

## *El ensilado en zonas húmedas y sus indicadores de calidad*

*Dra. Begoña de la Roza-Delgado.*

*Responsable del Laboratorio de Nutrición Animal.*

*Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario del Principado de Asturias-*

### **INTRODUCCIÓN**

El ensilado es un proceso de conservación de forrajes u otros alimentos con elevado contenido en humedad, al abrigo del aire, la luz y la humedad exterior, mediante acidificación, que impide la continuidad de la vida vegetal y la actividad microbiana indeseable (Argamentería *et al.*, 1997). Esta acidificación, medible en forma de pH (a menor pH, más acidez), se consigue mediante fermentaciones que tienen lugar en el forraje segado.

El alimento prensado en el interior del silo experimenta una serie de transformaciones bioquímicas que permiten su conservación en el tiempo (Cañequo y Sancha, 1998). Éstas pueden clasificarse en dos tipos:

- Acción de las enzimas de la planta. Tienen lugar sobre los procesos respiratorios y sobre la descomposición de glúcidos y proteínas en el forraje segado.
- Acción de los microorganismos. Responsables de los procesos fermentativos del ensilado.

El fin esencial del ensilado es conservar los forrajes con un mínimo de pérdidas de materia seca y de nutrientes, manteniendo una buena apetecibilidad por el ganado y sin que se produzcan durante el proceso sustancias tóxicas para la salud animal. Aunque tiene sus condicionantes y problemas, resulta preferible a otros métodos de conservación, ya que permite una mayor independencia ante condiciones meteorológicas adversas, pudiendo además emplearse en forrajes como el maíz u otros productos de gran interés alimenticio, en los que no cabe otra forma de preservación. Además, facilita la mecanización de las explotaciones, ya que el proceso de recolección, realización y distribución del ensilado, puede ser íntegramente mecanizado (de la Roza *et al.*, 1999b).

### **METODOLOGÍA**

#### **1.- Procesos fermentativos del ensilado**

Adherida a la masa forrajera se encuentra la microflora responsable de las fermentaciones. Algunos de estos microorganismos acidifican la masa de forraje en condiciones de anaerobiosis. Otros, son perjudiciales creciendo y multiplicándose en presencia de aire y poca acidez.

Los principales procesos fermentativos que acontecen durante el proceso del ensilado, se describen a continuación (McDonald *et al.*, 1991):

**Fermentación acética:** Muertas las células vegetales, se desarrollan bacterias coliformes pertenecientes a la familia *Enterobacteriaceae*, que producen ácido acético a partir del láctico. Su actividad requiere una temperatura óptima de 18-25 °C y desaparece al alcanzarse un pH de 4,2.

Las bacterias coliformes solamente presentan actividad en la fase inicial del ensilado, siendo reemplazadas progresivamente por cocos lácticos (*Streptococcus*, *Pediococcus* y *Leuconostoc*).

**Fermentación láctica:** Corre a cargo de bacterias lácticas que degradan los azúcares y otros carbohidratos solubles presentes en el forraje hasta ácido láctico. En este proceso, diversos cocos lácticos son sustituidos por *Lactobacillus*, a excepción de los *Pediococcus*, que son más tolerantes a las condiciones de acidez que los otros grupos.

Las bacterias que llevan a cabo esta fermentación necesitan un pH comprendido entre 3 y 4 y condiciones de anaerobiosis. Finalmente, su acción es inhibida por escasez de azúcares solubles y acumulación de ácido láctico. Cuando esto ocurre, el forraje queda estabilizado y se ha convertido en ensilado.

