



UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE VETERINARIA

**CALIDAD DE FERMENTACIÓN Y COMPOSICIÓN QUÍMICA DE
ENSILAJE DE PLANTA ENTERA DE AVENA GRANÍFERA VAR.
CANTARA LEA-1: EFECTO DEL ESTADO FENOLÓGICO.**

por

Patricio MADRUGA BARCELÓ

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

ENSAYO EXPERIMENTAL

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2021**

PÁGINA DE APROBACIÓN

Tesis de grado aprobada por:

Presidente de mesa:



Dr. Gonzalo Fernandez Turren

Segundo miembro (Tutor):



Dra. Sofia Stirling

Tercer miembro:



Dr. Bruno Guidi

Fecha: 27/12/2021

Autores:



Patricio Madruga

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, que durante estos años en sus tan diferentes etapas siempre me brindó su apoyo.

A Sofía Stirling, quien me admitió y acompañó en este proyecto con el mejor ímpetu en todo momento.

A todo el personal de INIA La Estanzuela, quienes colaboraron en la fase práctica brindando sus conocimientos, herramientas e instalaciones.

A la cátedra de nutrición animal de la facultad de Veterinaria, que en la fase de laboratorio estuvo siempre atenta a nuestras necesidades.

Gracias a Dios, por esta carrera y todas las personas que conocí en el camino.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	1
SUMMARY	2
1. INTRODUCCIÓN	3
1.1. La lechería en el Uruguay.....	3
1.2. Cambios en la estructura de alimentación ... ¡Error! Marcador no definido.	
1.3. Calidad del ensilaje y búsqueda de nuevas variedades.	4
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. Bases de la fermentación en el ensilaje	4
2.2. Factores que afectan la calidad del ensilaje antes de la cosecha	5
2.3. Evaluación de la calidad del ensilaje.....	8
3. HIPOTESIS	11
4. OBJETIVO.....	11
4.1. Objetivo general	11
4.2. Objetivos específicos.....	11
5. MATERIALES Y MÉTODOS	11
5.1. Material experimental.....	11
5.2. Implantación del cultivo, suelo y clima.....	11
5.3. Cosecha y ensilaje	11
5.4. Análisis químicos	12
5.5. Análisis estadístico	13
6. RESULTADOS	14
7. DISCUSIÓN	16
7.1. Calidad de fermentación.....	16
7.2. Composición química del ensilaje.....	17
8. CONCLUSIONES	18
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	19

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro I. Composición química del forraje fresco en los seis estados fenológicos. 12	
Cuadro II. Calidad de fermentación y pérdidas del ensilaje en los seis estados fenológicos (Z45-Z91).	14
Cuadro III. Composición química del forraje ensilado en los seis estados fenológicos (Z45-Z91).	15

LISTA DE ABREVIATURAS

AGV:	Ácidos grasos volátiles
AS:	Azúcares solubles
CB:	Capacidad buffer
E:	Ensilaje
FAD:	Fibra ácido detergente
FND:	Fibra neutro detergente
HC:	Hemicelulosa
LAD:	Lignina detergente ácido
MF:	Materia fresca
MO:	Materia orgánica
MS:	Materia seca
N:	Nitrógeno
NNP:	Nitrógeno no proteico
NIDN:	Nitrógeno insoluble en detergente neutro
NIDA:	Nitrógeno insoluble en detergente ácido
PB:	Proteína bruta
PS:	Proteína soluble

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue analizar el efecto del estado fenológico sobre la composición química y la calidad del ensilaje de avena granífera *Avena Sativa* var. Cantara LEA1. La avena se cosechó y ensiló en seis estados fenológicos: panoja embuchada, floración, grano acuoso, lechoso, pastoso y duro (*i.e.*: estados fenológicos Z45, 59, 69, 73, 83, y 91 respectivamente). Se trabajó en un diseño de bloques completos al azar con tres réplicas por estado fenológico. Se realizaron 9 microsilos por tratamiento, los cuales se muestrearon después del ensilaje. Se evaluó su composición química, las pérdidas de efluentes y calidad de fermentación. El cultivo cosechado en estados fenológicos tempranos (Z45-59) se caracterizó por presentar alto contenido de proteína bruta (PB) y azúcares solubles (AS) y bajo nivel de lignina, fibra neutro y ácido detergente (FND y FAD). En estados fenológicos tempranos se alcanzó una buena compactación del forraje y fermentación gracias al bajo contenido de MS y alto nivel de AS, pero con elevada producción de efluente. El forraje cosechado entre grano acuoso y lechoso (Z69-73), se caracterizó por presentar niveles intermedios de MS, AS, PB y lignina, con la desventaja de alto contenido de FND y FAD y bajo contenido de almidón. El ensilaje alcanzó buena compactación y fermentación y baja producción de efluente en esta etapa. El forraje cosechado en grano pastoso y duro (Z83-91) presentó elevados valores de MS, almidón y lignina, y bajo nivel de FND y FAD, PB y AS. El elevado contenido de MS dio lugar a una baja compactación y fermentación del ensilaje y nula producción de efluente. Por lo tanto, se puede afirmar que el estado fenológico de la planta al momento de confeccionar el ensilaje altera tanto la calidad fermentación del mismo como su composición química.

Palabras clave: *ensilaje, estado fenológico, Avena sativa, fermentación.*

SUMMARY

The objective of this work was to analyze the effect of the growth stage on the chemical composition and fermentation quality of whole-crop oats silage (*Avena Sativa* cultivar. Cantara LEA1). Oats were harvested and ensiled at six stages of growth: boot, heading, water ripe, early milk, early dough and grain ripe (i.e., Z45, 59, 69, 73, 83, and 91 respectively). A randomized complete block design was used with three replications per growth stage. Nine microsilos were made per growth stage, which were sampled after ensiling. The chemical composition, effluent losses and fermentation quality were evaluated. The crop harvested in early growth stages (Z45-59) was characterized by having a high content of crude protein (CP) and soluble sugars and a low level of lignin, neutral and acid detergent fiber (NDF and ADF). In early growth stages, a good compaction of the forage and fermentation was achieved thanks to the low dry matter (DM) content and high level of water-soluble sugars, but with high effluent production. The forage harvested between water ripe and early milk growth stages (Z69-73), presented intermediate levels of DM, soluble sugars, CP and lignin, and a high content of NDF and ADF, and low content of starch. The silage achieved good compaction and fermentation and low effluent production at these stages of growth. The forage harvested at early dough and grain ripe stages of growth (Z83-91) presented high yield of DM, starch and lignin, and low level of NDF and ADF, CP and soluble sugars. The high DM content resulted in low compaction and fermentation of the silage and zero effluent production. Therefore, the growth stage of the plant at harvest alters the whole-crop silage fermentation quality and chemical composition.

Keywords: silage, phenological state, *Avena sativa*, fermentation.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. La lechería en el Uruguay

