



**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE VETERINARIA**

**EFFECTO DEL ESTADO FENOLÓGICO SOBRE EL APROVECHAMIENTO
RUMINAL DE FORRAJE FRESCO Y DEL ENSILAJE DE PLANTA ENTERA DE
AVENA SATIVA VARIEDAD CANTARA**

Por

Joaquín BENKENDORF

Matías SOSA

TESIS DE GRADO presentada como uno
de los requisitos para obtener el título de
Doctor en Ciencias Veterinarias
Orientación: Producción Animal

MODALIDAD: Ensayo Experimental

**MONTEVIDEO
URUGUAY**

2017

PÁGINA DE APROBACIÓN

Tesis de grado aprobada por:

Presidente de mesa: _____

Segundo miembro (Dra. Cecilia Cajarville): _____

Tercer miembro: _____

Cuarto miembro (Dra. Sofía Stirling): _____

Fecha: _____

Autores:

Br. Joaquín Benkendorf González

Br. José Matías Sosa Bentancur

AGRADECIMIENTOS

A nuestros familiares que nos brindaron su apoyo incondicional durante toda la carrera, así como a docentes, a todas las personas y sobre todo amigos que generamos en la Universidad, que de una u otra manera brindaron su apoyo para aprender día a día, ayudando a superarnos a nosotros mismos durante la carrera universitaria.

A nuestra tutora Dra. Cecilia Cajarville y nuestra co-tutora Dra. Sofía Stirling por el apoyo y el respaldo brindado hacia nosotros.

A todos los integrantes del Departamento de Bovinos y Nutrición Animal de Facultad de Veterinaria por contribuir a que se llevara a cabo el proyecto tanto en los trabajos de campo como en el laboratorio. Agradecer también a los Dres. José Stirling y José Luis Repetto por ayudarnos durante la fase inicial del experimento, así como al personal del campo N°2 de la Facultad de Veterinaria, quienes facilitaron que nuestro trabajo se pudiera llevar adelante.

A todos ustedes, muchas gracias.

TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN	2
AGRADECIMIENTOS	3
TABLA DE CONTENIDO.....	4
ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS	6
LISTA DE ABREVIATURAS	7
RESUMEN.....	8
SUMMARY	9
1. INTRODUCCIÓN	10
2. REVISIÓN BILIOGRÁFICA	12
2.1. Estado fenológico y sus efectos en la composición y valor nutritivo	12
2.2. Cambios en la composición y valor nutritivo y sus efectos en la digestibilidad y degradabilidad.	13
2.3. El proceso de ensilaje	14
2.4. Forraje fresco vs Ensilaje: su efecto sobre la degradabilidad ruminal.	15
2.4.1. Ensilados de planta entera de trigo, cebada y avena	16
3. HIPOTESIS	17
4. OBJETIVOS	17
4.1. Objetivo general.....	17
4.2. Objetivos específicos	17
5. MATERIALES Y MÉTODOS	18
5.1. Cosecha y ensilaje	18
5.2. Degradabilidad ruminal in situ.....	20
5.3. Análisis estadístico.....	21
6. RESULTADOS	21
6.1 Degradabilidad ruminal de la MS	21
6.1.2 Efecto del ensilaje	21
6.1.1 Efecto del estado fenológico	22
6.2 Degradabilidad ruminal de la fibra	22
6.2.1 Efecto del estado fenológico	22
6.2.2 Efecto del ensilaje	22
7. DISCUSIÓN	26
7.1 Efecto del estado fenológico	26
7.1.1 Degradabilidad ruminal de la materia seca.	26
7.1.2 Degradabilidad ruminal de la FND.....	28
7.2. Efecto del ensilaje	30
7.2.1. Degradabilidad ruminal de la Materia seca	30

7.2.2. Degradabilidad ruminal de la FND.....	31
8. CONCLUSIONES	32
9. BIBLIOGRAFÍA	34

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Figura 1. Degradabilidad efectiva (0,6) de la MS y FDN en los seis estados fenológicos (Z45-Z91).....25

Cuadro 1. Composición química de la Avena sativa variedad Cantara del forraje fresco y ensilado en los seis estados fenológicos (Z45-Z91). 19

Cuadro 2. Parámetros de degradabilidad ruminal in situ de la materia seca en los seis estados fenológicos (Z45-Z91) 24

LISTA DE ABREVIATURAS

- a: fracción soluble en rumen
- b: fracción no soluble potencialmente degradable en rumen
- c: fracción indegradable en rumen
- d: material desaparecido de la bolsa en el tiempo "t"
- DE: degradabilidad efectiva
- EE: extracto etéreo
- FAD: fibra ácido detergente
- FF: forraje fresco
- FND: fibra neutro detergente
- HC: hemicelulosa
- kd: tasa fraccional de degradación de "b" (/h)
- kp: tasa de salida de partículas del rumen
- MO: materia orgánica
- MS: materia seca
- NDIN: nitrógeno insoluble en solución neutro detergente
- PC: proteína cruda
- PS: proteína soluble
- AS: carbohidratos solubles en agua
- Z: Estado fenológico

RESUMEN

Este estudio evaluó los efectos del estado fenológico y ensilaje de planta entera de avena sobre la degradabilidad ruminal in situ de materia seca (MS) y de fibra neutro detergente (FND). La avena fue ensilada en estado de panoja embuchada, floración, grano acuoso, grano lechoso, grano pastoso y grano duro (Z: 45, 59, 69, 73, 83, y 91, respectivamente). Las parcelas de campo se dispusieron en un diseño completamente al azar con 3 repeticiones por estado fenológico. La desaparición de MS de forraje fresco y ensilado se midió in situ durante 3, 6, 12, 24, 48, 72 y 96 h (3 vacas y 2 series de incubación). Los residuos de incubación se molieron a 1 mm y se analizó FND. Para la desaparición de MS los datos se ajustaron al modelo $d = a + b(1 - e^{-kd t})$ ("d": material perdido de la bolsa en el momento "t"; "a": fracción soluble en rumen; "b": fracción no soluble potencialmente degradable en rumen; "kd": tasa fraccional de degradación de "b" (h^{-1}/h); "c": fracción no degradable). Para la desaparición de las fracciones de FND se asumió que "a" = 0, y el modelo fue: $d = a + b(1 - e^{-kd t})$. La degradabilidad efectiva (DE) para la MS se estimó como $DE = a + (b \times kd) / (kd + kp)$, y para FND como: $DE = (b \times kd) / (kd + kp)$, asumiendo una tasa de salida de partículas del rumen (kp) de $0.03 h^{-1}$, $0.06 h^{-1}$ (DE03 y DE06 respectivamente). Los efectos del estado fenológico, de ensilaje y su interacción se analizaron utilizando el procedimiento MIXED de SAS, realizando regresiones lineales (L) y cuadráticas (Q) para el estado fenológico. Respecto a la influencia del estado fenológico sobre la MS se determinó que con el aumento de la madurez, la fracción "a" disminuyó de Z 45 a 69, aumentando a partir de entonces (Q, $P < 0,05$); la fracción "b" se redujo (L, $P < 0,01$), mientras que la fracción "c" se incrementó (L, $P < 0,01$; Q, $P = 0,03$). La "kd" ruminal disminuyó con la madurez para el FF (L, $P < 0,01$; Q, $P < 0,01$) y ensilado (L, $P < 0,01$). La DE03 / 06 se redujo drásticamente (L, $P < 0,01$; Q, $P < 0,01$) de Z 45 a 69, manteniéndose estable a partir de entonces. Respecto a la influencia del estado fenológico sobre la FND, la fracción "b" disminuyó (L, $P < 0,01$; Q $P < 0,01$), la fracción "c" aumentó (L, $P < 0,01$; Q $P < 0,01$) a medida que aumentó la madurez. La "kd" disminuyó con la madurez para el FF (Q, $P = 0,01$) y ensilado (Q, $P = 0,04$). La DE03 / 06 se redujo drásticamente (L, $P < 0,01$; Q, $P < 0,01$) de Z 45 a 73 manteniéndose estable a partir de entonces. Respecto al efecto de ensilaje sobre la MS, la fracción "b" incrementó debido a dicho proceso (0,38 frente a 0,41; $p P < 0,01$), mientras que la fracción "c" (0,208 vs 0,188; $P = 0,02$) y la "kd" (0,029 vs 0,023; $P < 0,01$) disminuyó. La DE03 / 06 fue menor después del ensilado ($P < 0,01$) en el Z 45, 59 y 91. Respecto al efecto de ensilaje sobre la FND, la fracción "b" tendió a aumentar gracias al proceso de ensilaje (0,65 vs. 0,67; $P = 0,04$). La fracción "c" fue levemente inferior tras el proceso de ensilaje (0,35 vs. 0,33; $P = 0,05$). La "kd" (0,052 vs 0,030; $P < 0,01$) fue inferior en el ensilaje respecto al FF en embuche, floración, grano acuoso, grano pastoso y duro (Z45, 59, 69, 83 y 91). La DE03 / 06 fue menor después del ensilado ($P < 0,01$) en todos los estados fenológicos. El estado fenológico tuvo un efecto negativo sobre la cinética de la degradabilidad de la MS y de la FND de planta entera de avena desde embuche a las etapas de grano duro, mientras que el ensilado aumentó la fracción degradable pero disminuyó la velocidad de degradación, disminuyendo la DE en casi todos los estados fenológicos.

SUMMARY

This study evaluated the effects of growth stage and ensiling of whole-crop oats on in situ ruminal dry matter (DM) and neutral detergent fiber (NDF) degradability. Grain type oats were ensiled at boot, heading, water ripe, early milk, early dough and grain ripe stages of growth (i.e.: growth stage (Z) 45, 59, 69, 73, 83, and 91 respectively). Field plots were arranged in a randomized complete design with 3 replicates per growth stage. DM disappearance of fresh and ensiled forage was measured in situ for 3, 6, 12, 24, 48, 72 and 96 h (3 cows and 2 incubation series). Incubation residues were milled to 1 mm and FND was analyzed on an automated fiber analyzer. For DM disappearance, data was fitted to the model $d = a + b(1 - e^{-kd t})$ ("d": material lost from the bag at time "t"; "a": soluble fraction; "b": non-soluble fraction potentially degradable in rumen; "kd": fractional degradation rate of "b" (h⁻¹/h); "c": undegradable fraction). For NDF disappearance, it was assumed that "a"=0, and the model was: $d = a + b(1 - e^{-kd t})$. DM effective degradability (ED) was estimated as $ED = a + (b \times kd) / (kd + kp)$, and NDF ED as: $DE = (b \times kd) / (kd + kp)$, assuming a rumen particle outflow rate (kp) of 0.03 h⁻¹, 0.06 h⁻¹ (DE03 y DE06) 0.03 (ED03) and 0.06/h (ED06) respectively. Effects of growth stage, ensiling and their interaction were analyzed using the SAS MIXED procedure, performing linear (L) and quadratic (Q) regressions for growth stage. With respect to the influence of the growth stage on DM, it was determined that with increasing maturity, fraction "a" decreased from Z 45 to 69, increasing thereafter (Q, P<0.05); fraction "b" declined (L, P<0.01), while fraction "c" increased (L, P<0.01; Q, P=0.03). Ruminal "kd" decreased with maturity for fresh (L, P<0.01; Q, P<0.01) and ensiled (L, P<0.01) forage. ED03/06 decreased sharply (L, P<0.01; Q, P<0.01) from Z 45 to 69, remaining stable thereafter. With respect to the influence of the growth stage on NDF, fraction "b" decreased (L, P <0.01; QP <0.01), fraction "c" increased (L, P <0.01; Q, P <0.01) as maturity increased. "Kd" decreased with increasing maturity for FF (Q, P = 0.01) and silage (Q, P = 0.04). ED03 / 06 was drastically reduced (L, P <0.01; P <0.01) from Z45 to 73 remaining stable thereafter. Regarding the DM silage effect, fraction "b" increased due to this process (0.38 vs. 0.41; P<0.01), while fraction "c" (0.208 vs. 0.188; P=0.02) and ruminal "kd" (0.029 vs. 0.023; P<0.01) decreased. ED03/06 was lower after ensiling (P<0.01) at Z 45, 59 and 91. Regarding the NDF silage effect, fraction "b" tended to increase due to the silage process (0.65 vs. 0.67, P = 0.04). Fraction "c" was slightly lower after the silage process (0.35 vs. 0.33, P = 0.05). "Kd" (0.052 vs 0.030; P <0.01) was lower in silage compared to fresh forage in boot, heading, water ripe, early dough and grain ripe stages (Z45, 59, 69, 83 and 91). ED03 / 06 was lower after silage (P <0.01) in all stages of growth. Growth stage had a negative effect on DM and NDF degradability kinetics of whole-crop oats from boot to grain ripe stages, while ensiling increased the degradable fraction but decreased degradation rate, decreasing ED at almost all stages of growth.

