

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE VETERINARIA**

**EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DEL ESTADO DE MADUREZ SOBRE LA
COMPOSICIÓN QUÍMICA DE AVENA SATIVA VARIEDAD CANTARAPARA LA
ELABORACIÓN DE ENSILAJE DE PLANTA ENTERA**

“por”

BELTRÁN GANDINI, Hugo Alberto
BERNARDI CORREA, Gustavo Fabián

TESIS DE GRADO presentada como uno
de los requisitos para obtener el título de
Doctor en Ciencias Veterinarias
(Orientación Producción Animal, Bloque
Rumiantes)

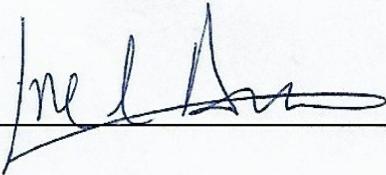
MODALIDAD: Ensayo experimental

MONTEVIDEO
URUGUAY
2019

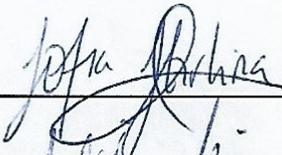
PAGINA DE APROBACIÓN

Tesis de grado aprobada por:

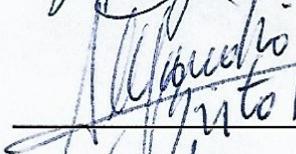
Presidente de mesa (Ing. José Arroyo):



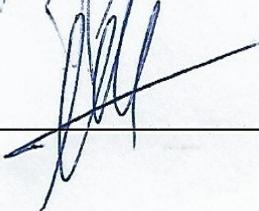
Segundo miembro (Dra. Sofia Stirling):



Tercer miembro (Dr. Alejandro Britos):



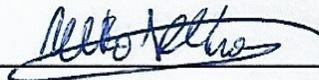
Cuarto miembro (Dra. Cecilia Cajaville):



Fecha: 26/02/2019

Autores:

Br. Alberto BELTRÁN GANDINI



Br. Fabián BERNARDI CORREA



AGRADECIMIENTOS

A Sofía Stirling y Cecilia Cajarville por hacer posible este trabajo.

A Analía Pérez-Ruchel, Alejandro Britos, Sebastián Brambillasca por ayudarnos enormemente en la realización de análisis y búsqueda de materiales.

A Marcelo Pla y personal de INIA La Estanzuela por poner a nuestra disposición todas las herramientas necesarias para las tareas de campo.

A Facultad de Agronomía, por permitirnos usar sus instalaciones para realizar la molienda de materiales usados en el experimento.

A laboratorio LABRUMEN de la Universidad Federal de Santa María (UFESM), Brasil, por permitirnos usar sus instalaciones.

A nuestras familias y amigos por acompañarnos en todo momento.

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	3
TABLA DE CONTENIDO.....	4
ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS.....	5
LISTA DE ABREVIATURAS.....	6
RESUMEN.....	7
SUMMARY.....	8
1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES.....	9
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	11
3. HIPÓTESIS.....	14
4. OBJETIVO.....	14
4.1 Objetivo general.....	14
4.2 Objetivos particulares.....	14
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
5.1. Implantación del cultivo.....	15
5.2. Determinaciones.....	16
5.3. Análisis estadístico.....	16
6. RESULTADOS.....	17
7 . DISCUSIÓN.....	18
8 .CONCLUSIONES.....	20
9 .REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	21
10 ANEXO.....	27

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1: Composición química de la planta de *Avena Sativa*, variedad Cantara, en seis estados de madurez (Z45-Z91) _____ 17

Figura 1: Esquema del diseño de bloques completos al azar utilizados en el experimento. Panoja embuchada (Z45), floración (Z59), grano acuoso (Z69), grano lechoso (Z73), grano pastoso (Z83) y grano duro (Z90). _____ 15

Figura 2: Esquema de la cronología de la cosecha desde la siembra (ANEXO) ____ 27

Figura 3: Composición química en los seis estados de madurez expresados en días desde la siembra (ANEXO) _____ 28

LISTA DE ABREVIATURAS

MS: Materia seca

PB: Proteína bruta

PS: Proteína soluble

HC: Hemicelulosa

FAD: Fibra ácido detergente

FND: Fibra neutrodetergente

ADIN: Nitrógeno insoluble en detergente ácido

NDIN: Nitrógeno insoluble en detergente neutro

TMR: Raciones Totalmente Mezcladas

INIA: Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria

AS: Azúcares solubles

CB: Capacidad buffer

LAD: Lignina ácido detergente

HC: Hemicelulosa

RESUMEN

Cambios en la alimentación animal sobre todo en el sector lechero de Uruguay, requieren de alternativas forrajeras para la elaboración de ensilajes. El presente trabajo estudió los efectos del estado de madurez sobre la composición química de una variedad de avena granífera (*Avena sativa* var. *Cantara*) la cual presentó excelentes resultados agronómicos en una serie de cultivares evaluados en INIA La Estanzuela. La avena se cosechó en seis estados de madurez: panoja embuchada, floración, grano acuoso, lechoso, pastoso y duro (estados Z45, 59, 69, 73, 83, y 91 respectivamente). Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres réplicas por estado de madurez totalizando 9 muestras por cada uno. El forraje cosechado en estados de madurez temprana (panoja embuchada y floración) se caracterizó por bajos contenidos de materia seca (MS), fibra ácido y neutro detergente (FAD y FND) y lignina, alto contenido de proteína bruta (PB) y azúcares solubles (AS). Este forraje presentó una excelente calidad nutricional, sin embargo, los cortes en estados de madurez temprana podrían comprometerla conservación y el rendimiento del ensilaje. El forraje cosechado en estados más avanzados (grano lechoso y pastoso), se caracterizaron por un mayor contenido de FAD, FND y lignina, reduciéndose por tanto la calidad del mismo, pero sin embargo, presentó valores de MS y Capacidad Buffer (CB), más adecuados para un correcto ensilado. La cosecha en (grano duro), se caracterizó por un material con elevado contenido de almidón, pero con una fibra de peor calidad debido principalmente al alto contenido en lignina. El elevado contenido de MS y bajo contenido de AS de la avena en grano duro, hacen que no sea apta para un adecuado ensilaje. Este trabajo se orienta al estudio de esta nueva variedad de avena granífera como alternativa a otros forrajes existentes, orientando al productor a la toma de decisiones en una búsqueda de equilibrio entre calidad, conservación y rendimiento.

SUMMARY

Changes in animal feed, especially in the dairy farms, require different alternatives of supplement to produce silage. The states of maturity effects were studied according to the chemical composition of granular oat. (*Avena Sativa Var. Cantara (LEA 1)*) Many crops were analysed by INIA La Estanzuela, presenting excellent agronomic results. The oat was harvested in six stages of maturity: booting, inflorescence emergence, anthesis, milk development, dough development and ripening (states Z45, Z59, Z69, Z73, Z83, and Z91 respectively). A design of complete blocks with three replicates in different stages of maturity chosen at random were used, nine samples each, altogether. The cuttings in early maturity stages (booting and inflorescence emergence) were characterized by low contents of MS, FAD, FND, Lignin, and high contents in PB and soluble sugars indicating materials of excellent nutritional quality but endangering the conservation and performance of the silage. As the plant cycle progresses (anthesis, milk development and dough development), it begins to become more fibrous and reduces its quality, but with more suitable values of Ms and CB for a correct silage. We noticed that despite the plant loss of quality while its maturity stages increase, the nutritional support of the grain in these stages increase the same in the total of the material. When ripening the quality of the oat plant, although it has a high percentage of grain, it is lower due mainly to the high contents in lignin, being also an inadequate material for the silage conservation. This work has been done to study this new variety of granífera oats as an alternative to other just existing forages, guiding the producer to take the best decision when searching for a balance between quality and performance in animal feed.