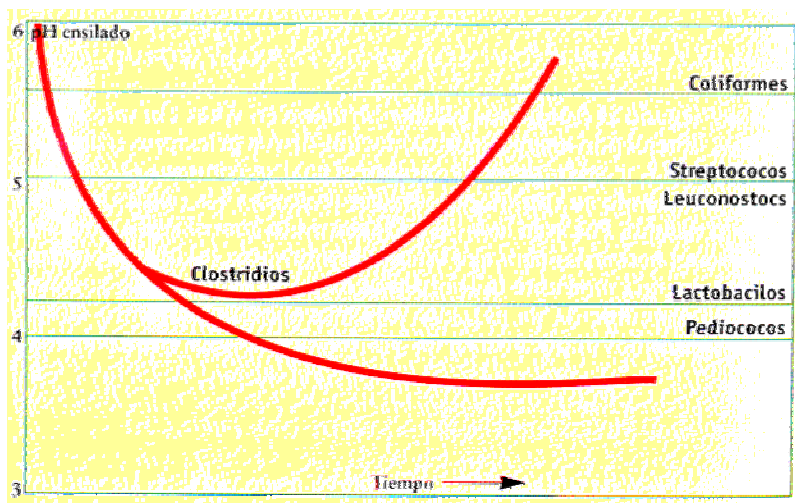


Figura 1.- Cambios en la microflora durante el proceso de fermentación de los ensilados (Woolford, 1984).

Algunas especies de bacterias lácticas fermentan los azúcares a ácido láctico (homofermentativas). Otras, además de láctico dan lugar a otros productos, principalmente CO<sub>2</sub> junto con etanol, manitol y ácido acético (heterofermentativas), siendo preferible las primeras.

**Fermentaciones secundarias:** Se trata de procesos bacterianos no deseables y que es preciso minimizar. La más peligrosa es la **fermentación butírica** a cargo de bacterias del género *Clostridium*. Se desarrollan entre 20-40° C, en competencia con las bacterias lácticas, pero necesitan un pH superior a 4. Algunas especies (proteolíticas) degradan el nitrógeno proteídico del forraje hasta ácido butírico y amoníaco. Otras (sacarolíticas), degradan los azúcares y el ácido láctico hasta ácido butírico, además de acético, propiónico, etanol, butanol y otros metabolitos en menor cantidad.

El amoníaco producido, tiende a elevar el pH en el silo. Esto favorece la proliferación de especies del género *Bacillus*, que generan aún más amoníaco. Cuando el pH en el silo alcanza valores superiores a 5, se acelera el desarrollo de éstos y otros microorganismos también nocivos que realizan la putrefacción del forraje almacenado. Estos gérmenes butíricos se encuentran en la tierra y en el estiércol.

También puede tener lugar una **fermentación alcohólica**, a cargo de levaduras, con producción de etanol y otros alcoholes. Hay que procurar reducirla todo lo posible favoreciendo la anaerobiosis, pues aunque afecta poco al proceso de ensilado, puede alterar su conservación. Además, en caso de ensilar subproductos de frutas (pulpa de cítricos, orujo de manzana, etc.), si no se cuida lo anterior, puede darse una excesiva formación de alcoholes, con peligro de toxicidad para el ganado.

Generalizando, las condiciones básicas a potenciar para obtener un buen ensilado son las siguientes (de la Roza *et al*, 1999b):

- Ausencia de aire en el interior del silo
- Suficiente contenido en azúcares
- Bajada rápida del pH del forraje

## 2.- Tipos de silo

El silo es la instalación en que tiene lugar el proceso de fermentación del forraje y posterior almacenamiento del ensilado (Argamentería *et al*, 1995). Existen varias clases de silos según su forma geométrica y otras características.

Dentro de los denominados **silos horizontales**, lo más comunes son: silo trinchera, silo plataforma y silo zanja.

El **silo trinchera** es de forma rectangular, con ligera inclinación de su fondo hacia uno de los lados más pequeños. Tanto las paredes como el fondo deben estar revestidas de hormigón para evitar infiltraciones de agua.

El **silos plataforma o almiar**, consiste en dos láminas de plástico entre las que se encierra la masa de forraje a ensilar, cerrando herméticamente ambas láminas entre sí.

El **silos zanja**, se trata de una excavación practicada en el terreno de sección trapezoidal, cuya base menor es la inferior.

Es necesario dimensionar adecuadamente el silo, ya que para evitar el deterioro del producto final por oxidación, se necesita un consumo mínimo diario (Cañeque y Sancha, 1998).