1. INTRODUCCIÓN

El proceso de intensificación de la producción lechera ocurrido en nuestro país en los últimos años ha llevado al aumento en la productividad tanto por vaca como por hectárea, elevando la producción individual (DIEA, 2015). Este aumento ha tenido relación directa con un cambio en la composición de la dieta de los establecimientos lecheros comerciales, en los cuales ha habido un aumento del uso de reservas en forma de ensilados y de concentrados en detrimento del uso de pasturas, las cuales decrecieron un 20% entre los años 2002 y 2010 (Chilibroste, 2015). De esta manera, las reservas forrajeras, que representaban tradicionalmente poco más del 20% de la dieta de las vacas (Leborgne, 1998) hoy son un 24 % superiores (Fariña, 2016), y por tanto mayores en cantidad por animal (Battistoti, 2012). Bajo esta realidad, los ensilajes han adquirido un rol preponderante en cuanto a ser un componente estructural de las dietas. Es por ello que las prioridades se han centrado en desarrollar sistemas de alta producción de leche por hectárea que maximicen el uso del forraje propio (pastura y cultivos que permitan ensilajes de alta calidad), y alcanzar un bajo costo por litro/kg de sólido (Fariña, 2016). Si comparamos lo ocurrido con los ensilajes elaborados con cultivos de verano como el maíz o el sorgo, es muy poco el avance observable en relación a calidad de las reservas elaboradas con pasturas o cultivos de invierno. Según el último relevamiento nacional de reservas forrajeras (Irigoyen et al. 2011) los cultivos anuales son utilizados para hacer ensilaje en el 89% de los casos, de este porcentaje solo el 3% está representado por cultivos forrajeros de invierno.

Los datos de la encuesta lechera de INALE (2014), revelan que los silos de invierno representan solo un 28% de la producción total, ya sea en forma de silopack, silo pradera y cultivos de invierno, mientras que la mayor parte de los ensilajes están constituidos por cultivos de verano; principalmente planta entera de maíz y sorgo. En lo que concierne estrictamente a los cultivos de invierno, solo el 20% está destinado a cultivos y barbechos, mientras que el resto está compuesto por praderas y verdeos (INALE, 2014). Por tanto, podemos concluir que hay un amplio margen para explorar en cuanto a cultivos de invierno se refiere.

La *Avena sativa* es una gramínea anual de estación fría la cual es cultivada en nuestro país como fuente de forraje de buena calidad. La mayoría de variedades de avena comercializadas en Uruguay son de ciclo largo, y específicamente seleccionadas para pastoreo. Es así que la cebada cervecera (*Hordeum vulgare*) y el trigo (*Triticum spp.*) son los cereales de invierno más usados para la confección de reservas en nuestros sistemas de producción (DIEA, 2015). En el 2009 INIA inició un programa de evaluación de líneas experimentales de *Avena sativa* con la intención de seleccionar aquellas que reunieran adecuadas características agronómicas y destacado rendimiento de grano. La mejor línea experimental, *Avena sativa* variedad Cantara, se presentó a la Evaluación Nacional (2011) (INIA-INASE, 2012), donde se evaluaron y confirmaron las características que llevaron a su selección y promoción: buena adaptación a los ambientes productivos de Uruguay, gran nivel de rendimiento, buena

sanidad, excelente calidad de grano, excelente caña y sin riesgo de vuelco (Díaz, 2012). Esta avena granífera, recientemente liberada por INIA, constituye una herramienta para la diversificación de los sistemas agrícolas y forrajeros intensivos. A su vez, permite considerar a la avena como opción alternativa a la cebada y el trigo para la producción de reservas forrajeras de primavera en forma de silo de grano húmedo, silo de planta entera o fardos de heno.

El estado fenológico es un factor determinante en el rendimiento y la calidad de la avena para ser ensilada. Está demostrado que el estado fenológico tiene una influencia directa sobre las características nutritivas del forraje, la composición y la degradabilidad ruminal del ensilaje (Mustafa y Seguin, 2003; Jacobs et al., 2009). Sin embargo, existe un gran rango de recomendaciones en cuanto al mejor momento de corte de la avena y del resto de cultivos de invierno para ser ensilados. Mustafa et al. (2003) estudiaron el efecto del estado fenológico de la avena cosechada en embuche y grano pastoso sobre la degradabilidad ruminal del ensilaje de planta entera, observando mayor degradabilidad de la MS y de la FND en embuche que en grano pastoso. Los resultados del estudio *in situ* demostraron que la degradabilidad de los nutrientes del ensilaje de avena a nivel ruminal decrece a medida que aumenta el estado de maduración. En contrapartida, Filya (2003), estudiando el valor nutritivo de ensilaje de trigo cosechado en estado de floración, lechoso y pastoso, demostró que la degradabilidad *in situ* de la MS fue máxima en grano pastoso, mientras que la degradabilidad de la FND fue máxima en floración.

A su vez, Bergen et al. (1991) estudiando las características de ensilaje de planta entera de trigo, cebada y avena cosechados en los estadios de grano lechoso y pastoso, obtuvieron un material con excelentes parámetros de calidad de fermentación. Debido a un mayor rendimiento de MS, escasos cambios en el nitrógeno total del producto final y por una menor capacidad buffer (CB) del forraje, estos autores también recomiendan cosechar la avena en estadio de grano pastoso, a pesar de un menor contenido en carbohidratos solubles (AS). Hargreaves et al. (2009), estudiando el efecto del estado fenológico sobre la composición química y el valor nutritivo de ensilaje de planta entera de cebada, observaron que en floración se alcanza un moderado-alto valor nutritivo, en detrimento de un menor rendimiento. Sin embargo, en estado de grano pastoso se puede asegurar un buen volumen de reservas, mientras que, en estadios más tardíos, con más del 45% de MS los autores recomiendan considerar el uso de aditivos.

Las diferencias entre autores podrían explicarse debido a que el valor del ensilaje depende, no sólo del estado fenológico del forraje, sino también del objetivo productivo que se persigue al ensilarlo: cantidad vs. calidad. En este sentido, los trabajos anteriores comparan pocos momentos de corte, seleccionando entre éstos el más adecuado para la elaboración de ensilajes. La novedad del presente trabajo, a diferencia de los anteriores, radica en que, además de trabajar con una nueva variedad adaptada a nuestras condiciones, se realizará un seguimiento completo de

la avena, ensilándola en cada uno de sus estadios, a fin de obtener información sobre cómo varía el aprovechamiento ruminal *in situ* del forraje fresco y del ensilaje de avena. Las curvas obtenidas permitirán valorar las ventajas de cada estado fenológico en relación al objetivo de producción establecido.

2. REVISIÓN BILIOGRÁFICA

2.1. Estado fenológico y sus efectos en la composición y valor nutritivo del forraje.

El estado fenológico es el factor más importante que afecta a la composición y valor nutritivo del forraje. A medida que las plantas crecen, necesitan mayor cantidad de tejidos fibrosos para mantener la estructura, de modo que aumenta la cantidad de carbohidratos estructurales (celulosa y hemicelulosa) y de lignina, al tiempo que descende el contenido de proteína. Por consiguiente, existe una relación inversa entre los contenidos de proteína y fibra en las distintas especies (McDonald et al., 2011).

La lignina tiende a incrementar conforme aumenta la madurez del cultivo. A su vez la incrustación física de las fibras vegetales en la lignina las hace inaccesibles a las enzimas que podrían digerirlas debido a que posee fuertes enlaces químicos entre la misma y los polisacáridos vegetales, lo cual impide la digestión de estos productos. A medida que los cultivos maduran, su contenido en lignina aumenta y, por tanto, su digestibilidad decrece (McDonald et. al, 2011).

Con respecto a los valores de FND, ésta disminuye su fracción potencialmente degradable conforme avanza el estado fenológico, mientras que su fracción indegradable aumenta. Jacobs et al. (2009) reportaron un mayor contenido de FND en cereales de invierno en floración y un descenso del contenido en grano pastoso. A su vez, Filya (2003), obtuvo como resultado que en dos variedades de trigo evaluadas el contenido de fibra disminuyó en la etapa de grano pastoso en comparación con las etapas de floración y de grano lechoso.

Con respecto a los valores de proteína cruda (PC), Mustafa et al. (2003) y Jacobs et al. (2009), estudiando el efecto del estado fenológico sobre la degradabilidad de la avena y otras variedades de cereales de invierno, observaron que los valores de proteína disminuyeron conforme maduró la planta. Filya (2003), también reportó una disminución del contenido de PC conforme maduró el cultivo.

El aumento de almidón se produce durante el desarrollo del grano, conforme madura la planta (Coblentz y Walgenbach, 2010). En este sentido, Mustafa et al. (2003), observaron un aumento del contenido de almidón en la avena cuando la madurez progresó.

Con respecto a los carbohidratos solubles en agua (AS), éstos disminuyen conforme aumenta la madurez de la planta. Filya (2003), estudiando características de composición química del trigo en distintos estados fenológicos, observaron que los AS

se redujeron con la madurez. En línea con lo anterior, Bergen et al. (1991), estudiando las características de planta entera de trigo, cebada y avena cosechados en los estados de grano lechoso y pastoso, observaron que el contenido de AS fue mayor en grano lechoso que en grano pastoso.

2.2. Cambios en la composición y valor nutritivo y sus efectos en la digestibilidad y degradabilidad.

Uno de los factores más importantes que determina el valor nutritivo de los forrajes, es la digestibilidad de la materia orgánica (McDonald et al., 2011). El determinante básico de la digestibilidad de los forrajes es la anatomía de la planta. El contenido de las células vegetales, al estar formado principalmente por carbohidratos solubles y proteína, es casi totalmente digestible, pero la digestibilidad de las paredes celulares varía de acuerdo con el grado de lignificación de las mismas. Por tanto, la digestibilidad desciende principalmente debido a que las plantas maduran -y por tanto a que aumentan los enlaces que establece la lignina con los carbohidratos de la pared celular de la planta- (McDonald et al., 2011).