1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

Desde hace varios años, se está dando un proceso de intensificación en la productividad agropecuaria de nuestro país, tanto en la producción agrícola, como en la producción animal. El sector en el que más se han observado cambios es el lechero, el cual desde el período 2006/2007 al 2013/2014 aumentó su producción en un 42%, mientras que la superficie ocupada por el mismo cayó un 9,2% (DIEA, 2015). Estos datos muestran una intensificación del sector, el cual creció vertiginosamente, principalmente debido a un aumento de producción por unidad de superficie (litros/ha). En el período 2015/2016, la producción láctea disminuyó en un 8,7%, pero manteniéndose la misma tendencia a la baja de la superficie ocupada por el sector (DIEA, 2017). Pese a la competencia de los establecimientos lecheros por el recurso suelo principalmente con la agricultura, en este periodo los mismos, no mejoraron en su competitividad en el uso de la tierra, por lo tanto, lo que explica este aumento de producción, es un cambio en la alimentación de los rodeos, principalmente por un incremento de la suplementación con concentrados (Fariña, 2016).

La aplicación de nuevas tecnologías en reproducción, como el caso de la inseminación artificial, trasplante de embriones, fertilización *in vitro*, etc., agregado a la introducción de genética proveniente de América del Norte (Meikle, 2010), ha causado un rápido avance de la genética del ganado lechero uruguayo, logrando animales de muy alta producción. Paralelamente, la capacidad de consumo de los animales no ha aumentado en forma proporcional al aumento de la producción de leche, por lo que, para hacer frente a los mayores requerimientos de nutrientes, es que ha sido necesario incrementar la concentración de éstos en la dieta, particularmente la energía (Eastridge, 2006). Esto obliga, a los productores a complementar su base forrajera con suplementos de concentrados, así como a realizar encierros parciales o permanentes para la administración de los mismos. Para ello es crucial un correcto equilibrio de las dietas, aportando a los animales los requerimientos necesarios para una alta producción, cuidando de no provocar enfermedades, como es el caso de la acidosis, hipocalcemias, cetosis, hipomagnesemia, etc. La suplementación aparece como un complemento para lograr una mayor producción, más eficiente y segura y se define como una forma de cubrir (total o parcialmente), las deficiencias que en determinadas circunstancias puede presentar un recurso forrajero básico (Astigarraga, 2008).

Debido a estos avances, los ensilajes se han posicionado como uno de los principales componentes de las dietas. El ensilaje es el proceso de conservación del forraje basado en la fermentación anaeróbica de los azúcares disponibles, con generación de ácido láctico, disminución del pH, inhibición de la fermentación clostridial y mantenimiento por ende de las propiedades físico químicas logradas (Mc Donald, 1999). El objetivo es conservar el valor nutritivo de la planta verde, a través de distintos procesos químicos y biológicos que se producen en el material ensilado. En estos procesos, se producen pérdidas de efluentes (escurrimiento de líquidos), destrucción de la proteína verdadera y fermentación de los azúcares solubles (AS), entre otros componentes. Es importante aclarar, que no existe ningún tipo de conservación que mejore la calidad del forraje verde original, de ahí la importancia de cuidar todo el proceso enzimático-fermentativo con el objetivo de alcanzar un ensilaje de alta calidad (Fernández, 1999).

Tanto en los establecimientos lecheros como en los ganaderos, principalmente en encierros comerciales, los ensilajes se han convertido en alimentos claves debido a que son una buena fuente de fibra, tanto de fibra digestible como de fibra efectiva. Ésta última cumple un rol muy importante en el equilibrio de las dietas de animales de gran desempeño, los cuales consumen altos niveles de concentrados, siendo un claro ejemplo de esto las raciones totalmente mezcladas o TMR (Mendoza et al., 2010). En este contexto, los ensilajes forman parte estructural de las dietas, lo cual requiere una planificación cuidadosa de todos los procesos, desde la elección de la variedad, hasta la cosecha y confección del mismo (Irigoyen et al., 2011). Según Irigoyen et al., (2011) en Uruguay, los ensilajes representan el 21% del total de reservas realizadas, un 86% corresponde a cultivos de verano (maíz y sorgos en sus diferentes variedades), un 11% corresponde a leguminosas y finalmente un 3% corresponde a cultivos de invierno; cebada cervecera (*Hordenum vulgare*), trigo (*Triticum spp*) seguido por las avenas forrajeras de ciclo largo que son las especies más comercializadas (*Avena byzantina* y *Avena strigosa*). En cuanto a las avenas graníferas (*Avena sativa*), se carece de información para su uso en ensilados. En respuesta a esto INIA La Estanzuela evaluó por varios periodos una serie de cultivares englobados en un programa de mejoramiento genético, seleccionandola variedad que presentó mejor desempeño en cuanto a características agronómicas: *Avena Sativa variedad Cantara (LEA 1)*. Se trata de una línea experimental generada en Louisiana, Estados Unidos, introducida a Uruguay en 2008. Es una avena granífera de ciclo intermedio, con una altura poco superior al metro, con excelente caña y sin riesgo de vuelco (Díaz, 2013). Según el ensayo de sus características se destaca:

- Alto rendimiento de grano comparado con sus competidores comerciales, llegando a un rendimiento promedio de 5.762 kg/ha.
- Posibilidad de una siembra temprana (primeros días de mayo) que se extiende hasta fines de junio, dando un amplio margen para su utilización lográndose cosechas entre los primeros días de noviembre o en la segunda quincena del mismo mes respectivamente.
- Excelente peso electrolítico, lo que facilita mercados de exportación debido a que es un requisito importante para las mismas.
- Excelente comportamiento para roya de la hoja (agente causal *Puccinia coronata*) y un comportamiento muy aceptable para roya de tallo (agente causal *Puccinia graminis f. sp. Avenae*).

Desde la producción animal se mira a esta variedad como una excelente alternativa para la elaboración de ensilaje de planta entera; pero se carece de información sobre las ventajas y desventajas para la realización del mismo, así como el momento óptimo de corte, que logre los máximos rendimientos equilibrados con una buena calidad, en cuanto a conservación, digestibilidad, concentración de nutrientes, entre otros.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

La interrelación de materia seca (MS), azúcares solubles (AS) y capacidad buffer (CB) de la planta, es la característica más importante a tener en cuenta para un correcto ensilaje, pues determinará el tipo de fermentación que conservará las propiedades del mismo (Elizalde et al., 1996). Esto influirá sobre el valor nutritivo, que está determinado principalmente por la composición del forraje al momento de la cosecha y por las modificaciones químicas que toman lugar durante el proceso de ensilado (Mier, 2009). En primera instancia, esta revisión abordará los componentes químicos del forraje que tienen influencia sobre la conservación del silo: el contenido de MS, AS, y la CB. En segunda instancia se referirá a los componentes químicos indicadores de la calidad del mismo: cenizas, proteína bruta (PB), proteína soluble (PS), fibra neutro detergente (FDN), fibra ácido detergente (FDA), hemicelulosa (HC), lignina y almidón.

