grasses have higher nutritional quality than C4 grasses under ambient and elevated atmospheric CO₂. (en línea). Global Change Biology. 10: 1565 - 1575. Consultado set. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2004.00833.x>
10. Barnett, R.; Soffes Blount, A.; Mislevy, P.; Johnson, J. 1997. Selection and management of oats for forage production in the Southeastern United States. (en línea). In: South American Oats Congress (3^o., 1997, Colonia). Proceedings. Colonia, INIA. pp. 57 - 65. Consultado ago. 2022. Disponible en <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/16619/1/3-South-American-Oats-Congress.pdf>
11. Bauer, B.; von Wirén, N. 2020. Modulating tiller formation in cereal crops by the signalling function of fertilizer nitrogen forms. (en línea). Scientific Reports. 10: 20504. Consultado ago. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1038/s41598-020-77467-3>
12. Best, C.; Costantini, F. 1989. Evaluación de la capacidad de rebrote en avena con distinta intensidad de defoliación y dos frecuencias de corte. Tesis Ing. Agr. Santa Rosa, Argentina. Universidad Nacional de La Pampa. 16 p.

13. Borrajo, C.; Alonso, S. 2015. Tasa de aparición de hojas y macollos en *Thinopyrum ponticum*, efecto del ambiente y el material genético. (en línea). In: Congreso de la Asociación Argentina de Producción Animal (38°, 2016, Buenos Aires). La Pampa, AAPA. p. 184. Consultado jun. 2022. Disponible en https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_-_tasa_de_aparicion_de_hojas_y_macollos_en_thinopyrum_ponticum.pdf
14. _____; Sánchez-Moreiras, A.; Reigosa, M. 2018. Morpho-physiological responses of tall wheatgrass populations to different levels of water stress. (en línea). PLOS ONE. 13(12): e0209281. Consultado ago. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0209281>
15. Bos, H.; Neuteboom, J. 1998. Morphological analysis of leaf and tiller number dynamics of wheat (*Triticum aestivum* L.): responses to temperature and light intensity. (en línea). Annals of Botany. 81(1): 131 - 139. Consultado ago. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1006/anbo.1997.0531>
16. Briske, D. 1991. Developmental morphology and physiology of grasses. (en línea). In: Heitschmidt, R.; Stuth, J. eds. Grazing Management: an ecological perspective. Oregon, Timber Press. pp. 85 - 108. Consultado jun. 2022. Disponible en https://www.webpages.uidaho.edu/range456/readings/heitschmidt_stuth_book/chapter_4/chapter4_grazing_resistance.htm
17. _____; Richards, J. 1995. Plant responses to defoliation: a physiological, morphological and demographic evaluation. (en línea). Davis, University of California. 104 p. Consultado dic. 2022. Disponible en <https://agrilife.org/briske/files/2014/03/Briske-Richards-SRM-CHAPTER95.pdf>
18. Burgess, P.; Grant, E.; Nicholson, J. 1972. Feeding value of "forage" oats. (en línea). Canadian Journal of Animal Science. 52(2): 448 - 450. Consultado ago. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.4141/cjas72-052>
19. Carámbula, M. 1977. Producción y manejo de pasturas sembradas. Montevideo, Hemisferio Sur. 464 p.
20. _____; García, J. 1979. Características de las principales especies forrajeras. Revista de divulgación técnica: informaciones agrícolas, ganaderas, granjeras. 1(1): 23 - 25.

21. _____. 2002. Pasturas y forrajes: potencialidades y alternativas para producir forraje. Montevideo, Hemisferio Sur. 357 p.
22. _____. 2003. Pasturas y forrajes: insumos, implantación y manejo de pasturas. Montevideo, Hemisferio Sur. 371 p.
23. _____. 2007. Verdeos de invierno. Montevideo, Hemisferio Sur. 178 p.
24. Casal, J.; Sánchez, R.; Deregibus, V. 1987. The effect of light quality on shoot extension growth in three species of grasses. (en línea). *Annals of Botany*. 59(1): 1 - 7. Consultado jun. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a087276>
25. Castro, M.; Pereyra, S.; Morales, X.; Cardozo, V. 2017. Cereales para producción de forraje y grano: cultivares de avena doble propósito (*Avena byzantina* L. y *Avena sativa* L.). (en línea). In: INIA (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, UY); INASE (Instituto Nacional de Semillas, UY). Resultados experimentales de la evaluación nacional de cultivares de especies forrajeras: anuales, bianuales y perennes: período 2017. La Estanzuela. pp. 17 - 20. Consultado nov. 2022. Disponible en http://www.inia.org.uy/convenio_inase_inia/Evaluacion_EF/Ano2017/PubForrajerasPeriodo2017.pdf
26. _____.; Morales, X.; Cardozo, V. 2018. Cereales para producción de forraje y grano: cultivares de avena doble propósito (*Avena byzantina* L. y *Avena sativa* L.). (en línea). In: INIA (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, UY); INASE (Instituto Nacional de Semillas, UY). Resultados experimentales de la evaluación nacional de cultivares de especies forrajeras: anuales, bianuales y perennes: período 2018. La Estanzuela. pp. 17 - 18. Consultado nov. 2022. Disponible en http://www.inia.org.uy/convenio_inase_inia/Evaluacion_EF/Ano2018/PubForrajerasPeriodo2018.pdf

27. _____.; Pereyra, S.; García, R.; Morales, X.; Cardozo, V. 2019. Cereales para producción de forraje y grano: cultivares de avena doble propósito (Avena byzantina L. y Avena sativa L.) y triticale (xTriticosecale). (en línea). In: INIA (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, UY); INASE (Instituto Nacional de Semillas, UY). Resultados Experimentales de la Evaluación Nacional de cultivares de especies forrajeras: anuales, bianuales y perennes: período 2019. La Estanzuela. pp. 17 - 20. Consultado nov. 2022. Disponible en http://www.inia.org.uy/convenio_inase_inia/Evaluacion_EF/Ano2019/PubForrajerasPeriodo2019_FINAL.pdf
28. _____.; Stewart, S.; Pereyra, S.; Morales, X.; Cardozo, V. 2020. Cereales para producción doble propósito avena: avena sativa L. (var. sativa y var. byzantina) y triticale (xTriticosecale). (en línea). In: INIA (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, UY); INASE (Instituto Nacional de Semillas, UY). Resultados Experimentales de la Evaluación Nacional de cultivares de especies forrajeras: anuales, bianuales y perennes; período 2020. La Estanzuela. pp. 22 - 24. Consultado nov. 2022. Disponible en http://www.inia.org.uy/convenio_inase_inia/Evaluacion_EF/Ano2020/PubForrajerasPeriodo2020.pdf
29. _____.; Pereyra, S.; Morales, X.; Cardozo, V. 2021. Cereales para producción doble propósito avena: avena sativa L. (var. sativa y var. byzantina), cebada (Hordeum vulgare L.), centeno (Secale cereale) y triticale (xTriticosecale). (en línea). In: INIA (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, UY); INASE (Instituto Nacional de Semillas, UY). Resultados Experimentales de la Evaluación Nacional de cultivares de especies forrajeras: anuales, bianuales y perennes: período 2021. La Estanzuela. pp. 24 - 27. Consultado mar. 2023. Disponible en http://www.inia.org.uy/convenio_inase_inia/Evaluacion_EF/Ano2021/PubForrajerasPeriodo2021.pdf