La digestibilidad de las gramíneas se ve afectada por la relación hojas/tallos. En las gramíneas muy jóvenes, los tallos son más digestibles que las hojas, pero, al progresar la maduración, la digestibilidad de las hojas desciende muy lentamente, en tanto que la de los tallos lo hace rápidamente. A medida que las plantas maduran, los tallos representan una cantidad creciente en el forraje, por lo que tienen mayor influencia sobre la digestibilidad de la totalidad de las plantas que las hojas (McDonald et al., 2011). Dado los cambios que ocurren en el valor nutritivo y la composición química de la planta conforme esta se desarrolla la digestibilidad tiende a disminuir. Distintos autores agregan que el contenido de carbohidratos solubles también afecta la digestibilidad. Bergen et al. (1991) y Filya (2003), observaron que los carbohidratos solubles en agua disminuyen conforme aumenta la madurez y por tanto afectan negativamente la digestibilidad. La degradabilidad ruminal de los diferentes componentes de los forrajes, entonces, está influenciada por varios factores, como el estado fenológico, el método de preservación, especie forrajera y cultivares (Ali et al., 2014), así como por el valor nutritivo del forraje, su morfología y fisiología (Foster et al., 2011). Coblenz et al. (2000), agrega como factores a tener en cuenta la fecha de cosecha y la interacción de estos efectos asociados, afirmando que afectan significativamente las concentraciones de FND en forrajes de cereales de invierno (Coblenz et al., 2000). Según Coblenz et al. (2000) el estado fenológico es un predictor efectivo de la mayoría de las características de la desaparición *in situ* de la MS y FND. En línea con esto, Mustafa et al. (2003), observaron que la avena cosechada en estado de grano pastoso tenía menor degradabilidad ruminal de la MS (60,6 vs. 66,4%), PC (81,3 vs. 88,7%) y FND (35,4 vs. 42,2%) que la avena cosechada en la fase de panoja embuchada. Los resultados del estudio *in situ* mostraron que la degradabilidad ruminal de nutrientes del ensilaje de avena disminuyó a medida que avanzó el estado fenológico. El momento de la cosecha es entonces directamente

influyente en las características nutritivas de los forrajes para ensilar (Jacobs et al., 2009).

En síntesis, todos los autores coinciden que conforme aumenta el estado fenológico la composición química y degradabilidad ruminal de nutrientes se ven influenciadas significativamente, teniendo ésta un efecto negativo sobre la degradabilidad ruminal de la MS y de la FND, así como el contenido de PC.

2.3. El proceso de ensilaje

El ensilado es el producto obtenido por la fermentación controlada de los alimentos de alto contenido en humedad (McDonald et al., 2011). Se trata de un método de conservación de forrajes en estado húmedo mediante acidificación, al alcanzar un pH inhibitorio para procesos enzimáticos de origen microbiano (De Blas et al., 1987). El proceso recibe el nombre de ensilaje, y el continente, si se emplea, se llama silo. Casi todos los cultivos pueden conservarse como ensilado, aunque los más empleados son las gramíneas, leguminosas y planta entera de cereales (McDonald et al., 2011).

Para conservar los cultivos por fermentación natural, es necesario lograr condiciones anaerobias. En la práctica, se consigue picando el cultivo durante la cosecha llenando rápidamente el silo, compactándolo y cerrándolo. El objetivo fundamental del cierre es evitar la reentrada y circulación de aire durante la conservación (McDonald et al., 2011). Se debe evitar también la actividad de microorganismos perjudiciales como los clostridios y enterobacterias. Dichos microorganismos pueden inhibirse estimulando el crecimiento de bacterias ácido lácticas o empleando aditivos químicos. Las bacterias ácido lácticas fermentan los azúcares presentes en los cultivos (principalmente glucosa y fructosa), hasta la formación de una mezcla de ácidos, entre los que predomina el láctico. Los ácidos producidos incrementan la concentración de hidrogeniones hasta un nivel que inhibe a las bacterias indeseables (McDonald et al., 2011). Filya (2003), estudiando las características de ensilaje de trigo cosechado en estado de floración, lechoso y pastoso observó que en los estados fenológicos de grano lechoso y grano pastoso existía una mayor proporción de ácido láctico en comparación con el estado de floración, y, por tanto, una menor cantidad de etanol, levaduras, mohos y clostridios.

Respecto a las gramíneas cuyo contenido en MS es cercano a los 200 g/kg, la obtención de un pH de aproximadamente 4,0 suele ser suficiente para conservar el cultivo adecuadamente, siempre que es silo permanezca herméticamente cerrado (McDonald et al., 2011).

En lo que se refiere al valor nutritivo de los ensilados, éste depende en primer lugar de las especies y estado fenológico en el momento de la cosecha, y en segundo lugar, de los cambios que tengan lugar por la actividad de las enzimas vegetales y los microorganismos durante la cosecha y el periodo de almacenamiento (McDonald et al., 2011). Entre los cambios más importantes durante el ensilado se encuentran la

fermentación de los azúcares hasta ácidos por acción de las bacterias y la degradación de una importante porción de proteína vegetal verdadera hasta compuestos nitrogenados no proteicos (NNP) (Brigtocke y Wilson, 1987).

El proceso de ensilaje determina una proteólisis y un aumento de nitrógeno amoniacal y de nitrógeno alfa-amino libre en el ensilado en comparación con el material original (McDonald et al., 2011). Bergen et al. (1991), en su estudio sobre las características de ensilaje de planta entera de trigo, cebada y avena cosechados en los estadios de grano lechoso y pastoso, observó que el nitrógeno (N) soluble en agua aumentó durante el ensilaje. La proporción de nitrógeno potencialmente degradable se reduce, en tanto que el nitrógeno no degradable que se encuentra en las paredes celulares de la planta, permanece sin cambios. En conjunto, existe un aumento en el nitrógeno fácilmente utilizable por los microorganismos del rumen, que puede considerarse como fácilmente degradable (Bergen et al., 1991). En general, la degradabilidad de la proteína de los ensilados es alta (75-85%) (McDonald et al., 2011).

2.4. Forraje fresco vs Ensilaje: su efecto sobre la degradabilidad ruminal.

Varios autores han demostrado que el ensilaje afecta ciertos parámetros de degradabilidad ruminal del forraje, tanto positiva como negativamente. Mustafa et al. (2002), estudiando los efectos de los cultivares sobre las características de ensilado, composición química y degradabilidad ruminal del ensilaje de tres variedades de guisantes, observaron que el ensilaje de los mismos dio como resultado una alta fracción soluble ("a") de PC en rumen. La fracción de PC lentamente degradable "b" fue baja y mostro una tendencia inversa a la observada para la fracción "a" de PC. La elevada fracción "a" y la rápida degradación de la fracción "b" dieron como resultado una alta degradabilidad ruminal de PC para los tres ensilajes de guisantes. Dicho estudio coincide con lo expuesto posteriormente por Seguin y Mustafa (2003), en el que evaluaron el efecto de ensilaje sobre la degradabilidad ruminal de dos cultivares de trébol, donde observaron que las fracciones "a" de MS y PC fueron más altas para ensilajes que para forrajes frescos (13 y 85%, respectivamente). A su vez, Peyrat et al. (2014), estudiando los efectos del ensilado de maíz sobre la degradabilidad ruminal *in situ*, observaron que la DE de MS fue mayor para el ensilaje que para el maíz fresco. Esto se relacionó principalmente con las diferencias en la fracción "a" la cual fue mayor en el maíz ensilado. Por el contrario, la fracción "b" de MS fue menor para el maíz ensilado que el maíz fresco (Peyrat et al., 2014).

En concordancia con lo expuesto por Peyrat et al. (2014), Seguin y Mustafa (2003) observaron que el proceso de ensilaje redujo la fracción "b" de MS y también de PC en 5 y 42% respectivamente para ambos cultivares de trébol. No obstante, y en contrapartida con lo expuesto por Mustafa et al. (2002), las tasas de degradación de MS y PC de las fracciones "b" se redujeron en 29 y 18%, respectivamente, tras el ensilaje (Seguin y Mustafa, 2003). Peyrat et al. (2014), también reportaron una disminución en la tasa de degradación de la MS en el maíz ensilado.

Seguin y Mustafa (2003) observaron además que la DE de la MS fue similar en los forrajes frescos y ensilados; sin embargo, la DE ruminal de PC fue 11% mayor para ensilajes. Esto según los autores, fue probablemente debido al gran aumento de la fracción de PC soluble *in situ* como resultado del ensilaje.

Seguin et al. (2013), evaluando la degradabilidad ruminal de forraje de dos variedades de amaranto fresco y ensilado, observaron un aumento de la fracción “a” de PC y una reducción de la fracción “b” en ambos cultivares. La “kd” de la fracción “b” también se redujo por ensilaje, coincidiendo con lo expuesto por Seguin y Mustafa (2003). Sin embargo, la DE de PC fue mayor para los cultivares ensilados que los frescos. Estos resultados concuerdan con el análisis químico, que mostró un aumento sustancial en la fracción “a” de PC y una reducción de la fracción “b” de PC durante el ensilaje. Estos hallazgos respaldan observaciones previas realizadas por Seguin y Mustafa (2003) y Mustafa et al. (2002), donde el ensilaje aumentó la fracción “a” de PC y redujo la fracción “b”. Estos cambios en la fracción de proteína resultan en una degradabilidad de la PC ruminal más alta para forrajes ensilados que para forrajes frescos (Seguin et al., 2013).

Con respecto a las variaciones de FND dadas por el proceso de ensilaje, Peyrat et al. (2014), observaron que la DE de la FND fue mayor para el maíz fresco que para el maíz ensilado. En contraposición a lo anterior, Seguin et al. (2013) así como Mustafa et al. (2002) y Seguin y Mustafa (2003), observaron que la DE de la FND no se vio afectada por el ensilaje.

Respecto a la fracción “a” de FDN, Peyrat et al. (2014) observaron que ésta fue mayor para el maíz ensilado que para el maíz fresco. Seguin et al. (2013), también reportaron un incremento de la fracción “a” en sus dos cultivares de amaranto durante el ensilaje. En contrapartida, Mustafa et al. (2002) observaron que la fracción “a” de FND fue baja para los 3 cultivares de guisantes luego de ensilado. La fracción “b” no difirió significativamente entre el maíz fresco y ensilado (Peyrat et al., 2014). Dichos hallazgos coinciden con Mustafa et al. (2002), en donde no observaron variaciones en dicha fracción tras el proceso de ensilaje de guisantes.

Respecto a la “kd”, Peyrat et al. (2014) y Mustafa et al. (2002), no reportaron variaciones significativas post ensilaje. A su vez, la fracción indegradable “c”, según Peyrat et al. (2014), no difirió significativamente entre el maíz fresco y ensilado. En contraposición a lo anterior, Seguin et al. (2013), observaron que la “kd” fue similar para los 2 cultivares de amaranto y se incrementó durante el ensilaje.

En líneas generales, los autores explican que las variables en composición química y degradabilidad ruminal de la FDN, MS, PC, así como su “kd” y DE, difieren no solo por el proceso de ensilaje en sí mismo, sino que varían acorde al tipo de cultivo estudiado.