Los forrajes cosechados en estados de madurez temprana, por ende, con bajo contenido de azúcares y altos en proteína, producen una cantidad de ácido láctico, insuficiente para evitar el desarrollo de clostridios responsables de fermentaciones secundarias que transformarán el ácido láctico en butírico (Wilkinson et al., 1976). El contenido de MS del material ensilado es frecuentemente la principal limitante de la preservación satisfactoria del forraje. Niveles muy bajos de humedad, dificultarán la compactación rápida de la masa ensilada, mientras que excesos serán un obstáculo sobre el proceso de fermentación y acidificación del material, favoreciendo la intervención de microorganismos poco deseables en la fermentación (Romero, 2004). Al mismo tiempo, el exceso de humedad producirá la pérdida de grandes cantidades de efluente, lo cual acarrea potenciales problemas ambientales (Gebrehanna et al., 2014). Este líquido exudado por el silo arrastra nutrientes de alta calidad, como carbohidratos, PS, ácidos orgánicos y minerales; éstos al llegar a cursos de agua son rápidamente consumidos por microorganismos causando el agotamiento del oxígeno disuelto, por ende, la muerte de organismos acuáticos (Pichard y Cussen, 1994). Un punto a tener en cuenta es el bajo rendimiento de los silos confeccionados con forraje cosechado en estadios más tempranos, lo que hace que la relación costo beneficio no sea tan adecuada, por lo que en ocasiones se tiende a retrasar el momento de cosecha. Adelantar la fecha de corte, no siempre garantiza una mejor respuesta animal, pues el contenido del grano diluye la pérdida nutricional de la planta (Khorasani et al., 1993). En este sentido, Bergen et al., (1991) estudiando las características de ensilaje planta entera de trigo, cebada y avena recomiendan la cosecha en estado de madurez grano pastoso, debido a un mayor rendimiento de la MS y excelente conservación. Así es que (Jacobs et al., 2009), estudiando el efecto del estado de madurez sobre las características nutritivas y de fermentación del ensilaje de trigo, avena y triticale, destacan el potencial de estos forrajes para producir ensilaje de planta entera, debido al alto rendimiento alcanzado. Además, concluyen que, en todos los estados se consiguió una buena preservación del ensilaje, y que la elección del momento de corte va a estar dictada por factores como la búsqueda del equilibrio entre rendimiento y valor nutritivo, así como el deseo de maximizar el rendimiento del próximo cultivo.

Por otro lado, los azúcares solubles de la planta constituyen el sustrato nutricional del cual depende primordialmente la acción de la microflora fermentativa del forraje. En consecuencia, en la medida que el contenido de azúcares del forraje sea mayor, más rápido y eficiente será el proceso de ensilado (Elizalde et al., 1996). Normalmente se requiere un mínimo de 60 a 80g/kgMS de AS, para una apropiada fermentación en el ensilaje (Fisher y Burns, 1987). El contenido de los mismos en las

plantas depende del tipo de pastura, de las condiciones del cultivo, así como las ambientales (Alaniz, 2008). Fernández et al. (2009) afirman que a medida que la planta va creciendo y avanzando en su madurez los AS se acumulan, principalmente, en los tallos y de esa forma incrementa la concentración energética del forraje. Este fenómeno ocurre hasta la floración, de ahí en adelante se produce un fuerte descenso de estos azúcares, ya que se polimerizan en almidón para ser componente de los granos. Algunos trabajos consideran el estado de embuche como el momento óptimo para ensilar avena, tanto para obtener una adecuada fermentación del ensilaje (Hill et al., 1958), como para obtener una adecuada fermentación de los nutrientes y producción de leche (Martz et al., 1959). Sin embargo, McCullough et al., (1958), encontraron una óptima preservación de los nutrientes y valor alimenticio cuando el ensilaje fue hecho en el estado de prefloración y donde se da normalmente un pico de AS acumulados en la planta, la cual se prepara para generar el grano.

La capacidad buffer también es importante en el proceso de ensilaje, y se define como la resistencia que presenta la planta a las variaciones de pH. Depende básicamente, de la composición de la planta en cuanto a PB, iones inorgánicos (Ca, K, Na) y la combinación de ácidos orgánicos (Jobim et al., 2007). Al aumentar la edad de la planta, se incrementa la proporción tallo/hoja, con lo cual los procesos metabólicos disminuyen. Como consecuencia, se reduce el contenido de ácidos orgánicos, lo que lleva a un descenso de la CB con la maduración (De la Roza, 2005). Cuanto mayor sea la CB, más difícil será lograr el pH óptimo de 4,0 en el silo, debido a una baja producción de ácido láctico y se necesitará una mayor cantidad de AS para poder proporcionar dicho ácido láctico (Cañete y Sancha, 1998). En síntesis, según los autores citados anteriormente, para que se produzca una adecuada fermentación durante el proceso de ensilaje, es importante que el forraje contenga entre 260 a 270 g/kg de MS; AS entre 60 a 80 g/kgMS y una CB que no supere los 280 meq/kgMS.

En lo que respecta a los componentes químicos que se refieren a la calidad de un forraje, el contenido de minerales es muy variable ya que depende del tipo de planta, del tipo y propiedades del suelo, de las cantidades y distribuciones de las precipitaciones. El valor de cenizas totales estima las proporciones de compuestos inorgánicos que presenta la planta (Trujillo y Uriarte, 2003), siendo valores superiores al 10% indicativo de la contaminación con tierra (Acosta, 2002). Por otro lado, el contenido de PB en el ensilaje es un parámetro de alta dependencia con la composición botánica y el estado de madurez del material ensilado (Acosta, 2002). Se sabe que las fermentaciones normales (pH final, en el entorno de 4,0 a 4,4), pueden hidrolizar las proteínas hasta en un 50% del total inicial del material utilizado (Mc Donald y Whittenbury, 1973). En este sentido Acosta, (2002), afirma que solo materiales cosechados en estado vegetativo podrían lograr un ensilado de alto valor proteico. En este sentido, para obtener un ensilaje con elevados niveles de proteína, alta digestibilidad y bajos niveles de fibra cruda, Thurmanet al., (1957) recomienda cosechar la avena entre panoja embuchada y grano lechoso.

Desde el punto de vista químico, la fibra es un agregado de componentes que no constituyen una entidad propia, y que se compone de un entramado tridimensional de celulosa, HC y lignina, y frecuentemente se le asocian minerales y otros componentes (Van Soest, 1982). La FDN, es el material insoluble en una solución detergente neutra, y se compone de celulosa, HC y lignina. Mientras que la FDA, es el material insoluble en una solución detergente ácida, y está constituida fundamentalmente por celulosa y lignina (Calsamiglia, 1997). Materiales con altos contenidos de fibra llenan más rápido el rumen, afectando la capacidad de consumo, por ende, bajos niveles de FDN serían

deseables en un ensilaje para maximizar la ingestión de MS (Ramírez et al., 1999). La lignina, es un compuesto que cumple importantes funciones estructurales para la planta y que carece de valor nutritivo para el animal porque es totalmente indigestible (McDonald, 1999). Ejerce un efecto negativo directo sobre la digestión total y un efecto indirecto a consecuencia de impedimentos físicos que limita el acceso de las bacterias a las zonas degradables de la fibra. Este efecto indirecto es más evidente en las gramíneas que en las leguminosas, pues tienen un mayor contenido de ácidos fenólicos (dan rigidez a la estructura de la planta) (Van Soest, 1968). Realizando una evaluación de la calidad nutricional de diferentes estados de madurez del cultivo de avena, Fernández et al., (2008) encontró que los niveles de FDN y FDA, tienen una alta correlación con el de lignina. Destaca que a medida que avanza la madurez del cultivo, se incrementan los niveles de estos 3 parámetros químicos, llegando hasta la floración plena a valores muy adecuados para obtener altas producciones, tanto de carne como de leche (48,10%; 24,75% y 2,47% para FDN, FDA y lignina respectivamente). A todo esto, Dumont et al., (2003) destaca que la disminución de la digestibilidad con la madurez es aún más acentuada que el aumento de fibra, siendo la acumulación de grano insuficiente para contrarrestar el efecto negativo de este incremento. Lo anteriormente descrito sugiere que se deben evitar los cortes tempranos asociados a un elevado contenido de agua, y los muy tardíos ligados a una digestibilidad excesivamente baja. Para finalizar, en cuanto al almidón (principal polisacárido de reserva), se destaca su bajo contenido en etapas tempranas de madurez de la planta (embuche y floración) para luego de este último aumentar rápidamente debido a la formación del grano (Fernández et al., 2008).