30. Cattani, P.; Bragachini, M.; Peiretti, J. 2008. Forrajes conservados de alta calidad: fundamentos de la incorporación de los forrajes conservados a los procesos productivos. (en línea). *In*: Bragachini, M.; Cattani, P.; Gallardo, M.; Peiretti, J. eds. Forrajes conservados de alta calidad y aspectos relacionados al manejo nutricional. Buenos Aires, INTA. pp. 25 - 30. (Manual Técnico no. 6). Consultado ago. 2022. Disponible en https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-libro_forrajes.pdf
31. Chapman, D.; Lemaire, G. 1993. Morphogenetic and structural determinants of plant regrowth after defoliation. *In*: International Grassland Congress (17th., 1993, Queensland). Proceedings. Wellington, SIR Publishing. pp. 55 - 64.
32. _____. 2016. Using ecophysiology to improve farm efficiency: application in temperate dairy grazing systems. (en línea). *Agriculture*. 6(2): 17. Consultado ago. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.3390/agriculture6020017>
33. Cherney, J.; Marten, G. 1982. Small grain crio forage potential: II. interrelationships among biological, chemical, morphological, anatomical determinants of quality. (en línea). *Crop Science*. 22: 240 - 245. Consultado ago. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.2135/cropsci1982.0011183X002200020010x>
34. Cicore, P.; Serrano, J.; Shahidian, S.; Sousa, A.; Costa, J.; da Silva, J. 2016. Assessment of the spatial variability in tall wheatgrass forage using LANDSAT 8 satellite imagery to delineate potential management zones. (en línea). *Environmental Monitoring and Assessment*. 188(9): 513 - 524. Consultado set. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5512-z>
35. Cline, M. 1994. The role of hormones in apical dominance: new approaches to an old problem in plant development. (en línea). *Physiologia plantarum*. 90(1): 230 - 237. Consultado ago. 2022. Disponible en <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1399-3054.1994.tb02216.x>
36. Coblenz, W. K.; Bertram, M. G.; Martin, N. P. 2011. Planting date effects on fall forage production of oat cultivars in Wisconsin. (en línea). *Agronomy Journal*. 103(1): 145 - 155. Consultado mar. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.2134/agronj2010.0350>

37. _____; Akins, M.; Cavadini, J.; Jokela, W. 2017. Net effects of nitrogen fertilization on the nutritive value and digestibility of oat forages. (en línea). *Journal of Dairy Science*. 100(3): 1739 - 1750. Consultado set. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12027>
38. Colabelli, M.; Agnusdei, M.; Mazzanti, A.; Labreveux, M. 1998. El proceso de crecimiento y desarrollo de gramíneas forrajeras como base para el manejo de la defoliación. (en línea). Argentina, s.e. s.p. Consultado jun. 2022. Disponible en https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pastoreo%20sistemas/01-proceso_crecimiento.pdf
39. Condón, F.; Cuitiño, M.; Rossi, C.; Rebuffo, M.; Laún, A. 2016. Avena forrajera "INIA Columba": un cultivar para siembras tempranas y uso en doble propósito (pastoreo y reservas). (en línea). *Revista INIA*. no. 47: 15 - 18. Consultado jun. 2022. Disponible en <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/6445/1/revista-INIA-47.pdf>
40. _____; Zarza, R.; La Manna, A. 2021. Flowering mechanism as a major factor for adaptation of oats for forage management in middle latitudes. (en línea). *Modern Concepts & Developments in Agronomy*. 9(4): 927 - 929. Consultado ago. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.31031/MCDA.2021.09.000716>
41. Confortin, A.; Rocha, M.; Quadros, F.; Glienke, C.; Rossi, G.; Moraes, A. 2010. Structural and morphogenical characteristics of black oats and Italian ryegrass on pasture submitted to two grazing intensities. (en línea). *Revista Brasileira de Zootecnia*. 39(11): 2357 - 2365. Consultado set. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010001100007>
42. Cuddeford, D. 1995. Oats for animal feed. (en línea). In: Welch, R. ed. *The oat crop*. Dordrecht, Springer. pp. 321 - 368. Consultado ago. 2022. Disponible en https://doi.org/10.1007/978-94-011-0015-1_11
43. DairyNZ. s.f. Cereal species. (en línea). Nueva Zelanda. s.p. Consultado ago. 2022. Disponible en <https://www.dairynz.co.nz/feed/crops/cereal-species/>
44. Davies, A. 1974. Leaf tissue remaining after cutting and regrowth in perennial ryegrass. (en línea). *The Journal of Agricultural Science*. 82(1): 165 - 172. Consultado set. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1017/S0021859600050334>

45. Dear, B.; Kaiser, A.; Piltz, J. 2005. Yield and digestibility of legume and oat forages. (en línea). Primefacts. no. 52: 6 p. Consultado set. 2022. Disponible en https://www.dpi.nsw.gov.au/_data/assets/pdf_file/0007/47680/yield_and_digestibility_of_legume_and_oat_forages_-_primefact_52-final.pdf
46. De Barbieri, I.; Rado, F.; Xalambri, L. 2000. Efecto de la carga y de la suplementación sobre la producción y calidad de carne de corderos pesados pastoreando Avena byzantina en la región este. (en línea). Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 122 p. Consultado ago. 2022. Disponible en <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/25579/1/DeBarbieriEtcheberryLuisIgnacio.pdf>
47. Demotes-Mainard, S.; Peron, T.; Corot, A.; Bertheloot, J.; Gourrierc, J.; Travier, S.; Crespel, L.; Morel, P.; Huché-Thelier, L.; Boumaza, R.; Vian, A.; Guérin, V.; Leduc, N.; Sakr, S. 2016. Plant responses to red and far-red lights, applications in horticulture. (en línea). Environmental and Experimental Botany. 121: 4 - 21. Consultado ago. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.05.010>
48. Deregibus, V.; Sanchez, R.; Casal, J. 1983. Effects of light quality on tiller production in Lolium spp. (en línea). Plant Physiology. 72: 900 - 902. Consultado jun. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1104/pp.72.3.900>
49. _____. 2007. Bases para la utilización de sistemas pastoriles. In: Pezzani, F.; Lezama, F. eds. Módulo de pasturas: selección de lecturas. Montevideo, Facultad de Agronomía. 106 p.
50. Di Rienzo, J.; Casanoves, F.; Balzarini, M.; Gonzalez, L.; Tablada, M.; Robledo, C. 2020. InfoStat versión 2020. (en línea). Córdoba, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Consultado oct. 2022. Disponible en <https://www.infostat.com.ar/>
51. Domagalska, M.; Leyser, O. 2011. Signal integration in the control of shoot branching. (en línea). Nature Reviews Molecular Cell Biology. 12: 211 - 221. Consultado ago. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1038/nrm3088>
52. Dotta, S.; Quintero, M. 2018. Determinación de la curva de crecimiento de intercepción de luz de diferentes pasturas sembradas. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 100 p.

53. Duru, M.; Ducrocq, H. 2000. Growth and senescence of the successive grass leaves on a tiller, ontogenetic development and effect of temperature. (en línea). *Annals of Botany*. 85(5): 635 - 643. Consultado set. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1006/anbo.2000.1116>
54. Edirisinghe, A.; Hill, M.; Donald, G.; Hyder, M. 2011. Quantitative mapping of pasture biomass using satellite imagery. (en línea). *International Journal of Remote Sensing*. 32(10): 2699 - 2724. Consultado set. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1080/01431161003743181>
55. Evers, J.; Vos, J.; Andrieu, B.; Striuk, P. 2006. Cessation of tillering in spring wheat in relation to light interception and red: far-red ratio. (en línea). *Annals of Botany*. 97(4): 649 - 658. Consultado ago. 2022. Disponible en <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2803660/>
56. Fariña, S.; Tuñon, G.; Pla, M.; Martínez, R. 2017. Sistema de pastoreo La Estanzuela: guía práctica para la implementación de un sistema de pastoreo. (en línea). Montevideo, INIA. 24 p. (Boletín de divulgación no. 115). Consultado en ago. 2022. Disponible en <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/7228/1/bd-115-2017.pdf>
57. Fernández, R.; Wang, M.; Reynolds, J. 2002. Do morphological changes mediate plant responses to water stress?: a steady-state experiment with two C4 grasses. (en línea). *New Phytologist*. 155(1): 79 - 88. Consultado ago. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2002.00438.x>
58. Finnan, J.; Burke, B.; Spink, J. 2019. The plasticity of the oat panicle and associated changes in leaf area and grain weight. (en línea). *Field Crops Research*. 242: 107592. Consultado ago. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.107592>
59. Formoso, F. 1996. Bases morfológicas y fisiológicas del manejo de pasturas. (en línea). In: Risso, D.; Berretta, E.; Morón, A. eds. *Producción y manejo de pasturas*. Montevideo, INIA. pp. 1 - 19. (Serie Técnica no. 80). Consultado mar. 2022. Disponible en <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/111219240807135431.pdf>