En Uruguay se ha producido hace ya más de 30 años un progresivo crecimiento en lo que refiere a la lechería. Desde la década del 70 hasta la actualidad se ha dado un proceso de intensificación, donde el número de productores lecheros ha descendido año tras año, pasando de 7.102 en 1985 a 3.688 establecimientos en 2019, así como también la superficie utilizada en este rubro. Sin embargo, la producción lechera ha experimentado un incremento en la producción individual (litros/vaca) y paralelamente un incremento de la productividad por unidad de superficie (litros/ha), debido al aumento de la carga animal (Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias (DIEA), 2018; Instituto Nacional de la Leche (INALE), 2014). Estas diferencias solamente son explicadas por importantes cambios tecnológicos a nivel de los tambos del país, que impactaron fuertemente en el uso del suelo (Díaz Rossello y Durán, 2011); destacándose el incremento de la superficie de praderas, verdes y cultivos de verano, y el uso creciente de forrajes conservados (heno y silos) y concentrados (Irigoyen, Majó, y Chalkling, 2011). Las explotaciones lecheras en Uruguay emplean como principal fuente de alimento las pasturas por ser de bajo costo, planificando las correspondientes rotaciones entre especies de cultivos anuales y de pasturas plurianuales en busca de maximizar y estabilizar la producción de forraje para pastoreo directo y/o para hacer reservas (Durán y La Manna, 2009). Sin embargo, en estos sistemas las pasturas destinadas a cosecha directa no son suficientes para alcanzar niveles satisfactorios de consumo de materia seca (MS) y de energía en vacas de alta producción; por este motivo es que también se suministran suplementos (Peyraud y Delaby, 2001). Es así que en nuestra región los sistemas de producción de leche son alimentados con dietas que combinan el pastoreo directo de forrajes de alta calidad, con el suministro de concentrados y/o reservas forrajeras (Fariña y Chilibróste, 2019). Así es que este proceso de intensificación debe continuar, concentrando esfuerzos en aumentar la producción de forraje y su aprovechamiento, y así enfrentar la inestabilidad del mercado global ligado a la cadena láctea, que ha forjado un contexto volátil para el sector en nuestro país. Esta situación impacta a Uruguay por tener un carácter exportador y de cara al mundo, donde actores como el clima y los precios tanto de insumos como de productos son los protagonistas (Fariña, 2016). Un factor que contribuye agudamente en la importancia de producir más kg MS de forraje por hectárea y generar sistemas más eficientes, es el valor de la tierra, donde se ha observado un aumento constante y no correlativo con el valor de la leche; siendo mayor la cantidad de litros de leche necesarios para adquirir una hectárea de tierra actualmente (DIEA, 2018). FUCREA en el año 2014 arroja la estadística de que entre los años 2000 y 2012 hubo un aumento en términos relativos de 424% sobre el valor de la tierra, explicado por la competencia de otros rubros como la agricultura (Fariña, 2016). La competitividad en el uso de dicho recurso por parte del rubro lechero se podría medir a través de su capacidad para proveer forraje de calidad al sistema para convertir en leche. Pero esto no se ha logrado consolidar satisfactoriamente, mismo contando con asesoramiento; demostrando un gran potencial de desarrollo para ahondar tanto en la producción como en la utilización del pasto para consumo directo o reservas forrajeras. Teniendo en cuenta este escenario, el avance en la producción se explica gracias al agregado de concentrados y de reservas forrajeras, especialmente de ensilajes en la dieta (Cajarville, C., Stirling, S. y Repetto, J.L., 2014). Por ese motivo es que las reservas forrajeras han aumentado su proporción, pasando de ser un 20%

(Leborgne, 1998) a constituer casi un tercio de las dietas (Cajarville et al., 2014). Por lo tanto, reservas como los ensilajes, que tradicionalmente se utilizaban en períodos de carencia de forraje, han pasado a constituir porción indispensable de las dietas. Siguiendo este razonamiento, cabe destacar que, para llegar a niveles satisfactorios de producción, además de lograr una acorde producción de pasturas, los ensilajes presentes en la alimentación de los rodeos lecheros deben presentar una calidad adecuada (Cajarville et al. 2014).

1.2. Calidad del ensilaje y búsqueda de nuevas variedades.

Cuando hablamos de ensilaje y henolaje debemos tener en cuenta que existen muchos factores que pueden afectar la calidad de estos. Por ejemplo, la o las especies que lo compongan, su estado de maduración, las condiciones en que se lleve a cabo la fermentación, los microorganismos presentes, entre otras. Por eso es imprescindible ser cuidadosos en su elaboración para obtener una reserva forrajera de calidad. A diferencia de los ensilajes elaborados a partir de cultivos de verano como el maíz y el sorgo, los ensilajes elaborados a partir de cultivos de invierno no han presentado muchos avances en lo que respecta a evaluaciones de la calidad de sus reservas (Cajarville et al., 2014). En este contexto, es que es que INIA en 2009 (Díaz, 2012) comenzó un programa de evaluación, con el fin de obtener líneas experimentales de *Avena sativa* que se destaquen en presentar características agronómicas adecuadas y buenos rendimientos de grano. La línea que presentó mejores propiedades fue generada en Louisiana, Estados Unidos, y fue ingresada a Uruguay en 2008, donde fue llevada a la Evaluación nacional a principios de 2011. Posteriormente fue sujeta a una nueva batería de ensayos para constatar las características que la posicionaron como opción para diversificar los sistemas agrícolas y forrajeros intensivos actuales. Esa nueva variedad de avena, seleccionada por el grupo de mejoramiento genético de cebada y avena granífera de INIA La Estanzuela, se trata de una variedad desarrollada para producción de grano, de ciclo intermedio, cuya fecha óptima de siembra se extiende de principios de mayo a fines de junio. Es una variedad que se caracteriza por presentar rendimientos de grano muy altos y estables (promedio ensayos 2010-2011: 5762 kg/ha), excelente caña, altura adecuada y sin riesgo de vuelco (Díaz, 2012). A partir de esta nueva variedad de *Avena sativa* se inició una serie de ensayos con el fin de describir y analizar sus características y comportamiento en lo que respecta a conservación forrajera.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Bases de la fermentación en el ensilaje

El ensilaje es el producto de la fermentación de un cultivo bajo condiciones controladas, con un contenido de humedad adecuado. Es llevado a cabo en continentes, que pueden variar desde bolsas plásticas hasta grandes torres de concreto, los cuales se denominan “silo” (McDonald et al., 2010). El principal objetivo en la conservación de cultivos mediante fermentación es lograr un proceso anaeróbico en la elaboración del ensilaje. Para alcanzar esta condición, es fundamental el picado del cultivo cuando es cosechado, el rápido llenado del silo, la adecuada compactación y sellado del mismo. Con esto se garantiza que no haya un reingreso de oxígeno en el transcurso del almacenamiento. Si existe una circulación de aire en cualquier período de tiempo, los microorganismos aeróbicos se activan, descomponiendo así el material almacenado y corriendo el riesgo de que llegue a ser tóxico (McDonald et al., 2010).

En este proceso los azúcares naturales de los cultivos son fermentados por las bacterias ácido-lácticas, surgiendo como producto una mezcla de ácidos, predominantemente ácido láctico. Estas bacterias pueden clasificarse en dos grandes grupos: las homofermentativas y las heterofermentativas. Las primeras dan como producto de la fermentación únicamente ácido láctico; sin embargo, las segundas producen ácido láctico y otros productos finales. A su vez, existen otros grupos de bacterias que no son deseables, ya que en el proceso de fermentación generan muchas pérdidas de energía y MS, como son los clostridios, enterobacterias, coliformes y también las levaduras. Este proceso es conocido como fermentación secundaria (McDonald, Henderson y Heron, 1991). Cuando los ácidos son producidos en una fermentación adecuada, aumentan la concentración de hidrogeniones a un nivel en el que las bacterias indeseables se inhiben; sin embargo, el pH al que se produce la inhibición varía con el contenido de MS del cultivo ensilado. Cuando se trata de ensilar un cultivo con un alto contenido de humedad, el proceso de fermentación es dificultoso y se deben presentar condiciones óptimas, o tratar con algún aditivo adecuado. También aquellos cultivos que presentan bajos niveles de AS, y los que presentan altos niveles de amortiguación del pH deben ser tratados con un aditivo antes de consolidar el ensilaje, ya que se podría desencadenar una fermentación ineficiente (McDonald et al., 2010). Como podemos observar existen muchos factores que pueden ejercer un efecto en el tiempo y el tipo de fermentación de un ensilaje, pero los principales son los producidos por el propio cultivo a ensilar.

2.2. Factores que afectan la calidad del ensilaje antes de la cosecha

La composición de los cultivos en el momento de la cosecha tiene un gran impacto en el proceso de ensilaje y la calidad del mismo, donde existen varios factores que influyen en la misma. Estos incluyen la química vegetal, el manejo de cultivos, la microbiología vegetal, el medio ambiente en el que se presenta el cultivo y sobre todo el estado de madurez de la planta (Buxton, Muck y Harrington., 2003). A continuación, se describen algunos de los factores que afectan a la calidad del ensilaje antes de la cosecha.