Numerosos trabajos estudiaron el estado de madurez en diferentes cereales de invierno. En este sentido, Filya et al., (2003), recomiendan la cosecha del trigo en estado de grano pastoso, por máxima degradabilidad de la MS y rendimientos de degradación de FDN. Gallardo, (2010) también recomienda el ensilado en estado de grano pastoso debido a un mayor equilibrio del material obtenido no solo en cuanto a conservación, también en valor nutricional, destacando su uso en vacas lecheras en período de transición. Estudiando el efecto del estado de madurez sobre la composición química y el valor nutritivo de ensilaje de planta entera de cebada Hargreaves et al., (2009), observaron que en panoja embuchada se alcanza un moderado a alto valor nutritivo al contrario del rendimiento que se vuelve más bajo. Sin embargo, en estado de grano pastoso se puede asegurar un buen volumen de reservas. Stallcup y Horton, (1957) recomiendan que, para obtener ensilaje de planta entera de avena con elevado valor nutritivo, la planta debe ser cosechada en estado de grano lechoso. Fernández et al., (2008) determinaron que, para animales de altos requerimientos, como es el caso de vacas lecheras de alta producción y terneros en plena etapa de crecimiento, el momento de corte que permite mejores resultados es en panoja embuchada; mientras que para categorías de más bajos requerimientos recomienda, como límite máximo de cosecha en grano pastoso, pues en estados posteriores de madurez obtendremos materiales de muy baja calidad que no compensan los costos del producto.

El presente trabajo tiene como objetivo la evaluación de la composición química de la *Avena sativa* variedad *Cantara LEA 1*, en seis estados diferentes de madurez, lo que permitirá un mayor conocimiento de esta nueva variedad, ayudando a la toma de decisiones para elegir el momento adecuado de ensilado según las características productivas buscadas.

3. HIPÓTESIS

El estado de madurez que va a presentar mejores resultados en cuanto al contenido de componentes químicos relevantes en la conservación y calidad nutricional del ensilaje realizado con *Avena sativa variedad Cantara LEA 1* se encontrará entre grano lechoso y grano pastoso.

4. OBJETIVO

4.1 Objetivo general

Evaluar los efectos del estado de madurez sobre la composición química del cultivo de *Avena sativa variedad Cantara* para orientar a la toma de decisión en el momento de realizar un ensilado de planta entera.

Este objetivo general se enmarca dentro de un proyecto de investigación más amplio en el que se evalúa los efectos de dichos estados sobre la composición química, conservación, y aprovechamiento ruminal del cultivo y de los respectivos ensilajes de planta entera elaborados con dicha variedad.

4.2 Objetivos particulares

1. Evaluar el efecto del estado de madurez sobre los componentes químicos del forraje que tienen influencia sobre la conservación del silo: el contenido de materia seca, azúcares solubles y la capacidad buffer.
2. Evaluar el efecto del estado de madurez sobre los componentes químicos del forraje que tendrán impacto sobre la calidad nutricional del ensilaje: cenizas, proteína bruta, proteína soluble, fibra neutro detergente, fibra ácido detergente, hemicelulosa, lignina y almidón.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Implantación del cultivo

Se partió de un cultivo de *Avena Sativa* variedad Cantara, sembrado el 4 de junio de 2013 en la Unidad de Lechería INIA La Estanzuela ubicada en ruta 50 km 11, Colonia. La siembra fue realizada sobre un suelo de tipo Brunosol Eutrico típico LAcv (*Suelos INIA La Estanzuela, Unidades de mapeo*) a una densidad de siembra de 100 kg/ha, con fertilizaciones previo análisis de suelo y control de malezas y plagas utilizando el siguiente manejo de chacra:

- 3 aplicaciones de glifosato pre-siembra (4 L/ha, 2 L/ha, 2 L/ha)
- Fertilización a la siembra: 18 kg N/ha y 46 kg P/ha.
- Re-fertilización: 23 y 46 kg N/ha (urea) 62 y 93 días postsiembra.
- Control de malezas: 25 g/ha Clorsulfurón.

La avena fue cosechada en 6 estados de madurez: panoja embuchada (Z45), floración (Z59), grano acuoso (Z69), grano lechoso (Z73), grano pastoso (Z83) y grano duro (Z90) (Zadoks et al., 1974) que corresponden a los días 125, 132, 139, 146, 161, 170 respectivamente desde la siembra.

Sobre la parcela se realizó un diseño de bloques completos al azar con 3 réplicas (Figura 1). Los cortes se aplicaron siempre a la misma hora para evitar variaciones en los carbohidratos contenidos en la planta (Antúnez et al., 2007). La cosecha se efectuó con una segadora experimental (Honda MFC160) a una altura de corte de 15 cm. Se tomaron 9 muestras del cultivo en cada estado de madurez. El número total de muestras fue de 54 (6 estados de madurez x 3 réplicas x 3 muestras por réplica) las cuales fueron analizadas por separado. Cada muestra, luego de secada (60°C hasta peso constante), se molió a 1 mm para posteriores análisis.

RÉPLICAS	MOMENTOS DE CORTE					
BLOQUE 1	Z91	Z69	Z83	Z59	Z45	Z73
BLOQUE 2	Z69	Z45	Z91	Z73	Z59	Z83
BLOQUE 3	Z73	Z69	Z45	Z91	Z83	Z59

Figura1. Esquema del diseño de bloques completos al azar utilizados en el experimento. Panoja embuchada (Z45), floración (Z59), grano acuoso (Z69), grano lechoso (Z73), grano pastoso (Z83) y grano duro (Z90).

5.2. Determinaciones

Con el material anteriormente descrito, se procedió a la realización de los siguientes análisis, (llevados a cabo en Laboratorio de Nutrición animal de Facultad de Veterinaria de Montevideo Uruguay y Laboratorio Labrumen de la Universidad Federal de Santa María UFSM, Brasil.): Se determinaron los contenidos de MS según método 7.003; AOAC, (1997) y cenizas método 7.009; AOAC, (1997). La determinación de lignina ácido detergente (LAD) se realizaron de acuerdo con la técnica descrita por Robertson y Van Soest, (1981). Se determinó FND de forma no secuencial y usando un analizador de fibra (Tecnal, TE-149) mientras que la FAD se analizó según método 973.18; AOAC, (1997). El contenido de HC se calculó por diferencia entre FDN y FDA. Se analizó también el contenido de AS siguiendo la técnica descrita por Dubois et al. (1956) y el contenido total de almidón se determinó según método 996.1; AOAC, (1997), mediante el uso de un kit enzimático (Megazyme). El contenido de PB se determinó por el método 984.13; AOAC, (1997) y el contenido de PS se determinó de acuerdo con el método descrito por Licitra et al., (1996). La CB del forraje fresco fue determinado según Jasaitis et al., (1987). Todas las muestras se analizaron por triplicado, aceptando coeficientes de variación entre análisis del 3 al 5 % según el parámetro.