2.4.1. Ensilados de planta entera de trigo, cebada y avena

La finalidad de conservar cereales como ensilados de planta entera, consiste en cosechar los cultivos en el momento en que la producción de nutrientes digestibles es máxima. A medida que los cultivos maduran, aumenta el contenido de nutrientes en el grano, ya que se deposita más cantidad de almidón, aunque la digestibilidad de la fibra desciende (McDonald et al., 2011). Está demostrado, que a medida que avanza el estado fenológico hay un cambio en la composición química del cultivo que lleva a una reducción de proteína verdadera (Filya, 2003; Mustafa et al., 2003; Jacobs et al. 2009). Sin embargo, se observó un aumento del contenido de almidón conforme progresó la madurez (Mustafa et al., 2003).

Existe un punto óptimo, en que la producción conjunta de grano y forraje alcanza un máximo (McDonald et al., 2011). En la cebada, por ejemplo, tiene lugar cuando el grano se encuentra en la fase pastosa y está duro. Sin embargo, en ese momento, el contenido de humedad del cultivo se reduce rápidamente, de modo que la compactación en el silo puede resultar difícil, lo que hace posible una mala fermentación. Además, los granos duros no son triturados suficientemente durante la masticación por el ganado vacuno, lo que determina su pérdida como granos no digeridos que llegan a las heces. Por tanto, tradicionalmente, los ensilados de planta entera de cebada, trigo y avena, se hacen cuando el contenido de materia seca es de 250-450 g/kg, mientras el cultivo se encuentra todavía verde, y los granos se encuentra en estado lechoso/pastoso inicial. Con ello se obtiene un producto que fermenta bien; los granos se digieren eficientemente y el contenido de energía metabolizable es semejante al del ensilado de forraje, si bien, el contenido de almidón es mayor y el contenido de proteína bruta es menor (McDonald et al., 2011).

3. HIPOTESIS

1. El estado fenológico de la *Avena sativa* variedad Cantara tendrá un impacto negativo sobre la degradabilidad ruminal de la MS y la FND, reduciéndola conforme aumente la madurez de la planta. La degradabilidad ruminal será elevada en los estadios de panoja embuchada y floración, para luego disminuir y estabilizarse posteriormente en los estadios más tardíos gracias al aporte de almidón.
2. El proceso de ensilaje reducirá la degradabilidad ruminal de la MS y la FND en comparación con el forraje fresco.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

Estudiar el efecto del estado fenológico y del proceso de ensilaje sobre el aprovechamiento ruminal de forraje fresco y del ensilaje de planta entera elaborados con el cultivo de *Avena sativa* variedad Cantara.

4.2. Objetivos específicos

Evaluar el efecto del estado fenológico y del proceso de ensilaje de la *Avena sativa* variedad Cantara sobre la degradabilidad ruminal de:

1. La MS del forraje fresco y del ensilado
2. La FND del forraje fresco y del ensilado.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

Para llevar a cabo las actividades se contó con el Laboratorio de Nutrición Animal y Campo Experimental N.º 2 de la Facultad de Veterinaria, donde se realizaron pruebas de degradabilidad ruminal *in situ* y las determinaciones químicas. Los procedimientos experimentales fueron realizados de acuerdo a los principios bioéticos y protocolos de supervisión propuestos por la Comisión Honoraria de Experimentación Animal (CHEA).

5.1. Cosecha y ensilaje

Para llevar a cabo los experimentos, se utilizó un cultivo de *Avena sativa* var. Cantara implantado en INIA La Estanzuela. Se efectuaron 6 cortes en diferentes estados fenológicos: estadio de panoja embuchada (Z45), floración (Z59), grano acuoso (Z69), grano lechoso (Z73), grano pastoso (Z83) y grano duro (Z91). Sobre la chacra se realizó un diseño de bloques completos al azar con 3 réplicas. El forraje cosechado en cada corte se muestreó y se elaboraron microsilos. La composición química del forraje fresco y del ensilaje de *Avena sativa* var. Cantara en los 6 estados fenológicos se presenta en el cuadro 1.

Cuadro 1. Composición química de la *Avena sativa* variedad Cantara del forraje fresco y ensilado en los seis estados fenológicos (Z45-Z91).

Conservación	Forraje Fresco						Ensilaje						EEM ^a	PC ^b			P ^c Forraje Fresco		P ^d Ensilaje	
	45	59	69	73	83	91	45	59	69	73	83	91		T	E	T*E	L	C	L	C
Estado fenológico ^e																				
Días ^f	125	132	139	146	161	170	125	132	139	146	161	170								
MS (g/kg)	144	151	178	234	362	512	155	171	202	242	318	492	2,260	<0,01	0,96	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Composición, (g MS/kg)																				
Cenizas	82	86	90	79	77	63	78	82	80	81	76	72	0,921	<0,01	0,06	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
PC	107	99	86	73	62	61	104	89	77	73	74	69	0,851	<0,01	0,95	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
PS	335	356	398	370	255	153	517	557	628	561	362	244	4,714	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
FND	537	627	661	599	568	571	539	618	655	585	576	548	4,901	<0,01	0,09	0,30	0,29	<0,01	0,07	<0,01
FAD	351	412	449	367	359	336	363	420	425	400	407	376	4,252	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,93	<0,01
HC	186	215	211	232	210	232	175	200	227	190	165	171	6,158	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,04	0,05	<0,01
Lignina	45	62	72	59	84	71	36	56	72	61	89	79	3,365	<0,01	0,97	0,39	<0,01	0,03	<0,01	0,01
Almidón	26	23	28	50	183	201	34	25	7	21	123	181	1,164	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Áz. Solubles	115	49	33	68	22	17	19	12	17	14	15	8	1,463	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	0,33

^aError estándar de la media (n=9 por estado fenológico, n=3 por bloque).

^bNivel de significancia del estado fenológico (T), del ensilaje (E) y de la interacción entre estado fenológico y ensilaje (T*E).

^cNivel de significancia del efecto lineal (L) y cuadrático (C) del estado fenológico en el forraje fresco.

^dNivel de significancia del efecto lineal (L) y cuadrático (C) del estado fenológico en el ensilaje.

^eEstado fenológico expresado acorde a Zadoks et al., 1974.

^fEstado fenológico expresado en días desde la siembra.

Los microsilos se elaboraron en recipientes de 22 litros con tapa de cierre hermético provista de un pico vertedor para la recolección de efluente (ATMA®). El forraje fue picado con una picadora mecánica a un tamaño promedio de partícula de 2-4 cm, posteriormente introducido gradualmente en los recipientes y prensado con una prensa manual aplicando presión constante. Los baldes fueron cerrados herméticamente, pesados y almacenados en un lugar oscuro y a temperatura ambiente con un frasco colocado debajo para la recolección diaria de efluente. El tiempo designado de ensilaje fue de 64 días.

5.2. Degradabilidad ruminal *in situ*

Se estudió la cinética de degradación ruminal de la MS y FND del forraje fresco y ensilado en cada uno de los seis estados fenológicos. Se utilizaron 3 vacas canuladas (516 ± 25 kg PV, media \pm desvío estándar) en el saco dorsal del rumen por el método *in situ*. Los animales se alimentaron con una dieta compuesta (en base seca) por dos tercios de heno de moha y un tercio de concentrado (grano húmedo de maíz y harina de soja) formulada para cubrir los requerimientos de mantenimiento. La dieta total contenía en base seca 125 g/kg PC, 483 g/kg FND y 276 g/kg FAD. Se suplementaron con 100 g de núcleo vitamínico mineral/día (Zinpro®). La dieta se administró a un nivel de consumo de 70 g de MS/kg PV^{0.75}, y el periodo de adaptación de las vacas a la dieta fue de 20 días.

Las muestras de forraje fresco y ensilaje (7 g, secadas a 60°C hasta peso constante y molidas a 2 mm) de cada estado fenológico fueron introducidas en bolsas de nylon (10 x 20 cm y 50 μ m de porosidad, ANKOM Technology Corp., Fairport, NY, USA) e incubadas en el rumen por 3, 6, 12, 24, 48, 72, 96 horas. La hora 0 de incubación se estableció por lavado de las muestras sin incubar. Se realizaron dos series de incubaciones en cada vaca en días diferentes acorde a Van Vuuren et al. (2012). Después de retirar las bolsas del rumen, estas se lavaron con agua corriente y se congelaron. Para el análisis del residuo de incubación, se descongelaron y lavaron manualmente bajo agua corriente y fría hasta que el agua salió clara y se secaron en estufa a 60°C durante 48 horas. Luego de realizado esto, se pesaron las muestras para evaluar la degradabilidad de la MS tomando como referencia el peso final de las bolsas. Los residuos de incubación se molieron a 1 mm y se analizó FND, en un analizador de fibra automático (ANKOM 2000 Technology Corp., Fairport, NY, USA) mediante la técnica propuesta por Mertens et al. (2002).

La desaparición de la MS de las fracciones se ajustó al modelo propuesto por Ørskov y McDonald (1979): $d = a + b(1 - e^{-kd t})$ donde “d” es el material desaparecido de la bolsa en el tiempo “t”, “a” es la fracción soluble, “b” es la fracción no soluble potencialmente degradable en rumen, “kd” (h^{-1}) es la tasa fraccional de degradación de “b”. La fracción indegradable “c” se calculó como $1 - (a + b)$.

Para la desaparición de las fracciones de FND se asumió que “a” = 0, y el modelo fue: $d = a + b(1 - e^{-kd t})$. La degradabilidad efectiva (DE) de la MS se estimó como $DE = a$

+ (b “kd”) / (“kd” + kp) y para FND como: $DE = (b \text{ “kd”}) / (\text{“kd”} + kp)$, asumiendo una tasa de salida de partículas del rumen (kp) de 0.03 h⁻¹, 0.06 h⁻¹, 0.08 h⁻¹ (DE03, DE06 y DE08 respectivamente).

5.3. Análisis estadístico

El experimento consistió en un diseño de bloques completos al azar, con tres bloques por estado fenológico. Los datos fueron analizados mediante un modelo mixto, utilizando el procedimiento MIXED del SAS (SAS 9.0V, SAS Institute Inc., Cary, NC).

Para el análisis de los datos de degradabilidad ruminal *in situ* de la MS y FND, se promediaron los valores de las dos series de incubación. Se analizó su interacción mediante regresiones lineales y cuadráticas y se incluyó el efecto aleatorio de la vaca en el siguiente modelo: $Y_{ijkl} = \mu + T_i + E_j + (T * E)_{ij} + B_k + \varepsilon_{ijk}$, donde Y_{ijk} es la variable dependiente, μ es la media global, T_i es el efecto fijo del estado fenológico (i = 6 estados fenológicos), E_j es el efecto fijo del ensilaje (j = forraje fresco y ensilaje), $(T * E)_{ij}$ es el efecto fijo de la interacción entre estado fenológico y ensilaje, B_k es el efecto aleatorio de la vaca (k = 3 vacas) y ε_{ijk} es el error residual.

Las regresiones lineales y cuadráticas se efectuaron independientemente del nivel de significancia del efecto del estado fenológico. Se aceptaron diferencias significativas entre medias cuando $P \leq 0,05$ y se consideró una tendencia cuando $0,05 < P \leq 0,10$.