2.2.1. Etapa de la madurez

El avance de la madurez de los cultivos puede tener una gran influencia en la capacidad de ensilaje del forraje, valor nutritivo, rendimiento y concentración de agua, aunque la escala y la causa de los cambios varían considerablemente entre los diferentes tipos de forraje (Buxton et al., 2003). Considerando el estado de desarrollo de la planta, un forraje en estado de hojas tiene normalmente un alto porcentaje de proteína y alta concentración de energía, pero a medida que aparecen los tallos, la planta se hace más fibrosa y lignificada perdiendo calidad (Dumont, Anrique y Alomar, 2005). Estos cambios reflejan en gran medida un aumento en la concentración de la pared celular y una disminución en su digestibilidad. A su vez, una reducción en la fracción solubles acompañado de un aumento de la fibra neutro detergente (FND) y fibra detergente ácida (FAD) (Hoffman, Sievert, Shaver, Welch, y Combs, 1993; Stefanon, Pell y Schofield, 1996; Buxton et al., 2003). Por lo tanto, para obtener un ensilaje de alta calidad, es esencial que el cultivo se encuentre con la mayor proporción de hojas posible. Pero en cambio, el rendimiento en estas condiciones es inferior con respecto a estados más avanzados de madurez, por esto se busca atrasar la cosecha para lograr una mayor cantidad de forraje, sacrificando la calidad del ensilaje obtenido (Dumont et al., 2005). Cuando hablamos de cultivos de cereales en desarrollo, el

contenido de almidón de las semillas sirve de sustrato para la fermentación, actuando como reserva de energía. Esto resulta en una disminución más lenta del valor nutritivo en los cultivos de cereales maduros, que en cultivos que no producen semilla, ya que atenúa el efecto negativo del aumento de fibra (Buxton et al., 2003; Khorasani, Okine, Kennelly y Helm, 1993), ejerciendo un efecto de dilución en la FND, FAD y hemicelulosa. Es por esto que, en el caso de la avena, así como de otros cereales, adelantar la fecha de corte no siempre se refleja en una mejor respuesta animal (Khorasani y Kennelly, 1997; Baron, Okine y Dick, 2000). Al respecto, Dumont y Lanuza (1990) afirman que cuando la avena se cosecha para ensilaje, es conveniente hacerlo en estados más tardíos, a pesar de que haya una disminución en la digestibilidad del forraje, ya que el consumo de ensilaje suele ser mayor. Además, los autores expresaron que la fermentación en el ensilaje era más favorable ya que se generaba menor cantidad de N en forma de amoníaco. Khorasani et al. (1993) y Edmisten, Green, Mueller y Burns (1998) en concordancia con lo anteriormente dicho, afirman que, en el caso de los cereales de invierno, es recomendable cosechar en estado de grano pastoso. Por lo tanto, los mismos son recomendables de llevarse a cabo con un contenido de MS de 250–450 g/kg, obteniendo un material que fermenta bien; donde los granos se digieren de manera eficiente y el contenido de energía metabolizable es similar al del ensilado de pasto, con mayor almidón, a pesar de tener un contenido de proteína cruda menor (McDonald et al., 2010).

En conclusión, el estado de madurez de la planta previamente a la elaboración del ensilaje condiciona la composición de la misma, influyendo en el desempeño posterior del ensilaje.

2.2.2. Composición química de la planta

2.2.2.1. Concentración de agua

La concentración de agua del forraje es importante durante el ensilaje debido a sus efectos sobre la fermentación, la producción de efluentes y el deterioro aeróbico. Cuando tenemos un contenido de MS cercano a 300g/kg (McDonald et al., 2010), esto ayuda en la compactación del ensilaje, logrando obtener un ambiente anaeróbico. Sin embargo, cuando la humedad es limitada, además de dificultar la compactación del forraje, puede hacer que un cultivo sea propenso a problemas de levadura y moho. Mientras que el alto contenido de ésta conduce a efluentes excesivos, pudiendo llegar a transcurrir fermentaciones prolongadas (Buxton et al., 2003). El efluente es muy rico en nutrientes, contiene azúcares, compuestos nitrogenados solubles, minerales y ácidos de fermentación. Cuando se ensilan cultivos con un contenido de MS de aproximadamente 150 g/kg las pérdidas de MS efluente pueden alcanzar hasta un 10%. Sin embargo, si se ensilan cultivos de aproximadamente 300 g/kg de MS, puede haber poca o ninguna pérdida de efluente (McDonald et al., 2010). Buxton et al. (2003) describen que muchos forrajes se cortan y se dejan marchitar en el campo antes de ser ensilados, para reducir la concentración de agua de la hierba, evitando el exceso de efluentes.

2.2.2.2. Carbohidratos no estructurales

Los AS tienen la capacidad de modificar el tipo y la extensión de la fermentación del ensilaje, ya que la acidificación solo puede proceder si es suficientemente fermentable el sustrato que está disponible para las bacterias que participan en este proceso (Buxton et al., 2003). Los mismos, presentan en los forrajes un dinamismo constante en lo que respecta a los cambios en su composición y ubicación, reflejando un equilibrio entre procesos anabólicos y catabólicos (Rooke y Hatfield, 2003). Estos compuestos son la principal fuente de sustrato disponible durante el ensilaje, así como también los ácidos orgánicos y compuestos nitrogenados. Sin embargo, cuando nos referimos a pasturas de estación fría, los AS, como la glucosa, fructosa, sacarosa y fructanos son cuantitativamente los sustratos más importantes para la fermentación (McDonald et al., 1991). También se presentan en los forrajes destinados a ensilaje el almidón, que es un polímero de unidades de α -D-glucosa, siendo el polisacárido de almacenamiento principal en muchas plantas, existiendo principalmente como amilosa o amilopectina (Morrison y Karkalas, 1990).

2.2.2.3. *Ácidos orgánicos*

Existe una variedad de ácidos orgánicos no volátiles en los forrajes, donde muchos de ellos son responsables del funcionamiento bioquímico de las plantas. En el forraje antes de la cosecha, los mismos son relevantes para el ensilado por dos razones. Pueden ser utilizados como sustratos por bacterias, incluidas las bacterias del ácido láctico durante la fermentación (Rooke y Hatfield, 2003); y, en segundo lugar, porque en su mayoría pueden hacer una contribución significativa a la capacidad de amortiguación del cultivo en pie, con todo lo que esto implica para el proceso de fermentación (Muck, Wilson y O'Kiely, 1991).

2.2.2.4. *Compuestos nitrogenados*

Los forrajes obtienen N inorgánico del suelo por absorción de las raíces, donde posteriormente los iones de amonio, en los tejidos de la planta, se combinarán con esqueletos de carbono para producir moléculas como los aminoácidos y las amidas. A su vez, los aminoácidos posteriormente se unen en estructuras más complejas denominadas proteínas (Rooke y Hatfield, 2003). Una amplia gama de compuestos nitrogenados se produce en el forraje, incluyendo proteínas, péptidos, aminoácidos, amidas, aminas, clorofila, nucleótidos, alcaloides y compuestos de N inorgánicos tales como NO_3 . A medida que aumenta el suministro de N, la mayor respuesta es en las enzimas, que son la categoría metabólicamente más activa, promoviendo así la fotosíntesis y el crecimiento. En el caso que el suministro de N sea mayor que el requerimiento a corto plazo, el exceso generalmente se almacena en la planta como NO_3 o amidas (Buxton et al., 2003).

Para poder conocer la cantidad de estos compuestos, convencionalmente como indicador de la contribución de los mismos en la MS de la planta, se usa la proteína cruda. Este valor es el producto del total de N medido multiplicado por 6.25, asumiendo así una fracción de proteína cruda compuesta de elementos orgánicos, sobre una base de peso molecular. La proteína verdadera en general, representa del 75 al 85% de la proteína cruda, pero puede ser mucho menor que esta. A medida que aumenta la proporción de MS, debido al avance en la madurez de las plantas, las proteínas solubles de hoja van disminuyendo su proporción (Lyttleton, 1973; Buxton et al., 1996).

2.2.3. Ambiente del cultivo

Los efectos ambientales interfieren afectando los procesos fisiológicos de la planta, teniendo incidencia en la tasa de desarrollo del forraje, el rendimiento y la calidad del mismo. La alteración de la relación hoja/tallo es lo principal que se ve afectado por el ambiente que rodea la planta, pero también existen otros aspectos en los que incide, como lo son la morfología y la composición química de la misma. Los factores ambientales que tienen mayor efecto sobre el valor nutritivo de los forrajes son la temperatura, el déficit hídrico, el régimen de radiación solar, de la mano de la disponibilidad de nutrientes disponibles (Buxton et al., 2003).

2.3. Evaluación de la calidad del ensilaje

Aunque el ensilaje se ha producido durante siglos, solo recientemente se han desarrollado técnicas para intentar evaluar los efectos del ensilaje sobre la calidad del cultivo y el posterior desempeño animal. El desarrollo de técnicas para evaluar la calidad del ensilado ha evolucionado junto con varios procesos. Donde se destaca el desarrollo de equipos mejorados de recolección y procesamiento, el desarrollo de métodos y estructuras de almacenamiento. A su vez, las necesidades alimentarias en constante cambio de los animales criados para un mayor potencial de producción impulsan el mejoramiento (Buxton et al., 2003). La evaluación del proceso del ensilaje es esencial cuando los tratamientos aplicados al mismo intentan modificar dicho proceso; así como también provee información de lo que sucede con el ensilado de diferentes especies y tratamientos, con el fin de realizar comparaciones. Los parámetros que fluctúan durante el ensilado incluyen pH, temperatura, tipo y número de microorganismos y productos de la fermentación (Buxton et al., 2003).