5.3. Análisis estadístico

Se realizó un diseño de 3 bloques aleatorizados con tres replicas cada uno (Figura 1), totalizando 9 muestras por estado de madurez. Para el análisis de los datos se utilizó el Modelo mixto (Proc. Mixed, SAS®, 2002) considerando los efectos fijos del estado de madurez y como aleatorios el bloque. Se utilizó el siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \mu + F_i + B_j + \epsilon_{ij},$$

Donde Y_{ij} es la variable dependiente, μ es la media global, F_i es el efecto fijo del estado madurez ($i = 6$ estados fenológicos), B_j es el efecto aleatorio del bloque ($j = 3$ bloques) y ϵ_{ij} 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

Los resultados de la composición química se presentan en la Tabla 1. Se puede observar que la MS, aumenta a medida que avanza el estado de madurez del cultivo (L y C; $P < 0,01$). Mientras tanto, las cenizas (L y C; $P < 0,01$), aumentan sus valores hasta Z69 en un pico de 90g/kg MS, luego del cual, comienza a disminuir hacia Z91 con 63 g/kg MS. Por el contrario, la PB y PS, se observa una disminución de sus contenidos en la planta (L y C; $P < 0,01$), representando la primera, una tasa de descenso de 1,02 g/kg MS. El contenido de FDN (C; $P < 0,01$) y FAD (L y C; $P < 0,01$), en la planta aumentan desde Z45 hasta Z69, luego del cual, comienzan a disminuir llegando en Z91 a registros similares a los iniciales. Por otro lado, la HC (L; $P < 0,01$), desarrolla un leve aumento de su contenido en la planta hasta Z73 (232 g/kg MS) y luego manteniéndose hasta Z91 en similares valores. La lignina presenta un comportamiento lineal (L; $P < 0,01$) en la que sus valores aumentan con el avance del ciclo de la planta, pero con una leve tendencia a descender hacia Z91. Los AS (L y C; $P < 0,01$) disminuyen desde Z45 (115 g/kg) a Z69 (33 g/kg). En Z73 se da un pico explosivo (68 g/kg) para luego descender nuevamente llegando a 17 g/kg en Z91. Mientras tanto el almidón (L y C; $P < 0,01$) se mantiene en niveles basales entre Z45 y Z69 a partir del cual tiene un aumento muy importante superando en 7 veces los valores del primer corte.

Tabla 1. Composición química de la planta de *Avena Sativa*, variedad Cantara en seis estados de madurez (Z45-Z91).

Días ²	Tratamiento						EEM ⁴	P ¹	
	125	132	139	146	161	170		L	C
Estado de madurez ³	Z45	Z59	Z69	Z73	Z83	Z91			
Composición química (g/kg MS)⁵									
MS (g/kg)	144	151	178	234	362	512	2,260	<0,01	<0,01
Cenizas	82	86	90	79	77	63	0,921	<0,01	<0,01
PB	107	99	86	73	62	61	0,851	<0,01	<0,01
PS (g/kg PB)	335	356	398	370	255	153	4,714	<0,01	<0,01
FND	537	627	661	599	568	571	4,901	0,29	<0,01
FAD	351	412	449	367	359	336	4,252	<0,01	<0,01
HC	186	215	211	232	210	232	6,158	<0,01	0,04
Lignina	45	62	72	59	84	71	3,365	<0,01	0,03
Almidón	26	23	28	50	183	201	1,164	<0,01	<0,01
AS	115	49	33	68	22	17	1,463	<0,01	0,01
CB (meq/kgMS)	145	149	102	154	102	82	3,700	<0,01	0,29

¹Nivel de significancia del efecto lineal (L) y cuadrático (C) del estado fenológico en el forraje fresco.

²Estado de madurez expresado en días desde la siembra.

³Estado de madurez expresado acorde a Zadoks et al., (1974)

⁴Error estándar de la media (n=6 por estado fenológico)

⁵ MS, materia seca; PB, proteína bruta; PS, proteína soluble; FND, fibra neutro detergente; FAD, fibra ácido detergente; HC, hemicelulosa; AS, azúcares solubles; CB; capacidad buffer.

7 . DISCUSIÓN

Tal como se esperaba, se observó una variación de la composición química de la planta de avena, a medida que avanza el estado de madurez. Se destaca un aumento de la MS y un descenso de la PB, los cuales son un común denominador en todos los trabajos que estudian dichos parámetros. El contenido de MS en la variedad Cantara, fue similar a la mayoría de los trabajos, incluso a los que utilizaron otras variedades de avena u otras gramíneas (trigo y cebada). Según Acosta, (2002) para evitar problemas de fermentaciones clostridiales, el mínimo necesario de MS se encontraría en el entorno de los 260 a 270 g/kg, valores logrados en esta variedad desde finales de grano lechoso en adelante.

Por otro lado, el descenso en el contenido de cenizas con el aumento de madurez del cultivo ha sido descrito por otros autores, tanto en variedades de avena (Coblentz y Walgenbach, 2010; Liu y Mahmood, 2015) como en otros cultivos (Giardini et al., 1976; McDonald et al., 2011; Sarmadi et al., 2016). Esto se produce por un proceso natural de dilución, translocación de nutrientes y debido a que la producción de MS excede la absorción de nutrientes conforme aumenta el área fotosintética. También puede explicarse parcialmente por el aumento en la proporción de tallos los cuales contienen normalmente menos concentración de cenizas que la hoja (Sarmadi et al., 2016).

En cuanto a la disminución de la PB se trata de un resultado esperado, ya que el estado de madurez es el principal factor que influye sobre ésta (McDonald, 1981). A su vez varios autores (Bergen et al., 1991; Khorasani et al., 1993; Jacobs et al., 2009; Mustafa y Seguin, 2003; Nadeau, 2007), obtuvieron también en sus respectivos trabajos, una disminución de dicho componente, debiéndose principalmente, a un aumento del contenido de tallos en comparación con la hoja, que es la que contiene mayor contenido de PB. Hacia final del ciclo, el contenido total de esta última tiende a no descender tan rápidamente como al inicio debido al aporte de PB del grano (Kilcher y Troelsen, 1973; Cherney y Marten, 1982a, 1982b; Hessel y Thomas, 1987). Los valores obtenidos para esta variedad de avena, tienen algunas diferencias con la variedad Cristal utilizada por Fernández, (2008) sobre todo en embuche donde ésta última presentó 186 g/kgMS, pero en general los contenidos de proteína fueron similares a los de los trabajos citados.

El contenido de FDN y FDA se incrementa hasta el estado de grano lechoso, posteriormente tiende a decrecer en las siguientes etapas de madurez, proceso descrito por varios autores (Khorasani et al., 1997; Mustafa y Seguin, 2003; Ramírez et al., 2013), como resultado del llenado del grano y la consecuente acumulación de almidón (Khorasani et al., 1997; Rosser et al., 2013). Esto se explica por el aumento en la proporción de grano y su bajo contenido de fibra, que superan al aumento del contenido de FDN y FDA en el follaje (Cherney y Marten, 1982a), por lo que, en la planta completa la fibra se diluye a partir de grano lechoso. Lo mismo sucede con la lignina, que aumenta con la madurez del cultivo y luego desciende, pero con un efecto dilución no tan marcado debido a que los componentes estructurales de hojas y tallos principalmente, se encuentran en altas cantidades (Cherney y Marten, 1982a). Éstos últimos le darán resistencia y rigidez a la planta la cual en estados avanzados de madurez se prepara para sostener el peso del grano. Cabe destacar que Cantara presenta valores superiores de lignina que avenas forrajeras (Khorasani y et al., 1997; Fernández A., 2008; Mustafa y Seguin, 2003; Nadeau., 2007) las cuales presentan un mayor volumen de hojas que de tallos, característica para la cual fueron seleccionadas

en su uso como pastoreo directo. Es de recordar que Cantara fue seleccionada para un buen rendimiento de grano y gran resistencia al vuelco, de ahí posiblemente se desprenda sus altos contenidos en lignina.