6. RESULTADOS

6.1 Degradabilidad ruminal de la MS

Los parámetros de degradabilidad de la MS y la DE (06) del forraje fresco y ensilado de *Avena sativa* var. Cantara en los 6 estados fenológicos se presentan en el cuadro 2 y figura 1 respectivamente.

6.1.2 Efecto del ensilaje

El efecto del ensilaje fue significativo, observándose la interacción entre estado fenológico y conservación en gano duro (Z91), momento en el cual la fracción “a” del ensilaje fue inferior a la del forraje fresco (0,040 vs. 0,044).

El proceso de ensilaje incrementó la fracción “b” de forma significativa respecto al forraje fresco (0,383 vs. 0,413; $P < 0,01$) a lo largo del ciclo del cultivo.

El proceso de ensilaje disminuyó de forma significativa la fracción “c” en comparación con el forraje fresco (0,21 vs. 0,19) y disminuyó levemente la “kd” respecto al forraje inicial (0,029 vs. 0,023).

Sin embargo, el hecho de que la conservación del forraje en forma de ensilaje aumentara la fracción “b” y disminuyera la fracción “c” respecto al forraje fresco, no mejoró la velocidad de degradación.

6.1.1 Efecto del estado fenológico

La fracción “a” presentó un efecto cuadrático conforme aumentó la madurez del cultivo, tanto del forraje fresco (C; $P < 0,01$) como del ensilaje (C; $P = 0,02$), descendiendo desde un promedio de 0,46 hasta 0,34 (Z45-69) para luego incrementar hasta un promedio de 0,42 (Z73-91)

La fracción “b” descendió de forma lineal y cuadrática ($P < 0,01$) con el aumento de la madurez del cultivo tanto para el forraje fresco como para el ensilaje, desde un promedio de 0,415 hasta 0,335 (Z45-91).

La fracción “c” aumentó de forma lineal y cuadrática ($P < 0,01$) conforme lo hizo madurez del cultivo, en el forraje fresco y ensilaje. Este aumento se produjo desde un valor inicial promedio de 0,12 hasta 0,25 (Z45-91).

La “kd” disminuyó conforme aumentó el ciclo del cultivo, desde 0,045 en embuche hasta 0,015 en grano duro, promedio de forraje fresco y ensilaje. El descenso fue lineal y cuadrático ($P < 0,01$) en el forraje fresco y lineal en el ensilaje ($P < 0,01$).

En síntesis, la evolución del ciclo del cultivo afectó negativamente a la degradabilidad ruminal de la MS independientemente de la conservación del forraje: disminuyó la fracción potencialmente degradable y la tasa de degradación y aumentó la fracción indegradable.

6.2 Degradabilidad ruminal de la fibra

Los parámetros de degradabilidad de la FND y la DE (06) de la FND del forraje fresco y ensilaje de Avena sativa var. Cantara en los 6 estados fenológicos se presenta en el cuadro 2 y figura 1 respectivamente.

6.2.1 Efecto del estado fenológico

La fracción “b” de la FND presentó un efecto cuadrático ($P < 0,01$) conforme aumentó el ciclo del cultivo, descendiendo desde 0,812 hasta 0,528 desde embuche hasta grano duro (promedio forraje fresco y ensilaje).

La fracción “c” de la FND presentó un aumento cuadrático conforme evolucionó el cultivo desde 0,190 en embuche (Z45) hasta 0,472 en grano duro (Z91).

La “kd” del FF y ensilaje evolucionó de forma cuadrática con el aumento de madurez del cultivo y de forma inversa.

6.2.2 Efecto del ensilaje

La fracción “b” tendió ($P = 0,04$) a aumentar gracias al proceso de ensilaje (0,65 vs. 0,67). La fracción “c” fue levemente inferior tras el proceso de ensilaje (0,35 vs. 0,33;

P=0,05). La velocidad de degradación fue superior ($P<0,01$) en el forraje fresco en embuche, floración, grano acuoso, grano pastoso y duro (Z45, 59, 69, 83 y 91).

Cuadro 2. Parámetros de degradabilidad ruminal in situ de la materia seca en los seis estados fenológicos (Z45-Z91)

Conservación	Forraje Fresco						Ensilaje						EEM ^a	PC ^b			P ^c Forraje Fresco		P ^d Ensilaje	
	45	59	69	73	83	91	45	59	69	73	83	91		T	E	T*E	L	Q	L	C
Días ^f	125	132	139	146	161	170	125	132	139	146	161	170								
MS																				
a	0,47	0,37	0,34	0,39	0,44	0,44	0,45	0,37	0,34	0,40	0,42	0,40	0,003	<0,01	<0,01	<0,01	0,48	<0,01	0,92	0,02
b	0,40	0,46	0,43	0,39	0,31	0,31	0,43	0,49	0,45	0,40	0,36	0,36	0,008	<0,01	<0,01	0,20	<0,01	0,07	<0,01	0,56
c	0,13	0,17	0,23	0,21	0,26	0,26	0,12	0,14	0,21	0,21	0,21	0,24	0,009	<0,01	0,02	0,70	<0,01	<0,01	<0,01	0,03
kd	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,002	<0,01	<0,01	0,17	<0,01	<0,01	<0,01	0,19
FND																				
b	0,80	0,76	0,67	0,62	0,53	0,53	0,83	0,77	0,69	0,62	0,58	0,53	0,010	<0,01	0,04	0,50	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
c	0,20	0,24	0,33	0,38	0,47	0,47	0,18	0,23	0,31	0,38	0,42	0,47	0,010	<0,01	0,05	0,50	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
kd	0,06	0,05	0,04	0,03	0,06	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,002	<0,01	<0,01	<0,01	0,93	0,01	0,02	0,04

^a Error estándar de la media (n=1 por estado fenológico).

^b Nivel de significancia del estado fenológico (T), del ensilaje (E) y de la interacción entre estado fenológico y ensilaje (T*E).

^c Nivel de significancia del efecto lineal (L) y cuadrático (C) del estado fenológico en el forraje fresco.

^d Nivel de significancia del efecto lineal (L) y cuadrático (C) del estado fenológico en el ensilaje.

^e Estado fenológico expresado acorde a Zadoks et al., 1974.

^f Estado fenológico expresado en días desde la siembra

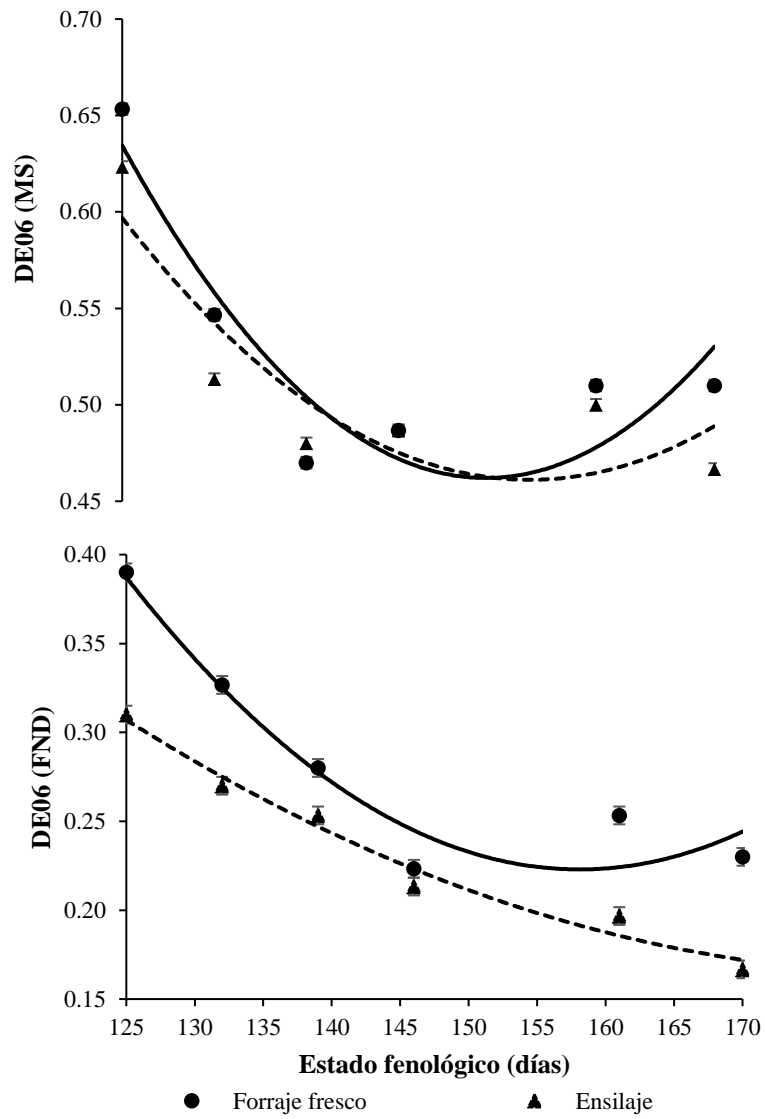


Figura 1. Degradabilidad efectiva (0,6) de la MS y FND en los seis estados fenológicos (Z45-Z91)

7. DISCUSIÓN

7.1 Efecto del estado fenológico

7.1.1 Degradabilidad ruminal de la materia seca.

La evolución del ciclo del cultivo afectó negativamente a la degradabilidad ruminal de la MS independientemente de la conservación del forraje: disminuyeron las fracciones degradables y la “kd”, mientras que aumentó la fracción indegradable.

En nuestro trabajo, la fracción “a” presentó un patrón cuadrático desde embuche hasta grano duro. En embuche, una elevada proporción de la MS se presentó en forma de fracción inmediatamente soluble en el rumen, a medida que avanzó el desarrollo de la planta y se produjo la elongación del tallo, esta fracción descendió en grano acuoso. Desde grano acuoso hasta grano pastoso la fracción “a” volvió a valores cercanos, aunque inferiores, a los iniciales. En concordancia con nuestro trabajo, Balde et al. (1993), estudiando degradabilidad ruminal de alfalfa (*Medicago sativa*) y pasto ovilla (*Dactylis glomerata*) y Coblenz y Walgenbach (2010), haciendo lo propio con variedades de avena, trigo, cebada y arroz, en dos años consecutivos, observaron que la fracción “a” disminuyó con el aumento del estado fenológico. A su vez, Coblenz et al. (2000) y Coblenz y Walgenbach (2010), observaron que la fracción “a” tendió a aumentar –aunque de manera moderada- en estados fenológicos más tardíos. Según los autores, esto se debe al elevado contenido de carbohidratos no fibrosos verdaderamente digestibles, los cuales aumentaron con la madurez de los cultivos evaluados. La recuperación parcial de la fracción soluble se produce durante el desarrollo del grano debido al aumento del contenido de almidón y descenso del contenido de FND y FAD. El almidón es un glucano que se encuentra en la mayoría de los vegetales como carbohidrato de reserva. Es muy abundante en las semillas, frutos, tubérculos y raíces y se encuentra en forma de gránulos, cuyo tamaño y forma son distintos según la planta de que se trate. Éste es considerado como un carbohidrato fácilmente utilizable, por lo que su degradación en el rumen será rápida, aumentando la degradabilidad ruminal del alimento en la medida que éste se encuentre en mayor cantidad (McDonald et. al, 2011). En este sentido, Ashbell et al. (1985), estudiando los cambios nutritivos en planta entera de trigo, observaron que en la fase de llenado de grano aumentó la MS y el contenido de AS sin disminución de la digestibilidad. A su vez, en un estudio posterior, Ashbell et al. (1997), evaluando dos cultivares de trigo en embuche, floración, grano lechoso y pastoso, reportaron la máxima solubilidad de la MS en grano pastoso. Según los autores esto se atribuye al aumento de la proporción de grano respecto a la biomasa, lo cual es un dato consistente con nuestro trabajo. En cuanto a la fracción “b”, ésta se vio disminuida tanto en el forraje fresco como en el ensilaje, así como la “kd” y la DE, mientras que la fracción “c” aumentó conforme avanzó el estado fenológico del cultivo. Nuestros resultados indican que la degradabilidad es elevada en estados fenológicos más inmaduros, cuando la proporción de hojas es mayor y el contenido de lignina es bajo. A medida que se desarrolla la planta, la fracción “b” desciende, estabilizándose con el