2.3.1. El pH

La típica estrategia para una exitosa preservación del forraje en forma de silo ha sido excluir el oxígeno, lo que rápidamente reduce el pH, haciéndolo de esta forma el tradicional indicador de éxito. Si bien el pH sigue siendo uno de los buenos indicadores de una fermentación satisfactoria en los ensilajes con baja MS, no es un buen indicador para los ensilajes con MS alta (Buxton et al., 2003). Leibensperger y Pitt (1987) evaluaron la variabilidad del pH con respecto al contenido de MS del cultivo a ensilar, ensayando con gramíneas y alfalfa. El estudio mostró que si el contenido de MS se encontraba por encima de 25-30% el pH era dificultoso de disminuir. De la misma manera Calsamiglia, Ferret y Bach (2006) observaron resultados similares en sus trabajos sobre ensilaje de avena en España, en los que a medida que aumentaba el contenido de MS, el pH también aumentaba. Entre ciertos valores, cuanto menor humedad tiene el cultivo original, mayor será el grado de dificultad para alcanzar un pH próximo a 4 en el ensilaje (Leibensperger y Pitt., 1987). Por lo tanto, el pH crítico al que se produce una adecuada fermentación puede variar con el contenido de MS del cultivo ensilado, donde es más difícil alcanzarlo en los cultivos de alta capacidad de amortiguación. Las leguminosas por ejemplo tienen una mayor capacidad de amortiguación que las gramíneas y, por lo tanto, son más difíciles de ensilar satisfactoriamente. Con cultivos que tienen un contenido de MS de aproximadamente 200 g/kg, el logro de un pH de alrededor de 4,0 normalmente preservará el cultivo satisfactoriamente, siempre que el silo permanezca hermético y libre de penetración por lluvia (McDonald et al., 2010). En el caso de los procesos de fermentación llevados a cabo en silos experimentales o silos a escala comercial, se puede determinar el pH

de manera efectiva con electrodos de sonda, aunque esto puede resultar difícil en un ensilaje con alto contenido de MS. Una técnica sugerida para la evaluación del mismo en muestras con alto contenido de MS es mediante macerado del forraje o ensilaje según la técnica descrita por Parker (1979). Otro método común es medir el pH del jugo expresado a partir del ensilaje con un medidor de pH (Wilson & Wilkins., 1972). Debemos tener en cuenta que el pH bajo reduce la ingesta, pero también lo hace el pH alto (McDonald et al., 2010).

2.3.2. Temperatura

Los cambios de temperatura pueden ser útiles indicadores de la velocidad de la fermentación primaria, así como también de la aparición de la fermentación secundaria. La temperatura puede afectar directamente algunos elementos del ensilaje, por ejemplo, la proteólisis y la actividad de los microorganismos; por lo tanto, es deseable controlar la temperatura del silo. Los efectos que causa en la fermentación han sido estudiados por medio de silos de laboratorio a diferentes temperaturas. La misma puede ser monitoreada en el silo de forma regular o continua, usando termómetros calibrados colocados durante el proceso de ensilado, lo cual permite distinguir la producción de calor debida a la fermentación, de la producción de calor debida a la actividad aeróbica en la superficie y calor proveniente del sol (Buxton et al., 2003).

2.3.3. Ácido láctico

Es uno de los indicadores más importantes de la fermentación en el ensilaje de MS bajo. El contenido de ácido láctico no es necesariamente un indicador de una fermentación exitosa en los ensilajes con alto contenido de MS, que generalmente se someten a un menor nivel de fermentación. La concentración de ácido láctico se ha determinado por distintas técnicas, pero se prefiere la cromatografía de gas líquido (GLC) (MAFF-78, 1986), ya que estos métodos también cuantifican los alcoholes y los AGV (Buxton et al., 2003).

2.3.4. Ácidos grasos volátiles

Los AGV que se han identificado en el ensilaje incluyen ácido acético, butírico, isobutírico, caproico, isocaproico, fórmico, propiónico, succínico, valérico e isovalérico. A menudo, los ácidos acético y butírico, junto con el ácido láctico, son los únicos ácidos reportados en el ensilaje, ya que típicamente representan la mayor parte de la concentración total de ácido orgánico en el ensilaje. Para la cuantificación de los mismos, en columnas se inyectan extractos acuosos de ensilaje neutros o ácidos, que generalmente contienen un estándar interno. La metodología específica es la de cromatografía de gas (GC) o cromatografía de gas líquido (GLC) depende de los materiales y las dimensiones de la columna, con una variedad de métodos descritos para estimar con éxito el AGV. El ácido láctico se puede determinar al mismo tiempo que los AGV mediante procedimientos de GC o GLC (Brotz y Schaefer, 1987; MAFF-78, 1986; Porter, 1992).

2.3.5. Carbohidratos solubles en agua

La concentración de AS en forraje pre-ensilado proporciona una evaluación del suministro disponible de energía para la producción de ácido láctico durante el

ensilaje. Idealmente, el forraje debe contener solo AS suficiente para permitir una producción óptima de ácido láctico. Una cantidad de AS insuficiente restringirá la fermentación, mientras que la concentración de AS en exceso proporcionará un sustrato para los organismos indeseables durante el almacenamiento y la expulsión (Buxton et al., 2003). Para la evaluación de los almidones, se utilizan procedimientos que solubilizan los mismos por métodos enzimáticos o ácidos diluidos, así como los azúcares, se han denominado métodos de "carbohidrato suave" (Deriaz, 1961), pero se los conoce más correctamente como métodos de carbohidratos no estructurales totales (Smith., 1969). Los sistemas enzimáticos de la planta pueden modificar rápidamente la concentración de AS si no se desactivan. Las modificaciones a la concentración de AS se pueden minimizar mediante congelación rápida, seguida de secado por congelación, aunque la congelación no desactiva las enzimas. El secado rápido en horno también puede minimizar los cambios en los AS (Buxton et al., 2003). Se ha utilizado agua caliente o etanol para inactivar las enzimas (Kerepesi, Toth y Boross, 1996), donde se ha sugerido la extracción de soluciones de azúcar con alcohol para minimizar la solubilidad de las proteínas y otras interferencias (Wiseman, Mallack y Jacobson, 1960). La concentración total de AS puede basarse en la reacción del ácido fenol-sulfúrico con carbohidratos, seguida de una medición espectrofotométrica (Dubois, Gilles, Hamilton, Rebers y Smith, 1956).

En suma, los cultivos como la Avena son sumamente aptos para el proceso de ensilado, debido a su alto nivel de AS, su baja CB y el hecho de que su contenido de humedad se controla fácilmente. El ensilaje de Avena es una excelente fuente de forraje para los rumiantes debido a su valor nutritivo y su potencial para un alto consumo de MS. Gracias a estas propiedades, existe un creciente interés mundial en la producción y el uso de ensilaje de este tipo de cultivos como fuente de forraje para diversas explotaciones (Kennelly y Weinberg, 2003).

3. HIPÓTESIS

El estado de madurez de la planta de Avena Cantara LEA-1 al momento de corte afectará la calidad del ensilaje.

En estados de madurez tempranos, el ensilaje presentará adecuada fermentación y compactación, pero con gran producción de efluentes. Mientras que los ensilajes confeccionados a partir de Avena Cantara LEA-1 cosechada en estados tardíos presentarán escasa producción de efluente, pero una calidad inferior debido a una menor compactación y cantidad de sustratos deseables.

4. OBJETIVO

4.1. Objetivo general

Evaluar el efecto del estado fenológico sobre la calidad de ensilaje de planta entera de avena granífera.

4.2. Objetivos específicos

1. Evaluar el efecto del estado fenológico sobre la calidad de fermentación del ensilaje de planta entera.
2. Evaluar el efecto del estado fenológico sobre la composición química del ensilaje de planta entera.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Material experimental

El experimento se llevó a cabo con un cultivo de *Avena sativa* variedad Cantara (LEA 1).

5.2. Implantación del cultivo, suelo y clima

La implantación del cultivo se realizó en la Unidad de Lechería de la estación experimental de INIA La Estanzuela (Colonia, Uruguay, 34°20'S, 57°41'O), sobre suelos tipo Brunosol eútrico típico. Previo a la siembra se realizaron tres aplicaciones con un herbicida no selectivo (Glifosato Roundup full®: 4, 2, 2 L/ha). La siembra se realizó el día 4 de junio de 2013 con una densidad de 100 kg/ha y en ese mismo momento se fertilizó con 18 kg N/ha y 46 kg P/ha (fertilizante compuesto: 18-46-46-0). Se aplicaron 23 y 46 kg N/ha en forma de urea, 62 y 93 días después de la siembra respectivamente. El control de malezas y plagas fue realizado mediante un herbicida de hoja ancha (principio activo de clorsulfurón) y un mojante y dispersante tensioactivo iónico (25 gr/ha de Glean® + 150 gr de Agral®).