Para el caso de los AS, se observa el descenso de los mismos a medida que madura la planta debido a su polimerización en forma de almidón, el principal carbohidrato de reserva del grano (Mc Donald, 1981). Dicho descenso fue más marcado a partir de grano lechoso, fenómeno que fue descrito por varios autores (Bergen et al., 1991; Hargreaves et al., 2009; Filya, 2003). Se describe un nivel mínimo de azúcares en el forraje para confección de ensilaje de 60 a 80 g/kg MS (Fisher y Burns, 1987), lo que en esta variedad de avena solamente fueron superados en el estado de panoja embuchada, y de forma destacada en grano lechoso. McDonald, (1981) señala que la planta en éste ultimo estado, acumula azúcares para la formación del grano. En este sentido, los valores de almidón en la planta, aumentan debido al llenado del grano, fenómeno que se aprecia a partir de grano acuoso pero más marcado aún a partir de grano lechoso, siendo superiores a otras avenas doble propósito (Fernández et al., 2008) y forrajeras (Wallsten et al., 2010).

Por último, la CB descendió con el aumento de madurez del cultivo, probablemente debido al descenso de los ácidos orgánicos de la planta como consecuencia del aumento en la proporción de tallos (Muck et al., 1991; Buxton y Kiely, 2003). Es de destacar que esta variedad de avena presenta en promedio baja CB (122 meq/kg MS) si se compara con otras especies forrajeras como la alfalfa (472 meq/kg MS) u otras gramíneas (265-435 meq/kg MS) (McDonald et al., 1991).

Observando los resultados obtenidos en nuestro trabajo y los de los autores citados, podemos decir que los ensilajes confeccionados en etapas tempranas del cultivo: panoja embuchada, floración y grano acuoso, tendrán escaso rendimiento debido a bajos contenidos de MS. Esto afectará también la conservación del mismo, provocando pérdida de nutrientes y contaminación ambiental debido a los efluentes generados. Sin embargo los valores de PB, FDN, FDA y lignina, demuestran una gran calidad del forraje en esos períodos. Por lo tanto, en caso de ensilar en estos estados, sería necesario disminuir el contenido de agua del material mediante el uso de técnicas como el premarchitado. Con este tratamiento unido a los altos valores de AS, se lograría mejorar considerablemente la conservación del mismo. A su vez, podrían utilizarse aditivos o inoculantes, que pueden ser preparados comerciales, a base de bacterias lácticas y complejos enzimáticos o sustratos como suero lácteo (Britos et al., 2007). Es de destacar la baja CB que presenta esta variedad de avena a lo largo de todo el ciclo comparado con otras gramíneas y mas aún con leguminosas, siendo esto muy beneficioso a la hora de confeccionar un silo, en el cual se logrará un pH adecuado para la conservación de forma más rápida y con menos requerimientos de azúcares.

En el estado de madurez de grano lechoso, los AS aumentan y la MS es más adecuada para lograr una buena conservación de la avena, pero en detrimento de la calidad nutricional de la misma. Los resultados obtenidos sugerirían que el límite máximo para el ensilaje de la avena sería el corte en grano pastoso, en el cual, el contenido del grano atenúa las pérdidas nutricionales de la planta y la conservación sería medianamente aceptable, debido a lo cual es recomendable el uso de aditivos o inoculantes.

Cosechar la avena en grano duro, haría difícil la conservación del silo, dado los altos valores de MS que dificultan la compactación y por ende, la eliminación de oxígeno del material, y la baja cantidad de AS disponibles para la fermentación de las bacterias ácido lácticas. Esto unido a la pérdida nutricional debido al alto grado de lignificación de la planta de avena, además del bajo contenido de proteína, hacen aún menos recomendable ensilar en estadios tan tardíos. En casos como éste, en que el material tiene tan alto contenido de MS, podría considerarse la confección de heno.

8 .CONCLUSIONES

El estado de madurez afectó directamente la composición química de la planta de *Avena sativa variedad Cantara*, lo cual confirma la hipótesis del presente trabajo.

En base a los resultados obtenidos y considerando el punto de equilibrio entre conservación y calidad, la cosecha de *Avena sativa variedad Cantara* en estado de grano lechoso, sería un momento adecuado para obtener un ensilaje con correcta fermentación y calidad nutricional.

9 . REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Acosta Y., (2002). Ensilajes de pasturas: algunas consideraciones para su confección. Boletín de divulgación N°80 INIA La Estanzuela. Disponible en: <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2780/1/111219240807161152.pdf>
Fecha de consulta: 16/09/2018
2. Antúnez, M., Caramelli, A., Britos, A., Zanoniani, R., Repetto, J.L., Boggiano, P., Cajarville, C. (2007). Efecto del momento del día y del tipo de metabolismo fotosintético sobre el contenido en azúcares solubles de diferentes especies forrajeras. XXXV Jornadas Uruguayas de Buiatría. pp: 295-297.
3. Alaniz, O., (2008). Adición de residuo de la industria cervecera al ensilaje de maíz como alternativa de forraje para ganado. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Investigación para el desarrollo Regional Durango. Maestría en Ciencias en Gestión Ambiental, p. 1-35.
4. Association of Official Analytical Chemists, A.O.A.C. (1990). Official Methods of Analysis, 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA, USA.
5. Association of Official Analytical Chemists (AOAC) 2000. Official methods of analysis, 17th edition. AOAC, Gaithersburg, MD, USA.
6. Astigarraga, L., (2008) Suplementación para la producción de leche. Disponible en: <http://prodanimal.fagro.edu.uy/cursos/PRODUCCION%20LECHERA/TEORICOS/09%20%20Suplementacion%20para%20la%20produccion%20de%20leche.pdf> Fecha de consulta: 05/07/2018
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 Animals Cience*. 69: 1766-1774
8. Britos A., Repetto J.L., Garciarena D., Cajarville C. (2007). Efecto del suero de queso como aditivo de ensilajes de pastura sobre la conservación, los azúcares solubles y la producción de gas in vitro. *Agrociencia* 11:72–77.
9. Buxton D.R., O'Kiely P. (2003). Preharvest plant factors affecting ensiling. En: Buxton D.R, Muck R.E, Harrison J.H . *Silage Science and Technology*. Ed. Am. Soc. Agron., Crop Sci. Soc. Am., Soil Sci. Soc. Am., Madison, pp. 199-250.
10. Calsamiglia S. (1997) Nuevas bases para la utilización de la fibra en dietas de rumiantes. Departamento de Patología y Producción Animal Universidad Autónoma de Barcelona. XIII curso de especialización FEDNA Madrid, España, p.3-19
11. Caramelli, A., Britos, A., Zanoniani, R., Repetto, J.L., Boggiano, P., Cajarville, C. (2007). Efecto del momento del día y del tipo de metabolismo fotosintético sobre el contenido en azúcares solubles de diferentes especies forrajeras. XXXV Jornadas Uruguayas de Buiatría. pp: 295-297.
12. Cañete M. , Sacha J. (1998). Ensilado de forrajes y su empleo en la alimentación de rumiantes. Madrid, Mundi-prensa libros, p. 260.