60. _____. 2004. Manejo de defoliación de avena en siembra directa. (en línea). In: Jornada de pasturas (2004, La Estanzuela). Trabajos presentados. Montevideo, INIA. p. 19. (Serie Actividades de difusión no. 380). Consultado set. 2022. Disponible en http://www.inia.org.uy/publicaciones/documentos/le/ad/2004/ad_380.pdf
61. _____. 2007. Conceptos sobre implantación de pasturas. (en línea). In: Jornada de Instalación y Manejo de Pasturas (2007, Colonia). Trabajos presentados. Colonia, INIA. pp. 17 - 38. (Serie Actividades de difusión no. 483). Consultado ago. 2022. Disponible en <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/15664/1/ad-483.pdf;pasturas#page=19>
62. _____. 2010a. Producción de forraje de cultivares de Avena sativa, Avena byzantina, Avena strigosa y Lolium multiflorum. (en línea). In: Producción de forraje y calidad de verdeos de invierno y otras alternativas de producción otoño-invernales. Montevideo, INIA. pp. 1 - 10. (Serie Técnica no. 184). Consultado ago. 2022. Disponible en <http://inia.uy/en/Publicaciones/Documentos%20compartidos/18429280111152635.pdf>
63. _____. 2010b. Efectos de la época, métodos de siembra y el estrés calórico sobre los rendimientos de forraje en verdeos de invierno. (en línea). In: Producción de forraje y calidad de verdeos de invierno y otras alternativas de producción otoño-invernales. Montevideo, INIA. pp. 51 - 58. (Serie Técnica no. 184). Consultado ago. 2022. Disponible en <http://inia.uy/en/Publicaciones/Documentos%20compartidos/18429280111152635.pdf>
64. _____. 2010c. Impacto de la frecuencia de defoliación en la capacidad de producción de forraje de diferentes verdeos de invierno. (en línea). In: Producción de forraje y calidad de verdeos de invierno y otras alternativas de producción otoño-invernales. Montevideo, INIA. pp. 59 - 68. (Serie Técnica no. 184). Consultado ago. 2022. Disponible en <http://inia.uy/en/Publicaciones/Documentos%20compartidos/18429280111152635.pdf>

65. Forsberg, R.; Reeves, D. 1995. Agronomy of oats. (en línea). In: Welch, R. ed. The oat crop. Dordrecht, Springer. pp. 223 - 251. Consultado jun. 2022. Disponible en https://doi.org/10.1007/978-94-011-0015-1_8
66. Frantz, J.; Cometti, N.; Bugbee, B. 2004. Night temperature has a minimal effect on respiration and growth in rapidly growing plants. (en línea). *Annals of Botany*. 94(1): 155 - 166. Consultado jun. 2022. Disponible en <http://doi.org/10.1093/aob/mch122>
67. Fulkerson, W.; Slack, K. 1994. Leaf number as a criterion for determining defoliation time for *Lolium perenne*: 1. effect of water-soluble carbohydrates and senescence. (en línea). *Grass and Forage Science*. 49(4): 373 - 377. Consultado set. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1994.tb02013.x>
68. _____; Slack, K. 1995. Leaf number as a criterion for determining defoliation time for *Lolium perenne*: effect of defoliation frequency and height. (en línea). *Grass and Forage Science*. 50(1): 16 - 20. Consultado ago. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1995.tb02289.x>
69. _____; Donaghy, D. 2001. Plant-soluble carbohydrate reserves and senescence - key criteria for developing an effective grazing management system for ryegrass-based pastures: a review. (en línea). *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 41(2): 261 - 275. Consultado ago. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1071/EA00062>
70. García, J. 1996. Producción de forraje de pasturas cultivadas en la región litoral sur. (en línea). In: Risso, D.; Berretta, E.; Morón, A. eds. Producción y manejo de pasturas. Montevideo, INIA. pp. 163 - 169. (Serie Técnica no. 80). Consultado ago. 2022. Disponible en <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/111219240807135431.pdf>
71. _____. 2003. Crecimiento y calidad de gramíneas forrajeras en La Estanzuela. (en línea). Montevideo, INIA. 35 p. (Serie Técnica no. 133). Consultado ago. 2022. Disponible en <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2878/1/15630191107142500.pdf>

72. Gardner, F.; Wiggans, S. 1960. Effect of clipping and nitrogen fertilization on forage and grain yields of spring oats. (en línea). *Agronomy Journal*. 52(10): 566 - 568. Consultado set. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.2134/agronj1960.00021962005200100004x>
73. Gillooly, J.; Brown, J.; West, G.; Savage, V.; Charnov, E. 2001. Effects of size and temperature on metabolic rate. (en línea). *Science*. 293(5538): 2248 - 2251. Consultado set. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1126/science.1061967>
74. Gomes, J.; Reis, J. 1999. Produção de forrageiras anuais de estação fria no litoral sul de Rio Grande do Sul. (en línea). *Revista Brasileira de Zootecnia*. 28(4): 668 - 674. Consultado ago. 2022. Disponible en <https://www.scielo.br/j/rbz/a/8wnN7ckmd5DmNy6kzs9Vfpk/?lang=pt&format=pdf>
75. Grant, S.; Barthram, G.; Torvell, L. 1981. Components of regrowth in grazed and cut *Lolium perenne* swards. (en línea). *Grass and Forage Science*. 36(3): 155 - 168. Consultado ago. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1981.tb01552.x>
76. Hernández, M.; Piñeyro, M. 2020. Efecto de la frecuencia de defoliación en la estacionalidad y producción de forraje en avena. Tesis Téc. Agrícola Ganadero. Sarandí Grande, Uruguay. Universidad del Trabajo del Uruguay. 41 p.
77. Hernández Garay, A.; Matthew, C.; Hodgson, J. 1997. Effect of spring grazing management on perennial ryegrass and ryegrass-white clover pastures. (en línea). *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 40(1): 37 - 50. Consultado ago. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1080/00288233.1997.9513228>
78. Holt, E. 1972. Growth behaviour and management of small grains for forage. *Agronomy Journal*. 54: 272 - 275.
79. Hsiao, T.; Acevedo, E. 1974. Plant responses to water deficits, water-use efficiency, and drought resistance. (en línea). *Agricultural Meteorology*. 14(1-2): 59 - 84. Consultado ago. 2022. Disponible en [https://doi.org/10.1016/0002-1571\(74\)90011-9](https://doi.org/10.1016/0002-1571(74)90011-9)
80. Hunt, L.; Brougham, R. 1967. Some changes in the structure of a perennial ryegrass sward frequently but leniently defoliated during the summer. (en línea). *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 10(3-4): 397 - 404. Consultado ago. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1080/00288233.1967.10426368>