5.3. Cosecha y ensilaje

La cosecha fue llevada a cabo en parcelas de 6 x 8 metros, las cuales se distribuyeron en un diseño de bloques completos al azar con tres bloques por estado fenológico. Los estados fenológicos se clasificaron de acuerdo a la clave decimal propuesta por Zadoks, Chang y Konzak (1974). La avena se cosechó en seis estados

fenológicos: embuche (Z45), floración completa (Z59), grano acuoso (Z69), grano lechoso (Z73), grano pastoso (Z83) y grano duro (Z91). La cosecha se realizó a los 125, 132, 139, 146, 161 y 170 días desde la siembra respectivamente.

El corte fue realizado con una segadora experimental (Honda MFC160) a 15 centímetros del suelo. El forraje cosechado fue picado con una picadora mecánica (Nogueira EN-9F3A), siendo el tamaño promedio de partícula de 2-4 centímetros y fue inmediatamente ensilado. La composición química del forraje fresco fue analizada y los resultados se presentan en el Cuadro I (Stirling, 2016). El forraje picado fue compactado con una prensa manual en baldes de plástico de 22 litros (ATMA®, Montevideo, Uruguay) con tapa de cierre hermético y pico vertedor, los cuales se utilizaron posteriormente para la recolección de efluente. Los mismos fueron cerrados herméticamente, pesados y almacenados en un lugar oscuro a temperatura ambiente. Durante el período de ensilaje se recolectó la producción diaria de efluente. A los 64 días de ensilaje los microsilos fueron pesados y abiertos. Se realizaron 3 microsilos experimentales por bloque, con un total de 9 microsilos por estado fenológico. Se tomó una muestra de ensilaje de cada microsilos las cuales fueron conservadas para posterior análisis.

Cuadro I. Composición química del forraje fresco en los seis estados fenológicos.

Días ^a	Forraje Fresco					
	125	132	139	146	161	170
Estado fenológico ^b	Z45	Z59	Z69	Z73	Z83	Z91
Composición química ^c						
MS (g/kg)	144	151	178	234	362	512
Cenizas	82	86	90	79	77	63
PB	107	99	86	73	62	61
PS (g/kg PB)	335	356	398	370	255	153
FND	537	627	661	599	568	571
FAD	351	412	449	367	359	336
HC	186	215	211	232	210	232
Lignina	45	62	72	59	84	71
NIDA	3,1	2,9	3,2	2,2	2,5	2,1
NIDN	4,3	4,4	4,3	3,5	3,8	3,2
Almidón	26	23	28	50	183	201
AS	115	49	33	68	22	17

^a Estado fenológico expresado en días desde la siembra.

^b Estado fenológico expresado acorde a Zadoks et al. (1974).

^c MS, Materia seca; PB, proteína bruta; PS, proteína soluble; FND y FAD, fibra neutro y fibra ácido detergente; HC, hemicelulosa; NIDA y NIDN, nitrógeno adherido a la fibra ácido y neutro detergente; AS, azúcares solubles.

5.4. Mediciones y análisis

5.4.1. Calidad de fermentación y pérdidas

La densidad de los silos fue calculada como la relación entre el contenido de materia fresca (kg) y el volumen del recipiente (m³) cuando el forraje fue introducido en los baldes. El volumen de efluente (L/t MS) fue recolectado y registrado diariamente durante el almacenamiento. Tras 64 días de ensilaje, los baldes se abrieron y el contenido de los silos se mezcló y muestreó. Una muestra de ensilaje de cada microsilos (10 g) se homogeneizó con 100 mL de agua destilada y se midió el pH del extracto con un pHmetro digital (Cole Parmer Instrument Co., Oakton, Singapore). El

incremento de PS respecto al forraje original se calculó para cada microsilo antes y después del ensilaje y se expresó en g/kg de PS.

5.4.2. Análisis químicos

Las muestras de cada microsilo (n=54) fueron descongeladas, secadas a 60°C durante 48 horas y molidas a 1 milímetro. Para el cálculo del contenido de MS, la muestras fueron secadas en estufa a 105°C hasta peso constante (Método 7.003; AOAC, 1997). La determinación de las cenizas fue realizada por combustión a 600°C durante dos horas en mufla (Método 7.009; AOAC, 1997). La Proteína bruta (PB) fue determinada a partir del contenido de N utilizando el método Kjeldahl (Método 984.13, AOAC, 1997). La FND (Mertens et al., 2002) y FAD (Método 973.18; AOAC 1997) fue analizada de forma no secuencial usando un analizador de fibra (Tecnal TE-149, Piracicaba, Sao Paulo, Brasil). Para la determinación de FND fue utilizada alfa-amilasa termoestable y sulfito de sodio, y todos los resultados de fibra se expresaron excluyendo el contenido de cenizas residuales. El contenido de hemicelulosa (HC) fue determinado por diferencia entre FND y FAD. La lignina fue determinada mediante solubilización de la celulosa con ácido sulfúrico de acuerdo con la técnica descrita por Van Soest (1981). Los azúcares totales solubles en etanol fueron determinados según Dubois et al. (1956). El almidón se determinó con el método enzimático (Método 996.1; AOAC, 1997) utilizando un kit comercial (Megazyme International Ireland Ltd., Bray, Co. Ireland). El nitrógeno asociado a la fibra neutro y ácido detergente (NIDN y NIDA) fue analizado según AOAC (1997), sobre los residuos de FND (sin sulfito de sodio) y FAD. La proteína soluble (PS) fue determinada según Licitra, Hernandez y Van Soest, (1996). La capacidad buffer (CB) del forraje fresco se determinó según Jasaitis, Wohlt y Evans, (1987). Todas las muestras fueron analizadas por duplicado, aceptando coeficientes de variación entre análisis del 3 al 5% según el parámetro.

5.5. Análisis estadístico

Los datos fueron analizados mediante un modelo mixto, utilizando el procedimiento MIXED del SAS (SAS 9.0V, SAS Institute Inc., Cary, NC). Para los datos de composición química fue analizado el efecto del estado fenológico mediante regresiones lineales y cuadráticas, según 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 fenológico ($i = 6$ estados fenológicos), B_j es el efecto aleatorio del bloque ($j = 3$ bloques) y ϵ_{ij} es el error residual.

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

En el Cuadro II se presentan los resultados de calidad de fermentación. La densidad del material alcanzada en los microsilos descendió (L y C; $P < 0,01$) a medida que avanzó el ciclo del cultivo, siendo la densidad promedio alcanzada desde embuche hasta grano pastoso (Z45-73) de 695 kg MF/m³, descendiendo a valores de 546 y 420 kg MF/m³ en los estados fenológicos más tardíos (Z83 y 91). El pH del ensilaje aumentó (L y C; $P < 0,01$) con la madurez del cultivo; se mantuvo por debajo de 4,2 desde embuche hasta grano lechoso (Z45-73) y aumentó en los estados de grano pastoso y duro (Z83-91). La producción de efluente descendió linealmente ($P < 0,01$) desde embuche hasta grano duro, pasando de 427 L/t MS entre embuche y grano acuoso (Z45-69) a 39 L/t MS en grano lechoso, siendo nula en grano pastoso y duro (Z83-91). Hubo un incremento de la PS en todos los estados fenológicos, aunque este incremento fue menor en grano pastoso y duro (Z83-91). La CB del forraje fresco descendió linealmente ($P < 0,01$) con el aumento de madurez del cultivo.

Cuadro II. Calidad de fermentación y efluentes del ensilaje en los seis estados fenológicos (Z45-Z91).

Ítem	Estado fenológico ¹						EEM ²	P ³	
	Z45	Z59	Z69	Z73	Z83	Z91		L	C
Días ⁴	125	132	139	146	161	170			
Densidad (kg MF/m ³)	705	695	699	680	546	420	5,7	<0,01	<0,01
pH	4,21	4,10	4,04	4,07	4,81	5,10	0,03	<0,01	<0,01
Efluente (L/t MS)	453	463	364	39	0	0	29,9	<0,01	<0,01
Inc.PS (g/kg PS) ⁵	445	455	467	514	479	738	34,9	<0,01	<0,01
CB (meq/kg MS) ⁶	145	149	102	154	102	82	3,7	<0,01	0,29

¹Estado fenológico expresado acorde a Zadoks et al. (1974).