llenado del grano en grano pastoso y grano duro. Este descenso ocurre tanto en forraje fresco como en el ensilaje. Los cambios en la degradabilidad de la MS comparada con el estado fenológico se corresponden estrechamente con los cambios en la fracción “b”. El descenso de la fracción “b”, se debe al aumento del contenido de lignina con el desarrollo de la planta. La lignina es indegradable en el rumen (McDonald et al., 2011), ésta tiende a disminuir la colonización bacteriana y la degradación (Waldo et. al, 1972) y, por tanto, a medida que aumenta, desciende la fracción “b”. Gracias al aumento del contenido de almidón y a que la lignina llegado un momento deja de aumentar, la fracción “b” se estabiliza. En éste sentido, Coblenz y Walgenbach, (2010) y Coblenz et al. (2000) reportan valores similares a los de nuestro trabajo. Con respecto a la fracción “c”, ésta fue baja en estados fenológicos más inmaduros y aumentó con la madurez del cultivo, tanto en forraje fresco como en ensilaje, lo cual indica la alta degradabilidad de la MS en embuche. Con el desarrollo y elongación de la planta, la fracción “c” aumentó debido a la lignificación de la planta, sin embargo, este incremento se produjo hasta grano pastoso, no observándose diferencias entre pastoso y lechoso. Resultados similares reportan Coblenz et al. (2000), Coblenz y Walgenbach (2010) en avena cosechada en estados fenológicos vegetativos. Por otro lado, la “kd”, presentó un descenso lineal y cuadrático, en el forraje fresco. Esto coincide con lo expuesto por Hoffman et al. (1993), Hadjipanayiotou et al. (1996) y Coblenz y Walgenbach (2010) los cuales, estudiando distintos estados fenológicos en diferentes especies de gramíneas y leguminosas, reportaron una disminución constante de la “kd” de MS conforme maduró el cultivo. A su vez, Coblenz y Walgenbach (2010) asociaron el descenso de la “kd” al desarrollo de los tallos y observaron mayor descenso de la misma en la variedad de avena granífera. Por tanto, el motivo de la reducción de la “kd” se debe a que disminuye la proporción hoja/tallo, y los tallos se degradan más lentamente que las hojas (Chaves et al., 2006), ya que éstos tienen mayor contenido de lignina. La DE de la MS, descendió de forma abrupta entre embuche y grano acuoso y después se estabilizó. Durante este intervalo de grano acuoso a grano duro, observamos que el efecto positivo del llenado de grano con su consecuente aumento de almidón compensó en parte el efecto negativo de la lignificación de la planta, sin embargo, los valores de DE continuaron siendo menores respecto a los estados vegetativos. En este sentido, Coblenz y Walgenbach (2010), evaluando diferentes variedades de cereales de invierno cosechadas en un intervalo de 45 días (septiembre-noviembre) reportaron una DE elevada en estados vegetativos, la cual descendió y se estabilizó hacia el final de la última cosecha. En concordancia con lo anterior, Hadjipanayiotou et al. (1996) en su estudio de degradabilidad *in situ* de cebada, avena y arveja (*Pisum sativum*) cortados en distintos estados fenológicos determinaron que la DE de la MS y PC decreció con el avance del estado fenológico. A su vez, Yu et al. (2004) y Hoffman et al. (1993) reportaron un descenso en la degradabilidad ruminal de la MS a medida que aumentó la madurez de diferentes especies de gramíneas y leguminosas, y explican este descenso por las variaciones en la proporción de carbohidratos solubles y carbohidratos de la pared celular. Los parámetros de degradabilidad ruminal obtenidos en el presente trabajo son similares a los que reporta Coblenz et al. (2000) para planta

entera de avena, presentando un comportamiento muy similar conforme avanza la madurez del cultivo y un tanto inferiores a los de Coblenz y Walgenbach (2010) ya que reportan en estados más inmaduros, pero sin embargo la tendencia es la misma en todos los componentes.

Otros trabajos que evalúan el efecto del estado fenológico sobre los parámetros de degradabilidad ruminal de diferentes variedades de forrajes reportan un efecto significativo de la madurez del cultivo. En este sentido, Sarmadi et al. (2016), observaron que la degradabilidad ruminal de la MS de forraje de amaranto, descendió conforme aumentó la madurez del cultivo: descendieron las fracciones “a”, “b” y “kd”, así como la DE. Siguiendo la misma línea, Coblenz et al. (2000) revelaron que, para cada forraje, la extensión de la desaparición de MS después de 72 horas de incubación en el rumen se redujo en general con la fecha de cosecha. A su vez, Bal et al. (2000), llevando a cabo cinco ensayos *in situ* con ensilaje de maíz de planta entera mostraron que el aumento del estado fenológico del cultivo presentó un impacto negativo sobre la degradabilidad ruminal de la MS independientemente de la conservación del forraje. En este sentido, en un estudio previo, el ensilaje de trigo cosechado en la etapa de floración fue superior al ensilaje de trigo cosechado al final de la etapa de grano lechoso, en términos de digestibilidad de la FND y rendimientos de la leche de vacas en lactancia (Arieli y Adin, 1994). Asimismo, Garnsworthy y Stokes (1993) encontraron que había una disminución en la digestibilidad de la energía, fibra y PC durante la maduración de trigo para ensilaje.

La DE de la MS entonces, desciende a medida que avanza el estado fenológico ya que los componentes de la pared celular tienden a aumentar, principalmente la lignina, que es indegradable en el rumen, (es por ello que las fracciones digestibles de la planta disminuyen, mientras que la indigestible aumenta). El aporte de almidón en estados más tardíos (durante la fase de llenado de grano), tendió a compensar la DE de la MS, aunque no lo suficiente, siendo ésta considerablemente menor respecto a los estados vegetativos. Por lo tanto, entre grano pastoso y grano duro, serían los estados de madurez menos deseables debido a que la fracción “c” en el rumen es la más elevada, la fracción “b” es la más baja, lo cual resulta en una baja DE. Por lo tanto, debido a que el almidón no compensa lo suficiente la caída de la degradabilidad, sería conveniente cosechar la avena en estados fenológicos más tempranos, concretamente entre la fase de floración y grano acuoso, de manera de aprovechar el mayor valor nutritivo que tendrá nuestro cultivo en dicha etapa.

7.1.2 Degradabilidad ruminal de la FND

El aumento del ciclo del cultivo afectó negativamente a la degradabilidad ruminal de la FND independientemente de la conservación del forraje: disminuyó la fracción degradable “b” y la “kd”, mientras que aumentó la fracción “c”. Como explicación a nuestro resultado, se ha demostrado que muchos de los efectos del estado fenológico en la digestibilidad del forraje están asociados con el aumento de la FND y en concreto un aumento en la lignificación de la FND a medida que el estado fenológico avanza

(Smith et al., 1972). La lignina es un polímero constituido por unidades de fenilpropano, la cual tiene una gran resistencia a la degradación química (McDonald et. al, 2011). La incrustación física de las fibras vegetales en la lignina las hace inaccesibles a las enzimas que podrían digerirlas debido a que posee fuertes enlaces químicos entre la misma y los polisacáridos vegetales, lo cual impide la digestión de estos productos. A medida que los cultivos maduran, su contenido en lignina aumenta y, por tanto, su digestibilidad decrece (McDonald et. al, 2011).

Los resultados de nuestro trabajo muestran que la fracción “b”, fue elevada en embuche (0.812, promedio de forraje fresco y ensilaje) y luego descendió de forma lineal y cuadrática a un valor de 0,528. Esta reducción se debe al aumento del contenido de lignina, la cual es indegradable en el rumen. Estos resultados coinciden con los de Coblenz et al. (2000), donde la FND presentó un alto porcentaje de fracción “b” en avena cosechada en estados inmaduros descendiendo con el aumento de madurez del cultivo. Por lo tanto, la madurez tuvo la mayor correlación con la FND degradable en rumen (Hoffman et al., 1993). Esto a su vez coincide con lo expuesto por Bal et al. (2000) estudiando el ensilaje de planta entera de maíz, donde las fracciones digestibles de FND disminuyeron con el mayor estado fenológico.

La fracción “c” aumentó desde 0,190 en embuche (promedio de forraje fresco y ensilaje) a 0,472 en grano pastoso. El aumento de la fracción indegradable correspondió a un aumento de la lignificación de la planta y a una disminución de las fracciones digestibles conforme ésta maduró. Un dato concordante argumenta que las concentraciones de FND, FAD, celulosa y lignina aumentaron significativamente en el maicillo maduro, pero los de la hemicelulosa y cenizas no lo hicieron (Coblenz et al., 1998). En concordancia con nuestro trabajo, Hoffman et al. (1993) en su estudio de degradabilidad in situ de MS, PC y FND de 8 forrajes perennes en 3 estados fenológicos, también determinaron que las fracciones “c” de FAD y FND se incrementaron con el avance del ciclo del cultivo. Con respecto a la “kd” del forraje fresco y ensilaje, observamos que ésta evolucionó de forma cuadrática con el aumento de madurez del cultivo y de forma inversa. La alta “kd” que se observó en estados más tempranos en forraje fresco, sugiere que la FND está compuesta principalmente por hemicelulosa con bajo grado de lignificación, resultando en una fermentación más rápida (Keim et al., 2013). En concordancia con nuestro trabajo, Coblenz y Walgenbach (2010), realizando un trabajo sobre cultivares en estados fenológicos vegetativos, observaron que la variedad de avena granífera al alcanzar estados fenológicos más maduros (embuche y floración) produjo una reducción en la desaparición de MS y FND respecto a los demás cultivares que se cosecharon en estados vegetativos. En adición a esto, Cherney et al. (1983), evaluando 6 estados fenológicos de avena, reportaron un descenso lineal de la “kd” de la pared celular, así como un descenso lineal en el grado de digestión de la misma a las 72 horas tras la incubación, demostrando que la lignina y la proporción de lignina y FND se correlacionaron negativamente con “kd”. Respecto a la DE de la FND, ésta disminuyó de manera abrupta en los estados más tardíos, concretamente a partir de la etapa de grano lechoso. En concordancia con nuestro trabajo, Ashbell et al. (1997), estudiando

el efecto del estado fenológico de dos cultivos de trigo, observaron que la degradabilidad de FND in situ disminuyó con la madurez en ambos cultivares, siendo mayor en floración respecto a la etapa de grano lechoso. En ese sentido, Hoover (1986) observó que las plantas producen compuestos que le proporcionan, entre otras cosas, un grado de protección frente a la invasión microbiana. Dentro de estos compuestos protectores se encuentran: lignina, los fenilpropanos asociados con la estructura de lignina, taninos, cutina y sílica. La relación negativa que existe entre el grado de lignificación y la digestión de la pared celular de los forrajes es bien conocida. En adición a esta limitación de la digestión de la fibra por los microorganismos, parece que la presencia de unidades de fenilpropano, ácidos cumárico y ferúlico y los complejos que forman con hemicelulosa y celulosa también reducen la digestión ruminal. Por tanto, los componentes de la planta pueden alterar la degradación de la pared celular mediante barreras físicas (lignina, cutina, sílica). La respuesta se traduce en aumento del tiempo de latencia o descenso en la tasa de degradación de la pared celular (Hoover, 1986).