81. Hussain, A.; Chaudhry, M.; Wajid, A.; Ahmad, A.; Raquif, M.; Ibrahim, M.; Goheer, A. 2004. Influence of water stress on growth, yield and radiation use efficiency of various wheat cultivars. (en línea). International Journal of Agriculture and Biology. 6(6): 1074 - 1079. Consultado jun. 2022. Disponible en https://www.researchgate.net/profile/Muhammad-Ibrahim-55/publication/251802917_Influence_of_Water_Stress_on_Growth_Yield_and_Radiation_Use_Efficiency_of_Various_Wheat_Cultivars/links/5462f3f10cf2837efdb00957/Influence-of-Water-Stress-on-Growth-Yield-and-Radiation-Use-Efficiency-of-Various-Wheat-Cultivars.pdf
82. _____; Khan, S.; Bakhsh, A.; Imran, M.; Ansar, M. 2010. Variability in fodder production potential of exotic oats (*Avena sativa*) genotypes under irrigated conditions. (en línea). Journal of Agricultural Research (Pakistan). 48(1): 65 - 71. Consultado ago. 2022. Disponible en <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=PK2010001115>
83. INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, UY). s.f.a. Banco de datos agroclimático. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado jun. 2022. Disponible en <http://www.inia.uy/gras/Clima/Banco-datos-agroclimatico>
84. _____. s.f.b. GESIR (Gestor inteligente de riego). (en línea). Montevideo. s.p. Consultado mar. 2023. Disponible en http://gesir.inia.uy/modelos_inia/gesir/
85. _____. s.f.c. Gráfico para comparar. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado ago. 2022. Disponible en <https://pasturas.inia.org.uy/calidad/grafico3.html>
86. _____. 2018. Verdeos de invierno. (en línea). Montevideo. 2 p. (Ficha Técnica no. 26). Consultado jun. 2022. Disponible en <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/10702/1/Ficha-tecnica-26-Verdeos-de-inviernov2.compressed.pdf>
87. INIA Uruguay. 2020. Uso eficiente de los verdeos de invierno - Ing. Agr. Santiago Fariña. (en línea, video). Consultado 19 ago. 2022. Disponible en https://www.youtube.com/watch?v=obDmgSoZ-Mo&ab_channel=INIAUruguay
88. _____. 2021. Pasturas 2021: recomendaciones INIA - Federico Condón. (en línea, video). Consultado 22 ago. 2022. Disponible en https://www.youtube.com/watch?v=DS5beKuHKWg&t=344s&ab_channel=INIAUruguay

89. INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, AR). 2011. Rol de los verdes en los sistemas de producción. (en línea). Corrientes, Imprenta Iberia. 39p. (Serie Técnica no. 49). Consultado ago. 2022. Disponible en https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_verdeos_serie_tcnica_n_49_parte_2.pdf
90. _____. 2019. Verdeos de invierno: taller de capacitación. (en línea). Santa Rosa, INTA. 16 p. Consultado jun. 2022. Disponible en https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_blain-resumen_verdeos_de_invierno.pdf
91. INTA Bordenave (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, AR). 2003. Avena para pastoreo. (en línea). Argentina, s.e. s.p. Consultado jun. 2022. Disponible en https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas_cultivadas_verdeos_invierno/06-avena_para_pastoreo.pdf
92. Irigoyen, A.; Majó, E. 2011. Encuesta nacional a productores. (en línea). In: Irigoyen, A.; Majó, E.; Chalking, D. eds. Relevamiento nacional de reservas forrajeras y caracterización de su uso en establecimientos comerciales. Montevideo, INIA. pp. 8 - 83. (Serie FPTA no. 119). Consultado ago. 2022. Disponible en [https://www.planagropecuario.org.uy/uploads/libros/19_fpta119_\(1\).pdf](https://www.planagropecuario.org.uy/uploads/libros/19_fpta119_(1).pdf)
93. Jaurena, M.; Fagundes, R.; Reyno, R.; Nabinger, C. 2015. Forage production estimated using in-situ NDVI. (en línea). In: International Conference Forages in Warm Climates (1st., 2015, Lavras). Proceedings. Minas Gerais, s.e. pp. 247 - 250. Consultado set. 2022. Disponible en <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/5599/1/Jaurena-.pdf>
94. Javaid, M.; Mahmood, A.; Alshaya, D.; AlKahtani, M.; Waheed, H.; Wasaya, A.; Khan, S.; Naqve, M.; Haider, I.; Shahid, M.; Nadeem, M.; Azmat, S.; Khan, B.; Balal, R.; Attia, K.; Fiaz, S. 2022. Influence of environmental factors on seed germination and seedling characteristics of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). (en línea). Scientific Reports. 12: 9522. Consultado ago. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1038/s41598-022-13416-6>

95. Kent, S. 2019. Forrajeras cultivadas anuales y perennes más difundidas en la provincia de La Pampa: verdes de invierno. (en línea). La Pampa, INTA. 70 p. Consultado mar. 2022. Disponible en https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_forrajeras_cultivadas_anuales_y_perennes_mas_difundidas_en_la_provincia_de_la_pampa_0.pdf
96. Kerrisk, J.; Thomson, N. 1990. Effect of intensity and frequency of defoliation on growth of ryegrass, tall fescue and Phalaris. (en línea). Proceedings of the New Zealand Grassland Association. 51: 135 - 138. Consultado ago. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.33584/jnzg.1990.51.1902>
97. Lowe, K.; Bowdler, T. 1988. Effects of height and frequency of defoliation on the productivity of irrigated oats (*Avena strigosa* cv. Saia) and perennial ryegrass (*Lolium perenne* cv. Kangaroo Valley), grown alone or with barrel medic (*Medicago truncatula* cv. Jemalong). (en línea). Australian Journal of Experimental Agriculture. 28(1): 57 - 67. Consultado ago. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1071/EA9880057>
98. Lu, D. 2006. The potential and challenge of remote sensing-based biomass estimation. (en línea). International Journal of Remote Sensing. 27(7): 1297 - 1328. Consultado set. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1080/01431160500486732>
99. Luxmoore, R.; Millington, J. 1971. Growth of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) in relation to water, nitrogen, and light intensity: effects on leaf growth and dry weight. (en línea). Plant and Soil. 34: 269 - 281. Consultado ago. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1007/BF01372784>
100. MAP. DSF (Ministerio de Agricultura y Pesca. Dirección de Suelos y Fertilizantes, UY). 1976. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay. (en línea). Montevideo. Esc. 1:1.000.000. Color. Consultado feb. 2022. Disponible en https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2020-02/Carta%20de%20Reconocimiento%20de%20Suelos%20del%20Uruguay%201.1.000.000_0.pdf

101. Maranges, F.; Rossi, C. 2021. Intensiva revolución forrajera: la década “ganado”. (en línea). Revista INIA. no. 66: 74 - 78. Consultado en nov. 2022. Disponible en <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/16010/1/Revista-INIA-66-Setiembre-2021-17.pdf>
102. Matthew, C.; Lemaire, G.; Sackville, N.; Hernandez-Garay, A. 1995. A modified self-thinning equation to describe size/density relationships for defoliated swards. (en línea). *Annals of Botany*. 76(6): 579 - 587. Consultado ago. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1006/anbo.1995.1135>
103. _____.; Assuero, S.; Black, C.; Sackville Hamilton, N. 2000. Tiller dynamics of grazed swards. (en línea). In: Lemaire, G.; Hodgson, J.; de Moraes, A.; Nabinger, C.; de F. Carvalho, P. eds. *Grassland ecophysiology and grazing ecology*. Wallingford, CAB International. pp. 127 - 150. Consultado jun. 2022. Disponible en <https://userweb.weihenstephan.de/lattanzi/Lit/Grassland%20Ecophysiology.pdf#page=141>
104. McDonald, P.; Edwards, R.; Greenhalg, J.; Morgan, C.; Sinclair, L.; Wilkinson, R. 2011. *Animal Nutrition*. 7a ed. Harlow, Pearson. 692 p.
105. McDonald, R.; Wilson, K. 1980. Dry matter yields, digestibilities, mineral levels, and cattle growth rates on greenfeed oats at different stages of development. (en línea). *Journal of Experimental Agriculture*. 8: 105 - 109. Consultado ago. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1080/03015521.1980.10426243>
106. McSteen, P. 2009. Hormonal regulation of branching in grasses. (en línea). *Plant Physiology*. 149(1): 46 - 55. Consultado ago. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1104/pp.108.129056>
107. Mertens, D.; Allen, M.; Carmany, J.; Clegg, J.; Davidowicz, A.; Drouches, M.; Frank, K.; Gambin, D.; Garkie, M.; Gildemeister, B.; Jeffress, D.; Jeon, C.; Jones, D.; Kaplan, D.; Kim, G.; Kobata, S.; Main, D.; Moua, X.; Paul, B.; Robertson, J.; Taysom, D.; Thiex, N.; Williams, J.; Wolf, M. 2002. Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds with refluxing in beakers or crucibles: collaborative study. *Journal of AOAC International*. 85(6): 1217 - 1240.