²Error estándar de la media ($n=9$ por estado fenológico, $n=3$ por bloque).

³Nivel de significancia del efecto lineal (L) y cuadrático (C) del estado fenológico en el ensilaje.

⁴Estado fenológico expresado en días desde la siembra.

⁵Inc. PS; incremento de proteína soluble respecto al forraje fresco.

⁶CB; capacidad buffer del forraje fresco.

En el Cuadro III se presentan los resultados de composición química en función del estado fenológico del cultivo al corte para ensilaje. El contenido de MS de ensilaje aumentó con la madurez del cultivo (L y C; $P < 0,01$). El contenido de PB y PS descendió a tasas decrecientes a lo largo del ciclo (L y C; $P < 0,01$). El contenido de FND y FAD presentó un efecto cuadrático ($P < 0,01$), aumentando desde embuche hasta grano acuoso-lechoso para después descender a valores cercanos a los iniciales. La HC ascendió a tasas crecientes (L, $P < 0,01$; C, $P = 0,04$) a lo largo del ciclo y la lignina aumentó (L y C; $P < 0,01$) con la madurez del cultivo. La concentración de AS del ensilaje fue baja a lo largo de todos los estados fenológicos, mientras que la concentración de almidón aumentó a lo largo del ciclo del cultivo (L y C; $P < 0,01$).

Cuadro III. Composición química del forraje ensilado en los seis estados fenológicos (Z45-Z91).

	Tratamiento						EEM ⁴	P ¹	
	Días ²	125	132	139	146	161		170	L
Estado fenológico ³	Z45	Z59	Z69	Z73	Z83	Z91			
MS (g/kg)	155	171	202	242	318	492	2,3	<0,01	<0,01
Cenizas	78	82	80	81	76	72	0,9	<0,01	<0,01
PB	104	89	77	73	74	69	0,8	<0,01	<0,01
PS (g/kg PB)	517	557	628	561	362	244	4,7	<0,01	<0,01
FND	539	618	655	585	576	548	4,9	0,07	<0,01
FAD	363	420	425	400	407	376	4,3	0,93	<0,01
HC	175	200	227	190	165	171	6,2	0,05	<0,01
Lignina	36	56	72	61	89	79	3,4	<0,01	0,01
NIDA	1,6	1,7	1,6	1,7	2,0	2,4	0,09	<0,01	0,01
NIDN	2,2	2,2	2,1	1,8	2,0	2,2	0,09	0,50	<0,01
Almidón	34	25	7	21	123	181	1,16	<0,01	<0,01
AS	19	12	17	14	15	8	1,46	<0,01	0,33

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

² Estado fenológico expresado en días desde la siembra.

³ Estado fenológico expresado acorde a Zadoks et al. (1974).

⁴ Error estándar de la media (n=9 por estado fenológico, n=3 por bloque).

⁸ MS, Materia seca; PB, proteína bruta; PS, proteína soluble; FND y FAD, fibra neutro y fibra ácido detergente; HC, hemicelulosa; NIDA y NIDN, nitrógeno insoluble en detergente ácido y neutro; AS, azúcares solubles.

7. DISCUSIÓN

7.1. Calidad de fermentación

En términos de calidad de fermentación, se observó que en los estados fenológicos tempranos (embuche y floración) se logró una fermentación adecuada, con valores de pH cercanos a 4, sin embargo, con alta producción de efluente. En estos estados de madurez, el alto contenido de humedad y bajo contenido de MS, fueron factores que claramente ejercieron influencia sobre el proceso de fermentación. En primer lugar, el bajo contenido de MS del cultivo en esta fase (< 200 g/kg), permitió realizar una buena compactación del forraje, logrando una elevada densidad. El cultivo de avena ensilado en este trabajo, presentó adecuados niveles de AS (115 – 49 g/kg MS), los cuales son el sustrato de fermentación de las bacterias lácticas (Beltrán y Bernardí, 2019). El bajo pH del ensilaje junto con el bajo contenido de AS residuales reportados indica que se produjo una adecuada fermentación láctica. Teniendo en cuenta que el pH es un indicador de la calidad del ensilaje, en estos estados fenológicos el mismo se mantuvo por debajo de 4,2, indicando que se produjo la fermentación de los azúcares del cultivo, alineado con lo que afirma Mc. Donald et al., (2010), donde un pH de alrededor de 4,0 normalmente preservará el cultivo satisfactoriamente, siempre que el silo esté en buenas condiciones. Este valor de pH hace que se inhiban los microorganismos indeseables, que podrían llevar a que el ensilaje se deteriore y hasta transformarlo en un alimento potencialmente tóxico para los animales (Mc. Donald et al., 2010). En lo que respecta a la capacidad buffer, a diferencia de las leguminosas que presentan una alta capacidad buffer (472 meq/kg MS) el cultivo de avena evaluado presentó una baja capacidad buffer (122 meq/kg MS) que contribuyó en cierta medida a el descenso del pH (McDonald et al., 1991), teniendo en cuenta que es la capacidad de resistir a cambios en el pH del ensilaje (McDonald., 1981). En este sentido, en estados fenológicos tempranos se observó una elevada producción de efluente. El efluente es muy rico en nutrientes, contiene azúcares, compuestos nitrogenados solubles, minerales y ácidos de fermentación (Buxton et al., 2003). En la bibliografía se reporta que cuando se ensilan cultivos con un contenido de MS de aproximadamente 150 g/kg las pérdidas de efluente pueden alcanzar hasta un 10% (Buxton et al., 2003), tal y como se observó en este estudio. Por lo tanto, en el caso que se ensilara esta variedad de avena en etapas tempranas de madurez, sería recomendable realizar algún manejo como el premarchitado (Muck et al., 2003) para reducir el contenido de MS y evitar de esta forma las pérdidas de nutrientes a través del efluente y la consiguiente contaminación del ambiente por parte del mismo.

En los estados fenológicos intermedios (grano acuoso y grano lechoso), el mayor contenido de MS del cultivo no comprometió la compactación del ensilaje, reduciendo considerablemente la producción de efluente. En estos estados, el pH se mantuvo bajo (< 4,2) confirmando que aún en estados más avanzados de madurez, con contenidos de MS del entorno de 200 g/kg se puede lograr una fermentación exitosa minimizando las pérdidas de nutrientes por el efluente.

En los estados fenológicos más tardíos, debido al aumento del contenido de MS del cultivo como consecuencia de la madurez del mismo, la compactación se vio comprometida, indicada por el descenso de la densidad del ensilaje. Por otro lado, el pH del ensilaje aumentó a valores cercanos a 5,0 indicando una fermentación restringida. Son varios los factores que explican la menor calidad de fermentación, como son; el bajo nivel de sustrato fermentables en estados de maduración avanzados

(Beltrán y Bernardi, 2019), y el alto contenido de MS que impide la adecuada compactación y por tanto da lugar al posible desarrollo de hongos y levaduras (Buxton et al., 2003). La densidad del ensilaje es un factor importante tanto por el manejo del silo en el campo, como por la biología de la fermentación, ya que la exclusión del aire permite alcanzar condiciones anaeróbicas, la cual es un prerrequisito para una buena fermentación y una alta recuperación de la MS del silo (Muck et al., 2003).

En síntesis, este trabajo muestra que el contenido de MS y el de AS del cultivo son los principales factores determinantes de la calidad del ensilaje en la avena evaluada. Así, las limitantes para alcanzar una adecuada fermentación del ensilaje fueron distintas según el estado fenológico del cultivo en el momento de la cosecha. Entre embuche y floración, si bien se produjo una adecuada fermentación, el alto contenido de humedad del cultivo condujo a una elevada producción de efluente. En los estados de grano acuoso y lechoso se produjo una correcta fermentación y sin producción de efluente. Finalmente, entre grano pastoso y grano duro, el bajo contenido de humedad y de azúcares solubles, produjo una restricción en la fermentación.

7.2. Composición química del ensilaje

El ensilaje confeccionado en los estados de embuche y floración completa presentó bajo contenido de MS, FND, FAD, HC y lignina, los cuales aumentaron a medida que se cosechaba y ensilaba en estados fenológicos más avanzados (McDonald et al., 2010). Por otro lado, el ensilaje confeccionado en estos estados tempranos presentó alto contenido de PB, debido a la mayor proporción hoja/tallo. Con respecto al almidón, el ensilaje confeccionado en estos estados del desarrollo presentó valores bajos, ya que el cultivo no presenta grano aún (Buxton et al., 2003). El NIDA presentó valores bajos en las etapas iniciales del ensilaje, indicando que transcurrió una proteólisis, ya que el bajo contenido de MS favorece la misma, prima que se cumple en los estados iniciales de desarrollo del material ensilado (Stirling, 2016). Aplicar la técnica del premarchitado en estos estados fenológicos colaboraría a mejorar los valores nutritivos del cultivo.