La DE de la FND entonces, desciende a medida que avanza el estado fenológico debido a que aumenta el contenido de lignina ya que ésta se une con los componentes digestibles de la pared celular (es por ello que desciende la fracción digestible y aumenta la indigestible). Este descenso abrupto en la degradabilidad de la FND en estados más tardíos - grano pastoso y grano duro - nos pone en manifiesto que, si nuestra idea es cosechar un cultivo con buena calidad de fibra, debemos hacerlo en estados más tempranos, concretamente entre la fase de floración y grano acuoso, de manera de maximizar su rendimiento.

7.2. Efecto del ensilaje

7.2.1. Degradabilidad ruminal de la Materia seca

En nuestro trabajo observamos que el silo se degrada menos respecto al FF, ya que, a pesar que la fracción “b” aumentó en todos los estados fenológicos y la fracción “c” disminuyó levemente respecto al forraje original, su “kd” y la DE fueron inferiores.

En concordancia con nuestro trabajo, Maheri et al. (2012), experimentando sobre el secado y ensilado de la pulpa de tomates y González et al. (2007), evaluando los parámetros de degradabilidad ruminal de la MS de raigrás italiano, fresco y ensilado, reportaron que el ensilaje produjo una reducción en la fracción “a” y aumento en la fracción “b” y “c”, así como una reducción en la “kd” tras el ensilaje. La reducción en la “kd” que ocurrió tras el ensilaje, puede deberse a la colonización bacteriana más lenta del mismo. En este sentido, González et al. (2007), observaron una menor tasa de colonización bacteriana en ensilaje respecto del forraje fresco de raigrás. Según los autores esto se debe a la menor concentración de nutrientes fermentables en las partículas de ensilaje, su mayor contenido en ácidos orgánicos (los cuales pueden tener efectos tóxicos para los microorganismos) o una mayor resistencia a la degradación del sustrato lo que implica un menor suministro de nutrientes para el

desarrollo de colonias. A su vez, los autores explican que el efecto del ensilaje sobre la degradabilidad de la MS está en consonancia con la desaparición de los azúcares solubles, hemicelulosa y almidón durante el proceso de ensilaje y el consecuente incremento de las fracciones fibrosas (González et al., 2007). El aumento de la fracción “b” respecto al FF podría explicarse por un aumento en los valores de proteína soluble (PS) luego del proceso de ensilado, sin embargo, como se mencionó anteriormente el efecto ensilaje reduciría la degradación del sustrato. Por otro lado, aunque la fracción “c” fue levemente inferior respecto al FF, igual tendió a aumentar, y como previamente se describió, lo asociamos con el aumento del contenido de lignina. Por tanto, el resultado final de todos estos cambios, fue una reducción importante en la DE. En contraposición con nuestros resultados, Peyrat et al. (2014), estudiando el efecto del ensilaje sobre la degradabilidad ruminal de la MS, fibra y proteína, observaron que la DE de la MS fue superior en el ensilaje de maíz que, en el forraje fresco, lo cual estuvo según los autores, relacionado con la fracción “a” la cual fue superior en el ensilaje de maíz. En contraposición, la fracción “b” fue menor en el ensilaje que en el forraje fresco y la “kd” tendió a ser menor. El almidón se degradó más rápido en el maíz ensilado que en el forraje fresco. La mayor degradabilidad de almidón en el ensilaje puede explicarse en parte por la hidrólisis parcial de la matriz proteica que encapsula los gránulos de almidón que se produce durante el proceso de fermentación del ensilaje (Peyrat et al. 2014). A su vez, Philippeau y Michalet-Doreau (1998), determinaron que el ensilado indujo un aumento de la degradabilidad ruminal *in situ* del almidón. Por lo tanto, el aumento en la degradabilidad de la MS y del almidón fue debido principalmente a una solubilización parcial de las proteínas de los granos de maíz, y la accesibilidad a los gránulos de almidón por los microorganismos ruminales podría ser determinada principalmente por las proteínas del endospermo. Por tanto, el aumento de la degradabilidad ruminal del almidón después de ensilaje se podría derivar en parte de la solubilización de las proteínas del endospermo durante fermentaciones en el ensilaje de la fracción rápidamente degradable. La desaminación que ocurre durante el ensilaje, resulta en un incremento de la solubilidad del silo. Este proceso es más extenso cuanto mayor sea el nivel de proteína. Esto explica una mayor fracción “a” (Foster et al., 2011).

En síntesis, la disminución de la DE en el ensilaje - sobre todo en embuche, floración y grano duro -, podría explicarse debido a que, tras el proceso de fermentación, se produce un descenso acusado en el contenido de azúcares solubles, hemicelulosa y almidón, y un aumento del contenido de FAD. Debido a que la FAD se compone principalmente de lignina y celulosa, que están pobremente digeridas, una mayor proporción de FAD lógicamente reduciría la degradabilidad ruminal de la MS. Por tanto, observando los trabajos de otros autores, es de esperar que en general el silo tenga menor DE que el forraje fresco independientemente del estado fenológico en que se cosechó.

7.2.2. Degradabilidad ruminal de la FND

Con el ensilaje, observamos que la DE de la FND disminuyó y lo hizo de forma más acusada respecto al forraje fresco. En concordancia con nuestro trabajo, Peyrat et al. (2014), estudiando los efectos del ensilado de maíz sobre la degradabilidad ruminal in situ y Maheri et al. (2012), observaron que la degradabilidad de la FND fue menor en el ensilaje respecto al forraje fresco. Además, Coblenz et al. (2000), reportan en las dos variedades de avena estudiadas, un descenso lineal y cuadrático. El efecto cuadrático se debe a un rápido descenso de la DE cuando el cultivo es más inmaduro, y a una menor respuesta después. Esto coincide con los resultados del forraje fresco. A su vez, los valores que reportan Coblenz et al. (2000) en todos los parámetros de degradabilidad ruminal son muy similares a los de nuestro trabajo.

En el presente estudio, observamos que el contenido de lignina y celulosa se mantuvo de igual valor que previo al ensilado, mientras que se redujeron significativamente los valores de hemicelulosa (214 vs. 188) respecto al forraje fresco para todos los estados fenológicos. La hemicelulosa (HC) es un polisacárido que forma parte de la fracción digestible de la FND. Esta, en el proceso de ensilaje, tiende a disminuir debido a que sufre una hidrólisis parcial junto a otros compuestos y en consecuencia se concentra la fibra, en este caso fibra ácido detergente (FAD). Debido a que la FAD se compone principalmente de lignina y celulosa, que están pobremente digeridas, una mayor proporción de FAD lógicamente reduciría la FND degradable en rumen (Hoffman et al., 1993). Por otro lado, si bien la HC se redujo en todos los estados fenológicos respecto al FF, ésta lo hizo de forma más acusada en los estados de grano pastoso y duro. Por lo tanto, podemos asociar este cambio al aumento del consumo de la misma por parte de las bacterias fermentadoras del silo, debido a que conforme avanza el estado fenológico, la disponibilidad de sustrato es menor. En síntesis, el descenso de HC dado en el ensilaje y la consecuente concentración proporcional de fracciones fibrosas no digestibles explicarían la menor DE de la FND respecto al forraje original.

Dado la reducción en los componentes de la pared celular del cultivo por las bacterias presentes en el silo, y la consecuente disminución de la degradabilidad del mismo, podríamos recomendar el uso de aditivos, de manera de corregir las mermas que sufren los nutrientes durante el procesado y conservando las características nutricionales de forma más similar al cultivo original.

8. CONCLUSIONES

El estado fenológico tuvo un efecto negativo sobre la cinética de la degradabilidad de la MS de planta entera de avena desde embuche a las etapas de grano duro, ya que, si bien el efecto del aporte de almidón en estados más tardíos tendió a compensar la DE, la misma continuó siendo notoriamente inferior respecto a los estados vegetativos. Respecto al ensilado, aumentó la fracción degradable, pero disminuyó la velocidad de degradación, siendo la DE inferior al FF en casi todos los estados fenológicos y disminuyendo de forma más acusada hacia los estados más tardíos.

Como implicancia de lo anterior, recomendaríamos cosechar la avena granífera en estados fenológicos más tempranos, concretamente entre la fase de floración y grano acuoso, de manera de aprovechar el punto óptimo de rendimiento y fibra de buena calidad. Tomando en cuenta lo anterior, durante el ensilaje podríamos recomendar el uso de aditivos u otras tecnologías, de manera de corregir las mermas que sufren los nutrientes durante el procesado y conservando las características nutricionales de forma más similar al cultivo original.

9. BIBLIOGRAFÍA

- 1) Arieli, A., Adin, G. (1994). Effect of wheat silage maturity on digestion and milk yield in dairy cows. *Journal of dairy science*, 77(1): 237-243.
- 2) Ali M., Cone J.W., Van Duinkerken G., Klop A., Kruisdijk J., Blok M.C., Bruinenberg M., Hendriks W.H. (2014). Relationship between chemical composition and in situ rumen degradation characteristics of grass silages in dairy cows. *NJAS - Wageningen J. Life Sci.* 70:9–15.
- 3) Ashbell, G., Weinberg, Z.G., Bruckental, I., Tabori, K., Sharet, N., (1997). Wheat silage: Effect of cultivar and stage of maturity on yield and degradability in situ. *J. Agric. Food Chem.* 45: 709–712.
- 4) Bal, M., Shaver, R., Shinnors, K., Coors, J., Lauer, J., Straub, R., Koegel, R., (2000). Stage of maturity, processing, and hybrid effects on ruminal in situ disappearance of whole-plant corn silage. *Anim. Feed Sci. Technol.* 86: 83–94. doi:10.1016/S0377-8401(00)00163-2
- 5) Balde, A.T., Vandersall, J.H., Erdman, R.A., Reeves, J.B., Glenn, B.P., (1993). Effect of stage of maturity of alfalfa and orchardgrass on in situ dry matter and crude protein degradability and amino acid composition. *Anim. Feed Sci. Technol.* 44: 29–43. doi:10.1016/0377-8401(93)90035-1
- 6) Battistotti, P. (2012). Lechería en Uruguay. Curso a Distancia para Profesionales sobre Nutrición de Rumiantes. Libertad, Agosto 2012.
- 7) Bergen, W. G., Byrem, T. M., Grant, A. L. (1991). Ensiling characteristics of whole-crop small grains harvested at milk and dough stages. *Journal of Animal Science*, 69(4): 1766-1774.
- 8) Chaves, A. V., Waghorn, G.C., Brookes, I.M., Woodfield, D.R., (2006). Effect of maturation and initial harvest dates on the nutritive characteristics of ryegrass (*Lolium perenne* L.). *Anim. Feed Sci. Technol.* 127: 293–318. doi:10.1016/j.anifeedsci.2005.08.015
- 9) Cherney, H., Marten, G.C., Goodrich, R.D., (1983). Rate and Extent of Cell Wall Digestion of Total Forage and Morphological Components of Oats and Barley. *Crop Sci.* 23: 213–216.
- 10) Chilibroste P., 2015. Carga o Productividad individual? ¿Pasto o concentrado? Mitos y realidades en la intensificación de los sistemas de producción de leche de Uruguay. XLIII Jornadas Uruguayas de Buiatría. Paysandú, Uruguay. 158– 162.
- 11) Coblenz, W.K., Coffey, K.P., Turner, J.E., Scarbrough, D.A., Weyers, J.S., Harrison, K.F., Johnson, Z.B., Daniels, L.B., Rosenkrans, C.F., Kellogg, D.W., Hubbell, D.S., (2000). Effect of maturity on degradation kinetics of sod-seeded cereal grain

forage grown in northern Arkansas. *J. Dairy Sci.* 83: 2499–2511. doi:10.3168/jds.S0022-0302(00)75142-3

12) Coblenz, W.K., Fritz, J.O., Fick, W.H., Cochran, R.C., Shirley, J.E., (1998). In Situ Dry Matter, Nitrogen, and Fiber Degradation of Alfalfa, Red Clover, and Eastern Gamagrass at Four Maturities. *J. Dairy Sci.* 81, 150–161.