108. MGAP. DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias, UY). 2011. Censo General Agropecuario. (en línea). Montevideo. 142 p. Consultado mar. 2022. Disponible en <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2020-02/censo2011.pdf>
109. MIEM. DINAMIGE (Ministerio de Industria, Energía y Minería. Dirección Nacional de Minería y Geología, UY). 1985a. Carta geológica del Uruguay. (en línea). Montevideo. Esc. 1:500.000. Color. Consultado feb. 2022. Disponible en <https://www.gub.uy/ministerio-industria-energia-mineria/sites/ministerio-industria-energia-mineria/files/documentos/publicaciones/Mapa%20Geol%C3%B3gico%20del%20Uruguay.pdf>
110. _____. _____. 1985b. Memoria explicativa de la carta geológica del Uruguay a la escala 1:500.000. (en línea). Montevideo. 90 p. Consultado feb. 2022. Disponible en <https://www.gub.uy/ministerio-industria-energia-mineria/sites/ministerio-industria-energia-mineria/files/documentos/publicaciones/Memoria%20carta%20geologica%20del%20Uruguay.pdf>
111. Mieres, J.; Assandri, L.; Cúneo, M. 2004. Tablas de valor nutritivo de alimentos: tablas de pasturas. (en línea). In: Mieres, J. M. ed. Guía para la alimentación de rumiantes. Montevideo, INIA. pp. 18 - 47. (Serie técnica no. 142). Consultado ago. 2022. Disponible en <http://www.inia.uy/publicaciones/documentos%20compartidos/111219240807141556.pdf>
112. Millot, J.; Rebuffo, M.; Acosta, Y. 1981a. RLE 115: nueva variedad de avena. (en línea). In: MAP (Ministerio de Agricultura y Pesca, UY). Avena. Montevideo, INIA. pp. 1 - 12. (CIAAB Miscelánea no. 36). Consultado jun. 2022. Disponible en <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/6081/1/CIAAB-Miscelanea-36-1981.pdf>
113. _____. _____. _____. 1981b. Manejo: una condicionante del éxito en variedades de avena. (en línea). In: MAP (Ministerio de Agricultura y Pesca, UY). Avena. Montevideo, INIA. pp. 13 - 22. (CIAAB Miscelánea no. 36). Consultado jun. 2022. Disponible en <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/6081/1/CIAAB-Miscelanea-36-1981.pdf>

114. Montossi, F.; De Barbieri, I.; Dighiero, A. 2013. El uso de la altura del forraje: una herramienta disponible para el manejo eficiente de sistemas pastoriles orientados a la producción ovina. (en línea). In: Montossi, F.; De Barbieri, I. eds. Tecnologías de engorde de corderos pesados sobre pasturas cultivadas en Uruguay. Montevideo, INIA. pp. 159 - 182. (Serie Técnica no. 206). Consultado ago. 2022. Disponible en <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/7645/1/st-206-2013.-p.159-182.pdf>
115. Moore, K.; Jung, H. 2001. Lignin and fiber digestion. (en línea). Journal of Range Management. 54(4): 420 - 430. Consultado set. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.2307/4003113>
116. Noutary, J. 2014. Ventajas de las siembras tempranas de avena. (en línea). Argentina, s.e. s.p. Consultado jun. 2022. Disponible en https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas_cultivadas_v_erdeos_invierno/101.pdf
117. Ongaro, V.; Leyser, O. 2007. Hormonal control of shoot branching. (en línea). Journal of Experimental Botany. 59(1): 67 - 74. Consultado ago. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1093/jxb/erm134>
118. Owen, F. 1964. Oat pasture for lactating cows. (en línea). Journal of Dairy Science. 47(1): 95 - 98. Consultado set. 2022. Disponible en [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(64\)88591-x](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(64)88591-x)
119. Parsons, A.; Johnson, I.; Harvey, A. 1988. Use of a model to optimize the interaction between frequency and severity of intermittent defoliation and to provide a fundamental comparison of the continuous and intermittent defoliation of grass. (en línea). Grass and Forage Science. 43(1): 49 - 59. Consultado ago. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1988.tb02140.x>
120. Passioura, J. 1982. Water in the soil-plant-atmosphere continuum. (en línea). In: Lange, O.; Nobel, P.; Osmond, C.; Ziegler, H. eds. Physiological Plant Ecology II: water relations and carbon assimilation. New York, Springer. pp. 5 - 33. Consultado jun. 2022. Disponible en http://doi.org/10.1007/978-3-642-68150-9_2

121. Pedreira, C.; Braga, G.; Portela, J. 2017. Herbage accumulation, plant-part composition and nutritive value on grazed signal grass (*Brachiaria decumbens*) pastures in response to stubble height and rest period based on canopy light interception. (en línea). *Crop and Pasture Science*. 68(1): 62 - 73. Consultado set. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1071/CP16333>
122. Perrachón, J.; Formoso, F. s.f. Cultivos forrajeros de invierno. (en línea). Montevideo, Instituto Plan Agropecuario. s.p. Consultado jun. 2022. Disponible en <http://planagropecuario.org.uy/publicaciones/libros/Invierno.htm>
123. _____. 2009. Pensemos en verdes de invierno. (en línea). *Revista del Plan Agropecuario*. no. 132: 42 - 46. Consultado mar. 2022. Disponible en https://www.planagropecuario.org.uy/publicaciones/revista/R132/R_132_42.pdf
124. _____. 2016. Siembra de praderas: algunas acciones prácticas y sencillas que mejoran los resultados. (en línea). *Revista del Plan Agropecuario*. no. 57: 54 - 59. Consultado jun. 2022. Disponible en https://www.planagropecuario.org.uy/publicaciones/revista/R157/R_157_54.pdf
125. Pontes, L.; Nabinger, C.; Carvalho, P.; Da Trindade, J.; Montardo, D.; Dos Santos, R. 2003. Variáveis morfogênicas e estruturais de Azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.) manejado em diferentes alturas. (en línea). *Revista Brasileira de Zootecnia*. 32(4): 814 - 820. Consultado set. 2022. Disponible en <https://www.scielo.br/j/rbz/a/SzvGJy7gH3rgKzKK4Q684Mg/?lang=pt>
126. Pravia, M.; Montossi, F.; Gutiérrez, D.; Ayala, W.; Andregnette, B.; Invernizzi, G.; Porcile, V. 2013. Estimación de la disponibilidad de pasturas y forrajes en predios de GIPROCAR II: ajustes del "Rising plate meter" para las condiciones de Uruguay. (en línea). In: Montossi, F. ed. *Invernada de precisión: pasturas, calidad de carne, genética, gestión empresarial e impacto ambiental (GIPROCAR II)*. Montevideo, INIA. pp. 31 - 67. (Serie Técnica no. 211). Consultado ago. 2022. Disponible en <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/7664/1/St-211-2013-p.31-67.pdf>

127. Pujol, M. 1998. Gramíneas: aplicaciones agronómicas. (en línea). Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya. 231 p. Consultado ago. 2022. Disponible en <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/165398/8483012510.pdf>
128. Ramírez, S.; Domínguez, D.; Salmerón, J.; Villalobos, G.; Ortega, J. 2013. Producción y calidad del forraje de variedades de avena en función del sistema de siembra y de la etapa de madurez al corte. (en línea). Revista Fitotecnia Mexicana. 36(4): 395 - 403. Consultado ago. 2022. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/610/61029714005.pdf>
129. Rebuffo, M. 1997. Management of forage oats in Uruguay. (en línea). In: South American Oats Congress (3rd., 1997, Colonia). Proceedings. Colonia, INIA. pp. 51 - 57. Consultado ago. 2022. Disponible en <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/16619/1/3-South-American-Oats-Congress.pdf>
130. _____. 2000. Avena: manejo del cultivo para producción de forraje. (en línea). Montevideo, INIA. 6 p. (Hoja de divulgación no. 66). Consultado mar. 2022. Disponible en <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/5595/1/HD-66-A.pdf>
131. Rossi, C. 2017. Manual de producción de semilla de raigrás anual. (en línea). Montevideo, INIA. 25 p. (Boletín de divulgación no. 112). Consultado en ago. 2022. Disponible en <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/6522/1/bd-112.pdf>
132. SAS Institute. 1993. Statistical Analysis Software version 9.1.3. Cary, North Carolina.
133. Schneider, A.; Godin, C.; Boudon, F.; Demotes-Mainard, S.; Sakr, S.; Bertheloot, J. 2019. Light regulation of axillary bud outgrowth along plant axes: an overview of the roles of sugars and hormones. (en línea). Frontiers in Plant Science. 10: 1296. Consultado jun. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01296>
134. Serrano, J.; Sales-Baptista, E.; Shahidian, S.; Da Silva, J.; De Oliveira, I.; De Castro, J.; Pereira, A.; D'Abreu, M.; De Carvalho, M. 2018. Proxial sensors for monitoring seasonal changes of feeding sites selected by grazing ewes. (en línea). Agroforestry Systems. 95: 55 - 69. Consultado set. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0219-5>