El ensilaje confeccionado en las etapas siguientes, grano acuoso y grano lechoso, mostró disparidad entre los componentes químicos, pero los resultados observados estuvieron en línea con lo descrito en la bibliografía. Por ejemplo, la MS, FND, FAD, HC y lignina tuvieron un aumento con el avance del proceso de maduración, como fue mencionado anteriormente. Esto también es un efecto del aumento de la proporción de tallos en la planta (McDonald et al., 2010). La PB del ensilaje elaborado en estas etapas del cultivo, experimentó una disminución de sus valores, atribuido al aumento de la proporción de fibra en la planta y sumado al detrimento de la proporción de hojas, donde la proteína abunda. También el almidón presente en el ensilaje en estas etapas del desarrollo presenta valores bajos, ya que la formación del grano de avena no es plena como para evidenciar una reserva importante de este componente. Estas características nos llevan a un ensilaje de calidad moderada y con una aceptación algo menor por parte de los animales, ya que la fibra ejercerá en cierto grado de limitante del consumo.

En cambio, el ensilaje cuando fue elaborado en los estados fenológicos de grano pastoso y grano duro, tal como se esperaba, mostró un aumento considerable del contenido de MS. Como consecuencia, se observó una disminución de los componentes que promueven la fermentación (Dumont et al., 2005). A su vez, la formación del grano, generó un efecto de dilución que tuvo repercusión en varios de los componentes estudiados en el ensilaje, reflejado en una disminución en los valores de FND, FAD, HC y lignina (Khorasani et al., 1997). La PB del ensilaje, siguió el mismo comportamiento decreciente que mostró en las etapas de grano acuoso y grano lechoso, en esta etapa manifestó sus mínimos valores coincidiendo con lo descrito por Buxton et al., (2003). Los AS al estar asociados a la fracción foliar de la planta también culminaron con un acentuado detrimento en el ensilaje elaborado en estos estados fenológicos. Esto llevó a una escasez de sustrato para la formación de ácido láctico, dando lugar a una fermentación insuficiente y un pH elevado (Buxton et al., 2003). En cambio, el almidón tuvo un aumento destacado, ya que ensilar en estas etapas coinciden con la presencia del grano maduro, pero insuficiente como para lograr palear significativamente la falta de AS.

8. CONCLUSIONES

El estado fenológico de la planta al momento de realizar el ensilaje ejerció un efecto en la calidad del mismo. Se observó que el ensilaje elaborado en etapas tempranas de desarrollo presenta una fermentación y una compactación adecuada, pero con una alta producción de efluentes; cuando es confeccionado en etapas intermedias, no se ve afectada la compactación y tampoco la fermentación, pero desaparece la producción de efluentes; y cuando es hecho en etapas tardías muestra una compactación y una fermentación deficiente, con nula producción de efluentes. Esto nos lleva a confirmar la hipótesis planteada, brindando una herramienta de selección del momento ideal de cosecha según el propósito que se busque.

La composición química del ensilaje también se vio afectada por el estado fenológico al momento de corte. La cosecha en etapas tempranas del desarrollo de la planta generó un ensilaje con una cantidad de proteína mayor, escasa fibra y muy bajos niveles de almidón. Sin embargo, cuando se ensiló en etapas intermedias el ensilaje presentó cantidades moderadas de proteína, un aumento importante de la fibra y casi nula presencia de almidón. En cambio, cuando se elaboró el ensilaje en etapas tardías de desarrollo, la proteína mostró valores bajos, a diferencia de la fibra que fue alta, así como el almidón que por el desarrollo del grano presentó altos valores.

Independientemente del objetivo productivo, un momento adecuado para elaborar un ensilaje de Avena var. cantara LEA-1 sería en las etapas intermedias de madurez (grano acuoso y grano lechoso), ya que la fermentación es exitosa y la calidad nutricional es adecuada.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen M.S., Oba, M. y Choi, B.R. (1997). Nutritionist's perspective on corn hybrids for silage. En Northeast Regional Agric. Eng. Serv, *Silage: Field to feedbunk*. NRAES-99. (pp. 25-36). Ithaca, NY.
- Association of Official Analytical Chemists. (1997). International Official Methods of Analysis. 16th Edition, AOAC, Arlington.
- Baron, V.S., Okine, E. y Dick, A.C. (2000). Optimizing yield and quality of cereal silage. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/237296577_Optimizing_Yield_and_Quality_of_Cereal_Silage.
- Beltrán Gandini, H. A., y Bernardi Correa, G. F. (2019). Evaluación de los efectos del estado de madurez sobre la composición química de avena sativa variedad cantara para la elaboración de ensilaje de planta entera. Facultad de veterinaria, UDELAR, Montevideo.
- Brotz, P. G., y Schaefer, D. M. (1987). Simultaneous determination of lactic and volatile fatty acids in microbial fermentation extract by gas-liquid chromatography. *Journal of Microbiological Methods*, 6(3), 139-144.
- Buxton, D. R., Mertens, D. R., y Fisher, D. S. (1996). Forage quality and ruminant utilization. *Cool-season forage grasses*, 34, 229-266.
- Buxton, D.R., Muck, R.E. y Harrison, J.H. (2003). *Silage Science and Technology*. Madison, Wisconsin, USA: Library of Congress Control Number: 2003109369.
- Cajarville, C., Stirling, S. y Repetto, J.L. (2014). Ensilajes de pastura de alta calidad: asignatura pendiente en el camino de intensificación de los sistemas lecheros. Últimos avances tecnológicos para mejorar el proceso de elaboración. Recuperado de Jornadas Uruguayas de Buiatría Sitio web: https://bibliotecadigital.fvet.edu.uy/bitstream/handle/123456789/1981/JB2014_61-70.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Calsamiglia, S., Ferret, A., y Bach, A. (2006). Tablas FEDNA de valor nutritivo de Forrajes y Subproductos fibrosos húmedos. Segunda edición. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal.
- Deriaz, R. E. (1961). Routine analysis of carbohydrates and lignin in herbage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 12(2), 152-160.
- Diaz Rossello, R. & Durán, H. (2011). Los sistemas lecheros y su impacto en el recurso suelo. In: Seminario (2011, Montevideo, UY). Sustentabilidad ambiental de los sistemas lecheros en un contexto económico de cambios. La Estanzuela: INIA, 2011., (Serie Actividades de Difusión; 663), p. 47-51. diciembre, 2018, De INIA La Estanzuela Base de datos.

- Díaz, J. (2012). *Bases del llamado a interesados para la producción y comercialización de semilla del cultivar de avena granífera LEA 1*. Recuperado de INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACION AGROPECUARIA http://www.inia.org.uy/estaciones/las_brujas/actividades/documentos/av_cantara.pdf.
- Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias. (2013). Anuario estadístico agropecuario. Recuperado de http://www.mgap.gub.uy/dieaanterior/anuario2013/diea_anuario_2013.pdf
- Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias. (2018). Estadísticas del sector lácteo 2014. Montevideo. 54p. (Serie Trabajos Especiales no. 332).
- Dubois, M., Gilles, K.A., Hamilton, I.K., Rebers, P.A. y Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substrates. *Analytical Chemistry*. 28:350-356.
- Dumont J.C., Anrique, R. y Alomar, D. (2005). *Efecto de Dos Sistemas de Determinación de Materia Seca en la Composición Química y Calidad del Ensilaje Directo de Avena en Diferentes Estados Fenológicos*. Abril 22, 2019, de Agricultura Técnica (Chile) Recuperado del sitio web: <http://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072005000400005>.
- Dumont, J.C., y Lanuza, F. (1990). Producción y composición química de la avena (*Avena sativa* L.) en diferentes estados de desarrollo. *Agríc. Téc. (Chile)*50:1-6. Recuperado de <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/39342>.
- Durán, H., La Manna, A. (2009). *Criterios para rehacer las rotaciones forrajeras*. Revista INIA, no. 17, pp. 48-50) Recuperado de http://www.inia.org.uy/online/files/contenidos/link_11022009035842.pdf
- Edmisten, K., Green, J., Mueller, P. y Burns, J. (1998) Winter annual small grain forage potential. I. Dry matter yield in relation to morphological characteristics of four small grain species at six growth stages. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 29:7-8, 867-879, DOI: 10.1080/00103629809369992
- Fariña, S. (2016). *Nuestros sistemas en el contexto actual y futuro*. Presentación oral. Recuperado de INIA La Estanzuela, base de datos. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/6144/1/Farina-FUCREA-INIA-Sistemas-junio-2016.pdf>
- Fariña, S., Chilibroste, P. (2019). *Opportunities and challenges for the growth of milk production from pasture: The case of farm systems in Uruguay*. *Agríc. Syst.* 176. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.05.001>
- Hall, M.B. (2000). Neutral detergent-soluble carbohydrates: Nutritional relevance and analysis. Florida Coop. Ext. Ser. Bull. 339. Gainesville, FL: Univ. of Florida.
- Harrison, J., P. Huhtanen, and M. Collins. (2003). Perennial grasses. En *Silage science and technology*. (Agron. Monogr. 42. ASA, CSSA, and SSSA pp. 665-748). Madison, Wisconsin, USA: Library of Congress Control Number: 2003109369.