13. Cherney J.H., Marten G.C. (1982a). Small grain crop forage potential: I. Biological and chemical determinants of quality, and yield. *Crop Sci.* 22:227-230.
14. Cherney J.H., Marten G.C. (1982b) Small grain crop forage potential: II. Interrelationships among biological, chemical, morphological and anatomical determinants of quality. *Crop Sci.* 22:240-245
15. Coblenz W.K., Walgenbach R.P. (2010). Fall growth, nutritive value, and estimation of total digestible nutrients for cereal-grain forages in the north-central United States. *J. Anim. Sci.* 88:383–399.
16. Crovetto, G.M., Galassi, G., Rapetti, L., Sandrucci, A., Tamburini, A. (1998). Effect of the stage of maturity on the nutritive value of whole crop wheat silage. *Livestock Production Science.* 55, 21–32
17. De la Roza B. (2005). El ensilado en zonas húmedas y sus indicadores de calidad. IV Jornadas de Alimentación Animal. Laboratorio de Mouriscade. Lalín España, 20p.
18. Díaz, J. (2013). Mejoramiento genético de cebada y avena granífera INIA. Informe de resultados para empresas semilleristas interesadas en el licenciamiento de la variedad de avena granífera lea 1. INIA. La Estanzuela.
19. DIEA. Dirección de Estadísticas Agropecuarias. (2015). Anuario Estadístico agropecuario. Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Uruguay. Disponible en : <http://www2.mgap.gub.uy/portal/page.aspx?2.diea.diea-principal.O.es.0>, Fecha de consulta: 02/02/2018
20. DIEA. Dirección de Estadísticas Agropecuarias. (2017). Anuario Estadístico agropecuario. Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. Uruguay. Disponible en : <http://www2.mgap.gub.uy/portal/page.aspx?2.diea.diea-principal.O.es.0>, Fecha de consulta: 02/02/2018
21. Dubois, M., Gilles, K.A., Hamilton, J.K., Rebers, P.A., Smith, F. (1956). Colorimetric method for determinations of sugars and related substances. *Anal. Chem.* 28: 350–356
22. Dumont, J., Anrique., R., Alomar., E. (2003) Efecto de dos sistemas de determinación de materia seca en la composición química y calidad del ensilaje directo de avena en diferentes estados fenológicos. En agricultura técnica (CHILE) 65:388-396 . Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0365-28072005000400005&lng=es&nrm=iso Fecha de consulta: 10/03/2018
23. Dumont, J. y Lanuza F., (1990). Utilización de ensilaje de avena en dos estados fenológicos y respuesta a la suplementación proteica en vaquillas. Boletín Técnico N° 163. 11p Instituto de Investigaciones Agropecuarias de Chile.
24. Eastridge ML., (2006). Major advances in applied dairy cattle nutrition. *J Dairy Sci* 89: 1311-1323

25. Elizalde F., Hargreaves A., Wernli C., (1996). Conservación de forrajes. P.395-428. In I Ruiz (ed.) Praderas para Chile. 2ª ed. Ministerio de Agricultura, INIA, Santiago de Chile
26. Fariña S. (2016). Desafíos futuros para los sistemas de producción de leche de Uruguay. XLIV Jornadas Uruguayas Buiatría. Paysandú, Uruguay. p. 65–69.
27. Fernández, A., (1999). Silaje de planta entera. Cap 1, 4-11 disponible en: http://www.produccionanimal.com.ar/produccion_y_manejo_reservas/reservas_silos/77-silaje_de_maiz.pdf. Fecha de consulta: 05/06/2018
28. Fernández, A., Fernández, F., Fernández, P., (2009) Efectos de los cereales de invierno “encañados” sobre el engorde de terneros y novillos angus. Disponible en: <https://www.engormix.com/ganaderia-carne/articulos/efectos-cereales-invierno-encanados-t28238.htm> Fecha de consulta: 05/06/2018
29. Fernández, A., Larrea, D., Bolleta A., Tulesi, M., Lagrange, S., (2008). Evaluación de la calidad nutricional de diferentes estados de madurez del cultivo de avena para la obtención de henos o silaje de planta entera. Disponible en: www.engormix.com/ganaderia-carne/articulos/calidad-nutricional-de-diferentes-estados-de-madurez-de-la-avena-t27425.htm Fecha de consulta: 05/06/2018
30. Filya, I. (2003). Nutritive value of whole crop wheat silage harvested at three stages of maturity. *Animal Feed Science and Technology* 103(3-4): 85-95
31. Fisher D.S., Burns J.C., (1987). Quality analysis of summer-annual forages I. Sample preparation and chemical characterization of forage types and cultivars. *Agron. J.* 79:236-242.
32. Gallardo M., (2010). Cereales de invierno: Valor de los ensilajes de avena y cebada. p.1 Disponible en:

http://www.produccionanimal.com.ar/produccion_y_manejo_reservas/reservas_silos/163-Cereales_invierno.pdf Fecha de consulta: 05/06/2018
33. Gebrehanna M.M., Gordon R.J., Madani A., VanderZaag A.C., Wood J.D. (2014). Silage effluent management: a review. *J. Environ. Manage.* 143:113–22.
34. Giardini A., Gaspari F., Vecchietini M., Schenoni P. (1976). Effect of maize silage harvest stage on yield, plant composition, and fermentation losses *Animal Feed Science and Technology.* 1:313–326.
35. 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.* 152:50-61.
36. Helsel Z.R., Thomas J.W. (1987). Small Grains for Forage. *J. Dairy Sci.* 70:2330–2338.

37. Hill, D.L., Noller, C.H., Martz, F.A., Lundquist, N.S. (1958). Preservation of oats as silage. Purdue Agr. Expt. Sta., Mimeo DH-73 p. 1955–1959
38. Irigoyen, A., Majó, E., Chalklin, D. (2011). Relevamiento nacional de reservas forrajeras y caracterización de su uso en establecimientos comerciales. INIA serie FPTA N° 119, 142p.
39. 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: 595-607.
40. Jasaitis, D.K., Wohlt, J. E., Evans, J.L. (1987). Influence of feed ion content on buffering capacity of ruminant feedstuffs in vitro. *Journal of Dairy Science*. 70:1391–1403
41. Jobim C., Nussio L., Reis R., Schmidt P.,(2007). Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem canservada. *Revista brasileira de zootecnia*, v. 36, (suppl). 101-119.
42. Khorasani, G.R., Okine EK., Kennelly JJ., Helm JH.,(1993). Effect of whole crop cereal grain silage substituted for alfalfa silage on performance of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci*. 76:3536-3546.
43. Khorasani G R, P E Bedel, J H Helm, J J Kennelly. (1997). Influence of stage of maturity on yield components and chemical composition of cereal grain silages. *Can. J. Anim. Sci*. 77:259-267
44. Khorasani, G.R., and J.J. Kennelly. (1997). Optimizing cereal silage quality. *Adv. Dairy Techn*. 9:249-272.
45. Kilcher M.R., Troelsen J.E. (1973). Contribution and nutritive value of the major plant components of oats through progressive stages of development. *Can. J. Plant Sci*. 53: 251–256.
46. Licitra, G., Hernandez, T.M., Van Soest, P.J. (1996). Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. *Animal Feed Science and Technology*. 57: 347–358.
47. Liu K., Mahmood K. (2015). Nutrient composition and protein extractability of oat forage harvested at different maturity stages as compared to grain. *J. Agric. Sci*. 7:50.
48. Martz, F.A., Noller, C.H., Hill, D.L., Carter, M.W. (1959). Intake and value for milkproduction of oat silages ensiled at three stages of maturity and preserved with sodium metabisulfite. *Journal of Dairy Science*. 42: 1955-1959.
49. McCullough, M.E., Sisk, L.R., Sell, O.E. (1958). Influence of stage of maturity and of ground snap corn or sodium metabisulfite as preservatives on the feeding value of oat silage. *Journal of Dairy Science*. 41: 796-802
50. McDonald P. (1981). *The biochemistry of silage.*, Chichester, UK. 226p.
51. McDonald, P. (1999). *Nutrición Animal*. Zaragoza: Acribia 553 p.