135. Simon, J.; Lemaire, G. 1987. Tillering and leaf area index in grasses in the vegetative phase. (en línea). *Grass and Forage Science*. 42(4): 383 - 380. Consultado oct. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1987.tb02127.x>
136. Sprague, M. 1954. The effect of grazing management on forage and grain production from rye, wheat and oats. (en línea). *Agronomy Journal*. 46(1): 29 - 33. Consultado set. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.2134/agronj1954.00021962004600010009x>
137. Squella, F.; Ormeño, J. 2007. La avena como cultivo forrajero. (en línea). In: Squella, F. ed. *Técnicas de producción ovina para el secano mediterráneo de la VI Región*. Santiago de Chile, Editorial Valente, INIA (Instituto de Investigaciones Agropecuarias, CL). pp. 19 - 35. (Boletín INIA no. 166). Consultado ago. 2022. Disponible en <https://hdl.handle.net/20.500.14001/7172>
138. Stout, D.; Brooke, B.; McLean, A.; Hall, J. 1981. Influence of successive years of simulated grazing (clipping) on pinegrass growth. (en línea). *Canadian Journal of Plant Science*. 61(4): 939 - 943. Consultado ago. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.4141/cjps81-138>
139. Thorvaldsson, G.; Tremblay, G.; Tapani Kunelius, H. 2007. The effects of growth temperature on digestibility and fibre concentration of seven temperate grass species. (en línea). *Acta Agriculturae Scandinavica Section B Soil and Plant Science*. 57(4): 322 - 328. Consultado set. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1080/09064710600984221>
140. Tranier, E. 2014. Manejo de cultivo: criterios a tener en cuenta en la realización de un verdeo de invierno. (en línea). In: Moreyra, F.; Giménez, F.; López, J. R.; Tranier, E.; Ortellado, M. R.; Krüger, H.; Mayo, A.; Labarthe, F. eds. *Verdeos de invierno*. Buenos Aires, INTA. s.p. Consultado ago. 2022. Disponible en https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-verdeos_de_invierno_1.pdf
141. Trujillo, A. I.; Uriarte, G. 2007. Valor nutritivo de las pasturas. (en línea). Montevideo, Facultad de Agronomía. 19 p. Consultado ago. 2022. Disponible en <http://prodanimal.fagro.edu.uy/cursos/ALIMENTOS%20RUMIANTES/Trujillo Uriarte.VALOR NUTRITIVO PASTURAS.pdf>

142. Turner, N.; Begg, J. 1978. Responses of pasture plants to water deficits. In: Wilson, J. ed. Plant relations in pastures. Melbourne, CSIRO. pp. 50 - 66.
143. USDA (United States Department of Agriculture, US). 2006. Oats for fall/spring grazing. (en línea). Illinois. 2 p. Consultado ago. 2022. Disponible en https://www.nrcs.usda.gov/wps/cmیس_proxy/https/ecm.nrcs.usda.gov%3A443/fncmis/resources/WEBP/ContentStream/idd_E0C5556A-0000-C4BA-BFAF-68D0673ED144/0/ILGM-SPECIES_OatsForFall-SpringGrazing.pdf
144. Vallentine, J. 2000. Grazing management. (en línea). 2nd. ed. San Diego, Academic Press. 659 p. Consultado ago. 2022. Disponible en https://books.google.com.uy/books?hl=es&lr=&id=9bMd1WRnZtwC&oi=fnd&pg=PP1&dq=grazing+management+&ots=0yv_jlkqSo&sig=uXS_NsoqNdCGWtKLp3U3lufgXDoU&redir_esc=y#v=onepage&q=grazing%20management&f=false
145. White, E. 1995. Structure and development of oats. (en línea). In: Welch, R. ed. The oat crop. Dordrecht, Springer. pp. 88 - 119. Consultado jun. 2022. Disponible en https://doi.org/10.1007/978-94-011-0015-1_4
146. Whitehead, D. 1970. The role of nitrogen in grassland productivity: a review of information from temperate regions. Farnham Royal, CAB. 202 p. (Bulletin no. 48).
147. Wilson, J.; Deinum, B.; Engels, F. 1991. Temperature effects on anatomy and digestibility of leaf and stem of tropical and temperate forage species. (en línea). Netherlands Journal of Agricultural Science. 39(1): 31 - 48. Consultado set. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.18174/njas.v39i1.16551>
148. Zanoniani, R.; Noëll, S. 1997. Verdeos en invierno. (en línea). Paysandú, Facultad de Agronomía. s.p. (Cartilla de divulgación no. 2). Consultado mar. 2022. Disponible en <https://www.planagropecuario.org.uy/publicaciones/uedy/Publica/Cart2/Cart2.htm>
149. _____.; Ducamp, F. 2000. Consideraciones a tener en cuenta en la elección de verdeos de invierno. (en línea). Cangüé. no. 18: 22 - 26. Consultado mar. 2022. Disponible en http://www.eemac.edu.uy/cangué/joomdocs/Cangué_18/22-26.pdf

150. Zarza, R.; Duran, H.; Rossi, C.; La Manna, A.; González, M. 2009. Verdeos de invierno: evaluación de las diferentes alternativas en siembras tempranas. (en línea). Revista INIA. no. 20: 26 - 30. Consultado jun. 2022. Disponible en <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/6932/1/revinia20-p.26-30.pdf>
151. _____. 2020. Desde la meta al éxito: densidad y coeficiente de logro. (en línea). Revista INIA. no. 63: 24 - 28. Consultado jun. 2022. Disponible en <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/14887/1/Revista-INIA-63-Diciembre-2020-p-24-28.pdf>
152. _____.; Condón, F. 2021. Planificación y siembra: las opciones para el otoño y el caso particular de la avena. (en línea). Revista INIA. no. 67: 32 - 37. Consultado ago. 2022. Disponible en <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/Revista-INIA-67-Dic-2021.pdf>