13) Coblenz, W.K., Walgenbach, R.P., (2010). In situ disappearance of dry matter and fiber from fall-grown cereal-grain forages from the north-central United States. *J. Anim. Sci.* 88: 3992–4005. doi:10.2527/jas.2010-3148

14) De Blas C., González G., Argenteria A. (1986). *Nutrición y Alimentación del Ganado*, Madrid, Ed. Mundi-Prensa, 451p.

15) Díaz J.E. (2012). Informe de resultados para empresas semilleras interesadas en el licenciamiento de la variedad de avena granífera LEA 1. Mejoramiento Genético de Cebada y Avena granífera. INIA.

16) DIEA (2015). Anuario Estadístico Agropecuario. Disponible en: <http://www.mgap.gub.uy/unidad-ejecutora/oficina-de-programacion-y-politicas-agropecuarias/publicaciones/anuarios-diea/anuario2015>. Fecha de consulta: 12/12/16

17) Elizalde, J.C., Merchen, N.R., Faulkner, D.B., (1999). In situ dry matter and crude protein degradation of fresh forages during the spring growth. *J. Dairy Sci.* 82: 1978–90. doi:10.3168/jds.S0022-0302(99)75434-2

18) Fariña, S. (2016). Nuestros sistemas en el contexto actual y futuro Instituto Nacional de Investigación Agropecuarias. Jornada INIA-FUCREA, Uruguay. Disponible en: <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/6144/1/Farina-FUCREA-INIA-Sistemas-junio-2016.pdf>. Fecha de consulta: 24/11/16

19) Filya, I., (2003). Nutritive value of whole crop wheat silage harvested at three stages of maturity. *Anim. Feed Sci. Technol.* 103: 85–95. doi:10.1016/S0377-8401(02)00284-5

20) Foster, J.L., Carter, J.N., Sollenberger, L.E., Blount, a R., Myer, R.O., Maddox, M.K., Phatak, S.C., Adesogan, a T., (2011). Nutritive value, fermentation characteristics, and in situ disappearance kinetics of ensiled warm-season legumes and bahiagrass. *J. Dairy Sci.* 94: 2042–50. doi:10.3168/jds.2010-3800

21) Garnsworthy, P. C., & Stokes, D. T. (1993). The nutritive value of wheat and oat silages ensiled on three cutting dates. *The Journal of Agricultural Science*, 121(2), 233-240.

22) González, J., Faría-Mármol, J., Rodríguez, C. A., & Martínez, A. (2007). Effects of ensiling on ruminal degradability and intestinal digestibility of Italian rye-grass. *Animal feed science and technology*, 136(1), 38-50.

- 23) Hadjipanayiotou, M., Antoniou, I., Theodoridou, M., Photiou, A., (1996). In situ degradability of forages cut at different stages of growth. *Livest. Prod. Sci.* 45: 49–53. doi:10.1016/0301-6226(95)00087-9
- 24) Hargreaves, A., Hill, J., Leaver, J. D. (2009). Effect of stage of growth on the chemical composition, nutritive value and ensilability of whole-crop barley. *Animal Feed Science and Technology*, 152(1): 50-61.
- 25) Hristov, A., Broderick, G. A. (1994). In vitro determination of ruminal protein degradability using [15N] ammonia to correct for microbial nitrogen uptake. *Journal of Animal Science*, 72(5), 1344-1354.
- 26) Hoffman, P.C., Sievert, S.J., Shaver, R.D., Welch, D.A., Combs, D.K., (1993). In Situ Dry Matter, Protein, and Fiber Degradation of Perennial Forages. *J. Dairy Sci.* 76: 2632–2643. doi:10.3168/jds.S0022-0302(93)77599-2
- 27) Hoover, W.H., (1986). Chemical factors involved in ruminal fiber digestion. *J. Dairy Sci.* 69: 2755–66. doi:10.3168/jds.S0022-0302(86)80724-X
- 28) INALE (2014). Primeros resultados de la Encuesta Lechera. Disponible en <http://www.inale.org/innovaportal/v/4086/4/innova.front/primeros-resultados-de-la-encuesta-lechera-inale-2014.html>. Fecha de consulta: 8/9/15
- 29) INIA-INASE (2012). RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LA EVALUACIÓN NACIONAL DE CULTIVARES DE ESPECIES FORRAJERAS Anuales, Bianuales y Perennes. La Estanzuela, Uruguay. Disponible en http://www.inia.org.uy/convenio_inase_inia/PubForrajeras2011.pdf. Fecha de consulta: 5/6/15
- 30) Irigoyen, A. (2011). RELEVAMIENTO NACIONAL DE RESERVAS FORRAJERAS Y CARACTERIZACIÓN DE SU USO EN ESTABLECIMIENTOS COMERCIALES. Disponible en [http://www.planagropecuario.org.uy/uploads/libros/19_fpta119_\(1\).pdf](http://www.planagropecuario.org.uy/uploads/libros/19_fpta119_(1).pdf). Fecha de consulta: 24/11/16
- 31) Jacobs, J. L., Hill, J., Jenkin, T. (2009). Effect of stage of growth and silage additives on whole crop cereal silage nutritive and fermentation characteristics. *Animal Production Science*, 49(7): 595-607.
- 32) Keim, J.P., Valderrama, X., Alomar, D., López, I.F., (2013). In situ rumen degradation kinetics as affected by type of pasture and date of harvest. *Sci. Agric.* 405–414. doi:10.1590/S0103-90162013000600005
- 33) Leborgne, R. (1998). Cambios en los sistemas de producción lechera en Uruguay. En: *Jornadas de alimentación en la producción lechera*. Nueva Helvecia, Colonia, setiembre 1998.
- 34) Maheri-Sis, N., Taher-Maddah, M., Salamatdoustnobar, R., & Ahmadzadeh, A. (2012). Estimating fermentation characteristics and nutritive value of ensiled and dried pomegranate seeds for ruminants using in vitro gas production technique. *Open veterinary journal*, 2(1), 40-45.

- 35) McDonald P., Greenhalgh J.F.D., Morgan C.A., Edwards R.A., Sinclair L.A., Wilkinson R.G. (2011). *Animal Nutrition*. Ed. Pearson 7^a ed. Canadá, USA.
- 36) Mertens D.R., Allen M., Carmany J., Clegg J., Davidowicz A., Drouches M., Frank K., Gambin D., Garkie M., Gildemeister B., Jeffress D., Jeon C.S., Jones D., Kaplan D., Kim G.N., Kobata, S., Main D., Moua X., Paul B., Robertson J., Taysom D., Thieux N., Williams J., Wolf M. (2002). Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds with refluxing in beakers or crucibles: Collaborative study. *J. AOAC Int.* 85:1217–1240.
- 37) Mustafa, A. F., Seguin, P., Ouellet, D. R., & Adelye, I. (2002). Effects of cultivars on ensiling characteristics, chemical composition, and ruminal degradability of pea silage. *Journal of dairy science*, 85(12), 3411-3419.
- 38) Mustafa, a. F., Seguin, P., (2003). Effects of stage of maturity on ensiling characteristics and ruminal nutrient degradability of oat silage. *Arch. Anim. Nutr.* 57: 347–358. doi:10.1080/00039420310001607707
- 39) Ørskov, E. R., McDonald, I. (1979). The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *The Journal of Agricultural Science*, 92(2): 499-503.
- 40) Peyrat, J., Nozière, P., Le Morvan, A., Férard, A., Protin, P.V., Baumont, R., (2014). Effects of ensiling maize and sample conditioning on in situ rumen degradation of dry matter, starch and fibre. *Anim. Feed Sci. Technol.* 196: 12–21. doi:10.1016/j.anifeedsci.2014.06.017
- 41) Philippeau, C., Michalet-Doreau, B., (1998). Influence of genotype and ensiling of corn grain on in situ degradation of starch in the rumen. *J. Dairy Sci.* 81: 2178–84. doi:10.3168/jds.S0022-0302(98)75796-0
- 42) Sarmadi, B., Rouzbehan, Y., Rezaei, J., 2016. Influences of growth stage and nitrogen fertilizer on chemical composition, phenolics, in situ degradability and in vitro ruminal variables in amaranth forage. *Anim. Feed Sci. Technol.* 215: 73–84. doi:10.1016/j.anifeedsci.2016.03.007
- 43) Seguin, P., Mustafa, A. F., Donnelly, D. J., & Gélinas, B. (2013). Chemical composition and ruminal nutrient degradability of fresh and ensiled amaranth forage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(15), 3730-3736.
- 44) Smith, L. W., Goering, H. K., & Gordon, C. H. (1972). Relationships of forage compositions with rates of cell wall digestion and indigestibility of cell walls. *Journal of Dairy Science*, 55(8): 1140-1147.
- 45) Van Vuuren, A. M., Calsamiglia, S., & Udén, P. (2012). Rumen health: a 360 analysis. *Animal Feed Science and Technology*, 172(1): 1-3.
- 46) Waldo, D. R., Smith, L. W., & Cox, E. L. (1972). Model of cellulose disappearance from the rumen. *Journal of Dairy Science*, 55(1): 125-129.

47) Weinberg, Z. G., Ashbell, G., Hen, Y., & Harduf, Z. (1991). Ensiling whole wheat for ruminant feeding at different stages of maturity. *Animal Feed Science and Technology*, 32(4): 313-320.

48) Wilson P.N, Brigtocke T.D.A [1987]. *Avances en la alimentación de vacuno y ovino*, Zaragoza, Ed. Acribia, 272p.

49) Yu, P., Christensen, D.A., McKinnon, J.J., 2004. In situ rumen degradation kinetics of timothy and alfalfa as affected by cultivar and stage of maturity. *Can. J. Anim. Sci.* 84: 255–263. doi:10.4141/A03-116

50) Zadoks, J. C., Chang, T. T., & Konzak, C. F. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed research*, 14(6), 415-421.