- Hoffman, P. C., Sievert, S. J., Shaver, R. D., Welch, D. A., y Combs, D. K. (1993). In situ dry matter, protein, and fiber degradation of perennial forages. *Journal of Dairy Science*, 76(9), 2632-2643.
- Instituto Nacional de la Leche. (2014). Encuesta Lechera 2014, Resultados preliminares. Montevideo s.p.
- Irigoyen A., Majó E., & Chalkling D. (2011). Relevamiento nacional de reservas forrajeras y caracterización de su uso en establecimientos comerciales. Montevideo (UY): INIA-IPA, 2011., Proyecto FPTA-119, p.9-10. Dic, 2018, De INIA Las Brujas. Base de datos.
- Jasaitis D.K., Wohlt J.E., Evans J.L. (1987). Influence of feed ion content on buffering capacity of ruminant feedstuffs *in vitro*. *J. Dairy Sci.* 70, 1391–1403.
- Kennelly, J. J., y Weinberg, Z. G. (2003). Small grain silage. *Silage science and technology*, 42, 749-779.
- Kerepesi, I., Toth, M., y Boross, L. (1996). Water-soluble carbohydrates in dried plant. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44(10), 3235-3239.
- Khorasani, G. R., Okine, E. K., Kennelly, J. J., y Helm, J. H. (1993). Effect of whole crop cereal grain silage substituted for alfalfa silage on performance of lactating dairy cows. *Journal of dairy science*, 76(11), 3536-3546.
- Khorasani, G. R., y Kennelly, J. J. (1997). Optimizing cereal silage quality. In *Western Canadian Dairy Seminar (USA)*.
- Kitcherside, M.A., Glen, E.F. y Webster, A.I.F. (2000). FiberCap: An improved method for the rapid Análisis of fibre in feeding stuffs. *Animal Feed Science Technology*, 86: 125-132.
- Komarek, A. R., Robertson, J. B., y Van Soest, P. J. (1994). A comparison of methods for determining ADF using the filter bag technique versus conventional filtration. *J. Dairy Sci*, 77(Suppl 1), 114.
- Krishnamoorthy, U., Muscato, T. V., Sniffen, C. J., y Van Soest, P. J. (1982). Nitrogen fractions in selected feedstuffs. *Journal of Dairy Science*, 65(2), 217-225.
- 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
- Leibensperger, R. Y., y Pitt, R. E. (1987). A model of clostridial dominance in ensilage. *Grass and Forage Science*, 42(3), 297-317.
- Li, X., Hansen, W. P., Otterby, D. E., Linn, J. G., y Kuehn, C. S. (1992). Effect of additives on fermentation of corn silage containing different amounts of added nitrate nitrogen. *Journal of dairy science*, 75(6), 1555-1561.

- Licitra, G., Hernandez, T. M., y Van Soest, P. J. (1996). Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. *Animal feed science and technology*, 57(4), 347-358.
- Lyttleton, J. W. (1973). Proteins and nucleic acids. *Chemistry and biochemistry of herbage*, 1, 63-103.
- MAFF-78. (1986). Method 78. Volatile fatty acids (C₁-C₆) and lactic acid in silage juice. p. 235-239. *In* The analysis of agricultural materials. A manual of the analytical methods used by the Agricultural Development and Advisory Service. Reference Book 427. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. Her Majesty's Stationary Office, London.
- Marten, G. C., Wheeler, J. L., y Mochrie, R. D. (1981). Chemical, in vitro, and nylon bag procedures for evaluating forage in the USA. *Forage Evaluation: Concepts and Techniques*. Griffen Press, Netley, South Australia, 39-55.
- McDonald, P., Edwards, R.A., Greenhalgh, J.F.D., Morgan, C.A., Sinclair, L.A. y Wilkinson, R.G. (2010). *Animal Nutrition* (7th edition). UK: Pearson.
- McDonald, P. (1981). *The biochemistry of silage*. UK: Chichester.
- McDonald, P., Henderson, A. R. y Heron, S. J. E. (1991). *The biochemistry of silage*. London: Chalcombe Publications.
- 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., Thiex, N., Williams, J. y 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(6), 1217-1240.
- Morrison, W. R., y Karkalas, J. (1990). Starch. *In Methods in plant biochemistry* (Vol. 2, pp. 323-352). Academic Press.
- Muck, R. E., Pahlow, G., Driehuis, F., Elferink, S. J. O. y Spoelstra, S. F. (2003). Microbiology of ensiling. *Silage science and technology*, 42, 31-93.
- Muck, R. E., Wilson, R. K., y O'Kiely, P. (1991). Organic acid content of permanent pasture grasses. *Irish Journal of Agricultural Research*, 143-152.
- Nakamura, T., Klopfenstein, T. J., Gibb, D. J., y Britton, R. A. (1994). Growth efficiency and digestibility of heated protein fed to growing ruminants. *Journal of animal science*, 72(3), 774-782.
- Parker, R.B. (1979). Methodology for determining quality of silage. *Nat. Feed Ingredients Assoc.*, West Des Moines, IA.
- Peyraud, J. L., y Delaby, L. (2001). Ideal concentrate feeds for grazing dairy cows-responses to supplementation in interaction with grazing management and grass quality. *Recent advances in animal nutrition: 2001*, 203-220.

- Porter, M. G. (1992). Comparison of sample preparation methods for the determination of the gross energy concentration of fresh silage. *Animal Feed Science and Technology*, 37(3-4), 201-208.
- Rooke, J.A. y Hatfield, R.D. (2003). Biochemistry of ensiling. En *Silage science and technology*. Agron. Monogr. 42. ASA, CSSA, and SSSA (pp. 95- 140) Madison, WI.
- Smith, D. (1969). Removing and analyzing total nonstructural carbohydrates from plant tissue. *Research Reports*. Wisconsin Coll. Agric. Life Sci., 41.
- Stefanon, B., Pell, A. N., y Schofield, P. (1996). Effect of maturity on digestion kinetics of water-soluble and water-insoluble fractions of alfalfa and brome hay. *Journal of Animal Science*, 74(5), 1104-1115.
- Stirling, S. (2016). Efecto del estado fenológico y del ensilaje sobre la composición química, calidad de fermentación y el aprovechamiento ruminal de la planta entera de avena granífera. Tesis de Maestría. Facultad de Veterinaria, Universidad de la Republica.
- Van Soest, P. J., Sniffen, C. J., Mertens, D. R., Fox, D. G., Robinson, P. H., y Krishnamoorthy, U. (1981). A net protein system for cattle: The rumen submodel for nitrogen. *Protein Requirements for Cattle (MP109-P)*, Stillwater, OH. Oklahoma State University, 265.
- Van Soest, P. V., Robertson, J. B., y Lewis, B. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of dairy science*, 74(10), 3583-3597.
- Van Soest, P.J. (1994). *Nutritional ecology of the ruminant*. Cornell University Press. Ithaca. NY.
- Weiss, W. P., Conrad, H. R., y Shockey, W. L. (1986). Digestibility of nitrogen in heat-damaged alfalfa. *Journal of dairy science*, 69(10), 2658-2670.
- Wilson, R. F., y Wilkins, R. J. (1972). The ensilage of autumn-sown rye. *Grass and Forage Science*, 27(1), 35-42.
- Wiseman, H. G., Mallack, J. C., y Jacobson, W. C. (1960). Silage analysis, determination of sugar in silages and forages. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 8(1), 78-80.
- Wohlt, J. E., Sniffen, C. J., y Hoover, W. H. (1973). Measurement of protein solubility in common feedstuffs. *Journal of Dairy Science*, 56(8), 1052-1057.
- Zadoks, J. C., Chang, T. T., y Konzak, C. F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Res*, 14(6), 4.