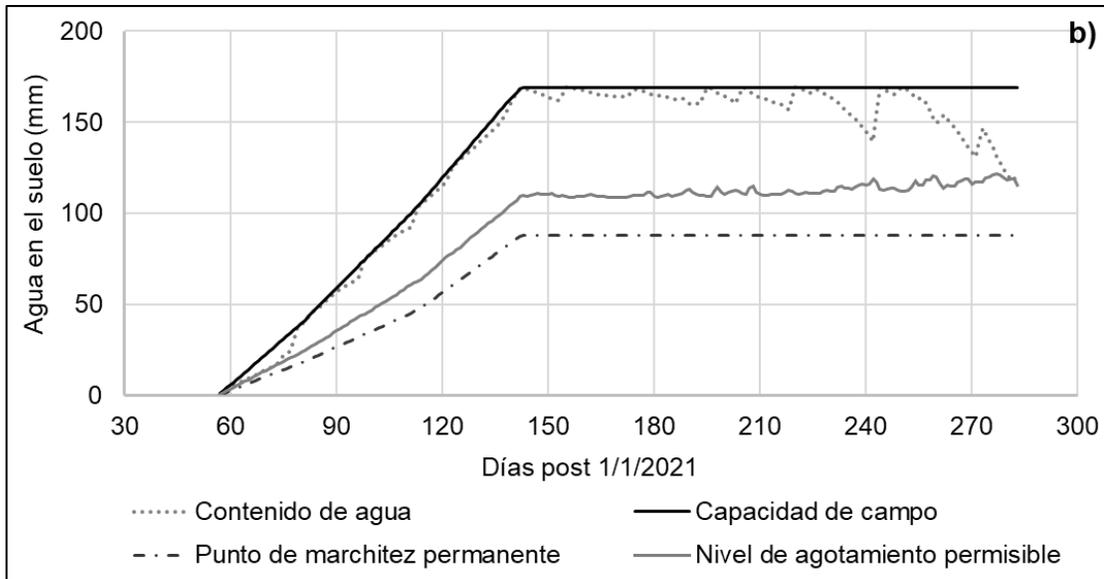
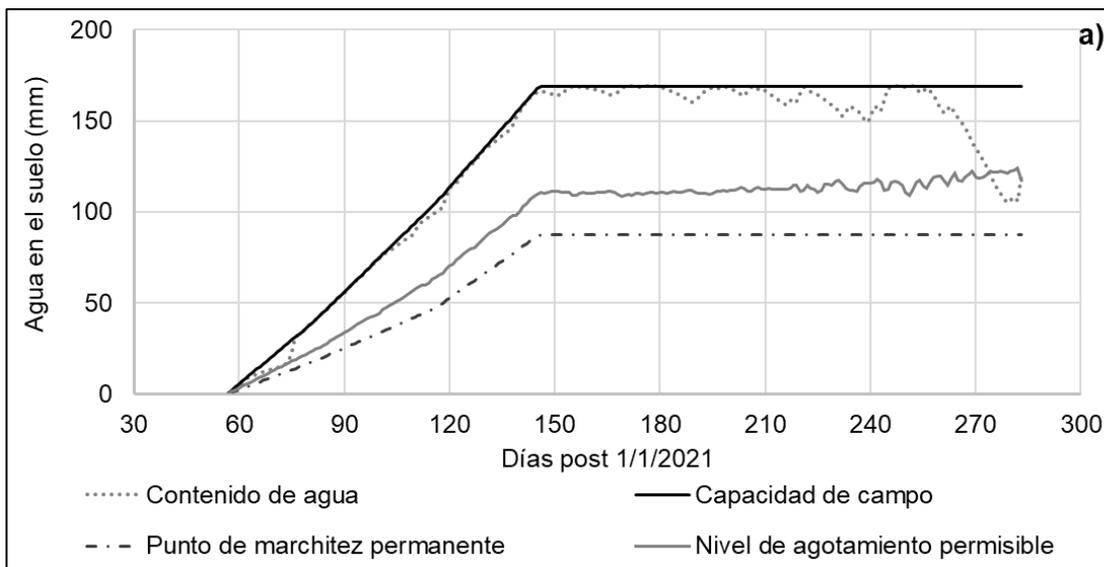
10. ANEXOS

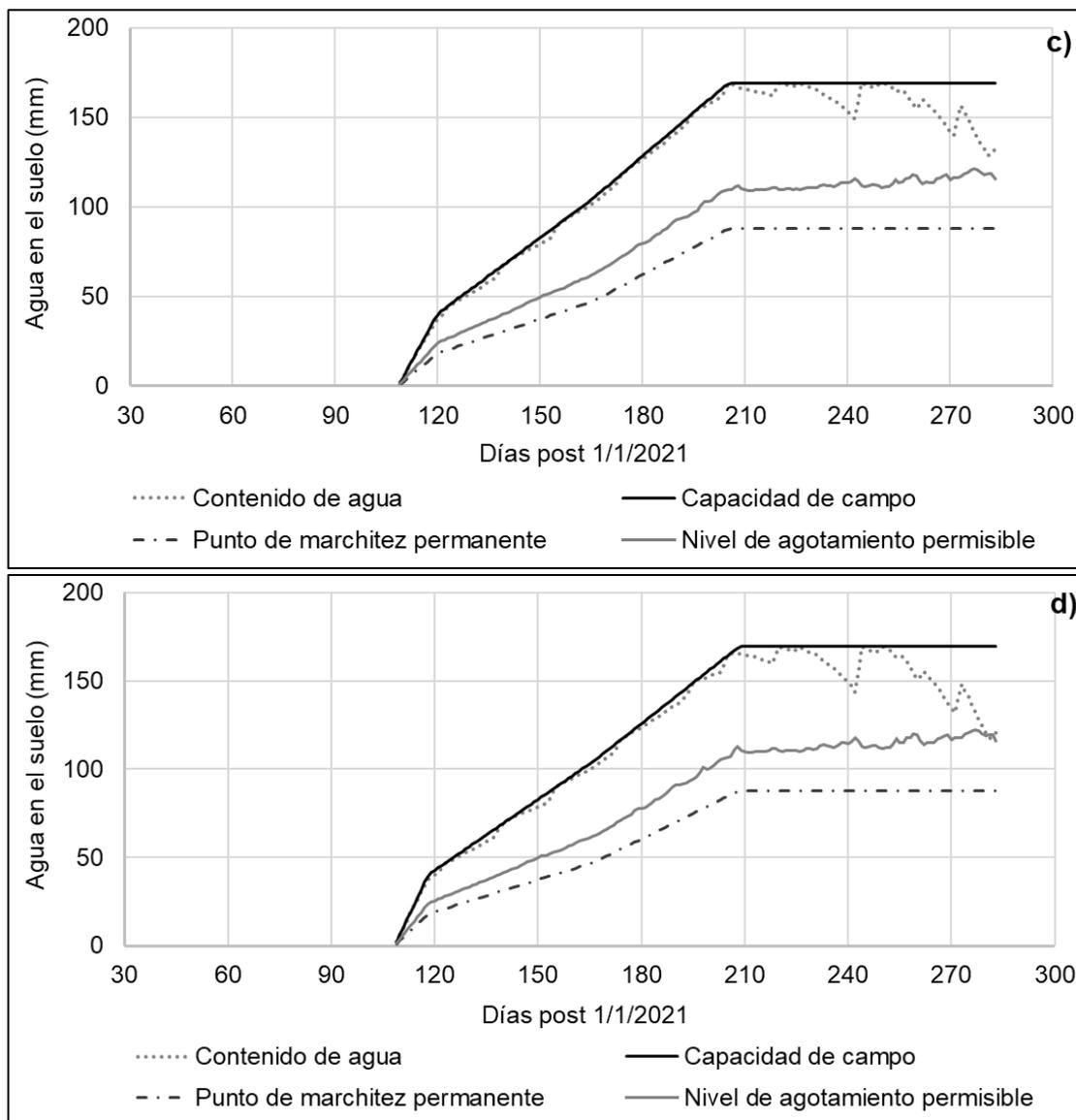
Anexo No. 1. Diagrama de bloques y tratamientos del experimento.

BLOQUE 1:	BLOQUE 2:	BLOQUE 3:
LEAv 1612-Tardía-Laxo	E1095a-Tardía-Laxo	E1095a-Temprana-Laxo
E1095a-Tardía-3 hojas	LEAv 1612-Temprana-Laxo	LEAv 1612-Tardía-3 hojas
E1095a-Temprana-3 hojas	LEAv 1612-Tardía-Laxo	E1095a-Temprana-3 hojas
LEAv 1612-Temprana-Laxo	INIA Col-Tardía-Laxo	E1095a-Tardía-3 hojas
INIA Col-Tardía-3 hojas	E1095a-Temprana-Laxo	INIA Col-Temprana-Laxo
LEAv 1612-Temprana-3 hojas	LEAv 1612-Tardía-3 hojas	E1095a-Tardía-Laxo
LEAv 1612-Tardía-3 hojas	INIA Col-Temprana-Laxo	LEAv 1612-Tardía-Laxo
INIA Col-Tardía-Laxo	E1095a-Temprana-3 hojas	LEAv 1612-Temprana-Laxo
E1095a-Tardía-Laxo	LEAv 1612-Temprana-3 hojas	INIA Col-Tardía-3 hojas
E1095a-Temprana-Laxo	E1095a-Tardía-3 hojas	INIA Col-Tardía-Laxo
INIA Col-Temprana-Laxo	INIA Col-Temprana-3 hojas	LEAv 1612-Temprana-Laxo
INIA Col-Temprana-3 hojas	INIA Col-Tardía-3 hojas	INIA Col-Temprana-3 hojas

INIA Col – genotipo INIA Columba; Tardía/Temprana – época de siembra; laxo/3 hojas – manejo de la defoliación.