52. McDonald, P y Wittenbury, R., (1973). The ensilage process. Chapter 28. Páginas 33-60. In chemistry and Biochemistry of herbage. Buttlar, G y Bailey, R. Academic Press London
53. McDonald, P., A.R Henderson, and S.J.E. Heron. (1991). The biochemistry of silage. 2ª ed. Marlow, Chalcombe, U.K. . 399 p.
54. McDonald P., Greenhalgh J.F.D., Morgan C.A., Edwards R.A., Sinclair L.A., Wilkinson R.G., (2011). Animal Nutrition. 7ª ed. Pearson. Canadá, 712p
55. Meikle, A., Cavestany, D., Carriquiry, M., Adrien M., Artegoitia, V., Pereira. I., Rupprechter, G., Pessina, P., Rama, G., Fernández, A., Breijo, M., Laborde, D., Pritsch, O., Ramos, JM., De Torres, E., Nicolini, P., Mendoza, A., Dutour J., Fajardo, M., Astessiano, AL., Olazábal, L., Mattiauda, D., Chilibroste, P., (2013) Avances en el conocimiento de la vaca lechera durante el período de transición en Uruguay: un enfoque multidisciplinario. Agrociencia 17(1): 141-152
56. Mendoza, A., Cajaville, C., Santana, A., Repetto, J.L. (2011). ¿Hacia una nueva forma de pensar la alimentación de las vacas lecheras? La inserción del confinamiento en los sistemas pastoriles de producción de leche.
57. Mier M., (2009). Caracterización del valor nutritivo y estabilidad aeróbica de ensilados en forma de microsilos para maíz forrajero. Universidad de Córdoba departamento de producción animal. 64p. Disponible en: http://www.uco.es/zootecniaygestion/img/pictorex/22_11_37_maritza.pdf Fecha de consulta: 25/06/2018
58. Muck R.E., O'Kiely P., Wilson R.K. (1991). Buffering capacities in permanent pasture grasses. Irish J. Agric. Res. 30:129–141.
59. Muck R.E., (1988). [Factors influencing silage quality and their implications for management](#). Journal of Dairy Science 71: 2992-3002
60. Mustafa A.F., Seguin P., (2003). Effects of stage of maturity on ensiling characteristics and ruminal nutrient degradability of oat silage. 57: 347-357
61. Nadeau E., (2007). Effects of plant species, stage of maturity and additive on the feeding value of whole-crop cereal silage. J. Sci. Food Agric. 87:789–801.
62. Pichard G., Cussen R., (1994). Evaluación de las pérdidas en el proceso de ensilaje y manejo de efluentes. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Serie Remehue N°52, 20p. Disponible en: es.scribd.com/document/149044724/Evaluacion-de-Perdidas-en-El-Proceso-de-Ensilajes. Fecha de consulta: 05/06/2018
63. Ramírez E., Catani P., Ruiz S., (1999) La importancia de la calidad del forraje y el silaje. Silaje de Maíz y Sorgo Granífero, Act. Téc. N° 2. Marca Líquida, nov./99:23-28.
64. 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. Revista fitotecnia mexicana, Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802013000400005&lng=es&tling=es Fecha de consulta: 18/06/2018

65. Robertson J.B., Van Soest, P.J., (1981). The detergent system of analysis and its application to human foods. En: James, W.P.T., Theander, O. (Eds.), The Analysis of Dietary Fiber in Food. Marcel Dekker, NY, pp. 123–158.
66. Romero L.,(2004). Calidad en forrajes conservados. Disponible en: [web:http://www.produccionanimal.com.ar/produccion_y_manejo_reservas/reservas_silos/04-silajes.pdf](http://www.produccionanimal.com.ar/produccion_y_manejo_reservas/reservas_silos/04-silajes.pdf) Fecha de consulta: 10/06/2018
67. Rosser C., Górká P., Beattie A., Block H., McKinnon J., Lardner H., Penner B., (2013) Effect of maturity at harvest on yield, chemical composition, and in situ degradability for annual cereals used for swath grazing. J. Anim. Sci. 91:3815-3826
68. 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.
69. Stallcup, O.T., Horton, O.H. (1957). The nutritive value of oat silages made from plants ensiled in the boot, milk, and hard dough stages of maturity. Journal of Dairy Science. 40: 620.
70. Thurman R.L., Stallcup O.T., Stephens J.L., Justus N.E.,(1957). When to harvest oats for hay and silage. Arkansas Agr. Exp. Sta., Bull. 589 p.
71. Trujillo A.I. , Uriarte G., (2003). Valor nutritivo de las pasturas. Disponible en: <http://prodanimal.fagro.edu.uy/cursos/NUTRICION/TEORICOS/Tema%202.%20Material%20de%20lectura.%20Alimentos.%20Valor%20nutritivo%20de%20las%20pasturas.pdf> Fecha de consulta: 10/05/2018
72. Van Soest P., (1968). Determinación de la humedad de la lignina y celulosa en la fibra detergente ácido con permanganato. Revista de la Asociación de química agrícola., Washington. 51:780-785.
73. Van Soest P.J., (1982) Nutritional Ecology of the Ruminant Animal. C.U.P., Ithaca, NY. Disponible en: <http://www.fao.org/wairdocs/ILRI/x5495E/x5495e06.htm> Fecha de consulta: 05/05/2018
74. Van Soest, P.J., Robertson, J.B., Lewis, B.A., (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. J. Dairy Sci. 74: 3583–3597
75. Wallsten J., Bertilsson J., Nadeau E., Martinsson K. (2010). Digestibility of whole-crop barley and oat silages in dairy heifers. Animal 4: 432–438.
76. Wilkinson J M., Wilson RF., y Barry TN., (1976). Factors affecting nutritive value of silage. Outlook on Agriculture, 9: 3-8

77. Zadoks, J.C., Chang, T.T., Konzak, C.F. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. Weed Research. 14: 415-421

10 ANEXO.

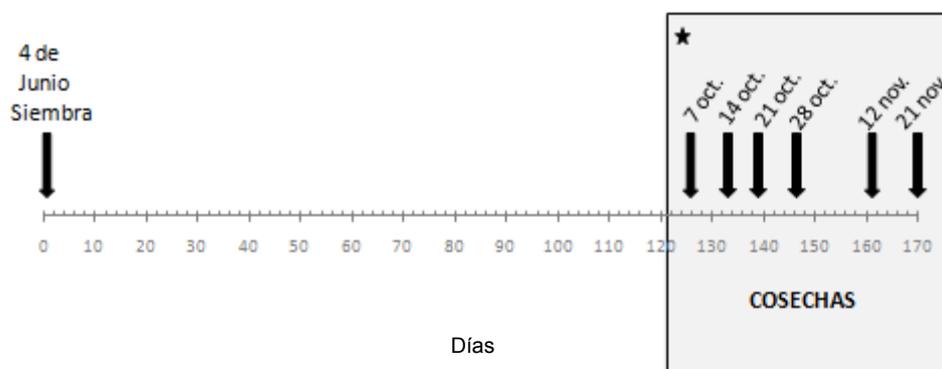


Figura 2: Esquema de la cronología de la cosecha desde la siembra

Figura 3: Composición química en los seis estados de madurez expresados en días desde la siembra. Los días 125, 132, 139, 146, 161 y 170 corresponden a los estados de embuche (Z45), floración completa (Z59), grano acuoso (Z69), grano lechoso (Z73), grano pastoso (Z83) y grano duro (Z91). MS materia seca, PB proteína bruta, FDN fibra detergente neutro, FAD fibra ácido detergente.