Anexo No. 2. Balance hídrico (sin riego) según manejo y época de siembra para el año 2021, siendo a) época temprana, manejo 3 hojas, b) época temprana, manejo laxo, c) época tardía, manejo 3 hojas y d) época tardía, manejo laxo. Tomado de INIA, s.f.b.





Anexo No. 3. Significancias para stand de plantas y componentes de la planta.

	Stand de Plantas	Número de				
		hojas muertas	hojas elongadas	hojas cortadas	hojas en elongación	nudos
ES	**	ns	ns	ns	ns	ns
Gen	ns	ns	ns	ns	ns	**
Man	ns	*	**	**	ns	ns
ES*G	ns	ns	ns	ns	ns	ns
ES*M						
an	ns	ns	ns	ns	ns	ns
M*G	ns	ns	ns	ns	ns	ns
ES*G						
*Man	ns	ns	ns	ns	ns	ns

ES – Época de siembra; Gen – genotipo; Man – Manejo de la Defoliación.

Significativo al 5% con *P*-valor entre 0,01 y 0,05; ** Significativo al 5% con *P*-valor menor a 0,01; ns Efecto no significativo.

Anexo No. 4. Producción de biomasa en kg MS.ha⁻¹ para cada estación de crecimiento según manejo de la defoliación, época de siembra y genotipo.

Manejo de la def.	Época siembra	Genotipo	Otoño	Invierno	Oto+Inv	Primavera	Total
3 hojas	Temprana	E1095a	2110	3572	5683	5261	10944
		INIA Columba	2637	3682	6319	4501	10820
		LEAv 1612	2432	3251	5683	4200	9883
	Tardía	E1095a	411	2957	3368	4265	7633
		INIA Columba	479	3116	3594	3668	7262
		LEAv 1612	356	2817	3173	4384	7558
Laxo	Temprana	E1095a	1876	3148	5024	4507	9531
		INIA Columba	1390	2924	4314	2608	6921
		LEAv 1612	1297	2509	3805	3436	7241
	Tardía	E1095a	509	3309	3818	4769	8586
		INIA Columba	519	3149	3668	2661	6329
		LEAv 1612	345	2864	3209	4689	7898
DMS 5%			731	657	1063	1873	1984

Anexo No. 5. Coeficiente de correlación de factores y covariables significativas (p -crítico <0.15) por selección stepwise en un modelo lineal múltiple para parámetros de calidad nutricional y tasa de crecimiento.

Coeficientes	PC%	FDN%	FDA%	Cen%	MS%	DMO%	kgPC.ha	kg MSD.ha	TC ^a
Constante	4.16	66.3	44.06	12.34	27.2	48.61	469.09	4159.48	21,11
DPE1 ^b	0.4	-0.55	-0.42	0.03	-0.15	0.61	-4.81	-66.8	
(DPE1) ²	-1,9x10 ⁻³	2,4x10 ⁻³	1,9x10 ⁻³	-2,4x10 ⁻⁴	6,9x10 ⁻⁴	-2,7x10 ⁻³	0.02	0.32	1,5*10 ⁻³
E2 ^c					-0.97				-13,42
M2 ^d	4.45	-1.27		-0.35				-661.46	9,3
E1 ^e *M2							-77.44		-17,79
E2*M1 ^f	2.29						133.7		-6,96
M1*G1612 ^g			-1.37			1.98			
M2*GCol ^h			-2.71			3.91			-7,67
M2*G1612			-2.08			3.01			
GCol		-1.57			-1.9				
G1612		-2.21		-0.88					

^a TC- Tasa de crecimiento (kg MS.ha⁻¹.d⁻¹); ^b DPE1 – días post emergencia de la época de siembra temprana (17/03); ^c E2 – época de siembra tardía; ^d M2 – manejo de la defoliación laxo; ^e E1 – época de siembra temprana; ^f M1 – manejo de la defoliación 3 hojas; ^g G1612 – genotipo LEAv 1612; ^h GCol – genotipo INIA Columba.

Anexo No. 6. Significancia para el PC% del último corte (12/10/2021).

	Significancia
Manejo	ns
Época de siembra	**
Genotipo	*
M*ES	ns
M*G	ns
ES*G	ns
M*ES*G	ns

*Significativo al 5% con P-valor entre 0,01 y 0,05; ** Significativo al 5% con P-valor menor a 0,01; ns Efecto no significativo.*

Anexo No. 7. Medias para el contenido de fibra detergente neutro según manejo de la defoliación, época de siembra y genotipo.

Manejo	Época	Genotipo	Media
3 hojas	Temprana	E1095a	38,9 a
3 hojas	Temprana	Columba	38,8 a
3 hojas	Temprana	LEAv 1612	36,5 b
Laxo	Tardía	E1095a	36,4 b
Laxo	Temprana	E1095a	36,0 cb
Laxo	Tardía	Columba	35,5 cbd
Laxo	Temprana	Columba	35,3 cd
Laxo	Temprana	LEAv 1612	34,9 ed
3 hojas	Tardía	E1095a	34,0 fe
3 hojas	Tardía	Columba	33,7 fe
Laxo	Tardía	LEAv 1612	33,3 f
3 hojas	Tardía	LEAv 1612	32,8 f

Valores con diferente letra son estadísticamente diferentes al 5%.

Anexo No. 8. Medias para la tasa de crecimiento según manejo de la defoliación, época de siembra, genotipo e interacción manejo*época y manejo*genotipo.

Manejo	Fecha de Siembra	Genotipo	Otoño	Invierno	Oto + Inv	Primavera (cierre)	Total
3H			21,5 a	45,6 a	36,0 a	72,1	47,4 a
Laxo			16,4 b	35,1 b	28,3 b	78,7	41,4 b
	Temprana		25,7 a	39,3 b	32,7	79,0	44,1
	Tardía		12,1 b	41,4 a	31,6	71,8	44,6
		E1095a	19,5	42,0 a	33,3 a	87,7 a	48,5 a
		I Columba	20,2 ns	41,8 a	33,5 a	61,2 b	41,3 b
		LEAv 1612	17,1	37,2 b	29,7 b	77,3 a	43,3 b
3H	Temprana		31,5 a	44,9 ns	38,3 a	84,6 a	50,5 a
Laxo	Temprana		20,0 b	33,6	27,2 c	73,3 b	37,8 c
3H	Tardía		11,5 c	46,3	33,8 b	59,5 b	44,3 b
Laxo	Tardía		12,7 c	36,6	29,5 c	84,2 a	45,0 b
3H		E1095a	19,6 ab	46,0	35,3 ab	78,7 ab	48,8 a
3H		I Columba	24,0 a	47,9	38,5 a	67,5 bc	47,4 a
3H		LEAv 1612	20,9 ab	42,8	34,3 ab	70,0 bc	46,0 ab
Laxo		E1095a	19,4 abc	38,0 ns	31,4 bc	96,7 a	48,2 a
Laxo		I Columba	16,4 bc	35,7	28,6 cd	54,9 c	35,3 c
Laxo		LEAv 1612	13,3 c	31,6	25,1 d	84,6 ab	40,7 bc

Valores con diferente letra son estadísticamente diferentes al 5%.

Anexo No. 9. Fecha de floración promedio según genotipo.

Genotipo	Fecha de floración promedio
E1095a	01/10/2021
INIA Columba	17/09/2021
LEAV 1612	01/10/2021