El volumen a ensilar en función de las necesidades de los animales, se calculará a partir de la siguiente expresión:

$$V = \frac{Q \times T \times N}{m}$$

En donde:

V= volumen a almacenar en m<sup>3</sup>

N= nº de cabezas de ganado

Q= ración diaria por cabeza en kg

T= duración del período de alimentación en días

m= densidad del forraje ensilado en kg/m<sup>3</sup>(\*)

Si el volumen se determina a partir del rendimiento por hectárea, la expresión será:

$$V = \frac{1.000 \times P \times A}{m}$$

En donde:

V= volumen a almacenar en m<sup>3</sup>

A= superficie cultivada en ha.

P= producción en toneladas de materia verde/ha

m= densidad del forraje ensilado en kg/m<sup>3</sup>(\*)

(\*) La densidad varía entre 600 y 1000 kg/m<sup>3</sup> en función del tipo de forraje o cultivo forrajero a ensilar.

Otra modalidad de silos son los **verticales o silos torre**. Hace algún tiempo eran muy utilizados y aún funcionan en muchas explotaciones. Su mayor interés radica en la posibilidad de automatizar el suministro de silo al ganado.

Por último, y exclusivamente para cultivos herbáceos, hay que mencionar el **ensilado en rotopacas**, ya que esta modalidad está siendo cada vez más utilizada.

Las rotopacas se elaboran con una rotoempacadora que acondiciona el forraje prehenificado. Cada rotopaca debe ser aislada del aire mediante plástico. Cabe introducir las rotopacas en bolsas individuales a cerrar lo más herméticamente posible. Hoy resulta más económico el encintado con láminas de plástico, según un proceso de rotación en la que el rollo de plástico gira entorno a la paca. Es imprescindible prehenificar el forraje hasta alcanzar un 30-40% de materia seca. Las principales ventajas de esta forma de ensilar son que no precisa ningún tipo de instalación, permite una utilización más cómoda y se controla mejor la cantidad de forraje conservado. El mayor inconveniente es el alto coste que conlleva.

### 3.- Ensilabilidad del forraje

La calidad fermentativa en un ensilado depende de dos factores: la naturaleza del forraje de partida y el correcto desarrollo de la técnica empleada. El clima, la estación, el tipo y régimen de aprovechamiento, la intensidad de pastoreo, la composición química y botánica y el estado de madurez, entre otros, son factores inherentes al propio forraje que determinan su aptitud para ser ensilado o **ensilabilidad** (Playne y McDonald, 1966; Muck, 1991; Martínez, 1994; Martínez *et al.*, 1999; de la Roza *et al.*, 1999a y 1999b).

La ensilabilidad depende del contenido en **materia seca**, **carbohidratos solubles**, resistencia a la acidificación o **capacidad tampón** y **contenido en nitratos** del forraje en el momento del corte.

En los forrajes con una **materia seca** igual o inferior al 15%, es difícil inhibir la actividad de los clostridios, que necesitan condiciones de alta humedad para un crecimiento rápido. Para asegurar una correcta fermentación y evitar además las pérdidas por el efluente, el nivel mínimo de materia seca se sitúa en torno a un 25%. Para alcanzarlo, en algunos casos, se requiere prehenificación, que no siempre es posible por razones climatológicas.

Las plantas, durante su período vegetativo, en condiciones favorables, almacenan sustancias de reserva, en especial **carbohidratos**. La formación del ácido láctico necesario para la obtención de un pH bajo, exige la presencia de estos carbohidratos en el alimento a ensilar. El contenido en azúcares fermentables depende de numerosos factores como son: la especie o familia botánica, estado de desarrollo de la planta y su ciclo, condiciones climáticas o el nivel de fertilización. La cantidad de luz solar que recibe la planta, por ejemplo, influye en gran manera sobre su concentración. Para evitar el desarrollo de fermentaciones no deseadas, es necesario alcanzar un contenido en carbohidratos solubles superior al 15% sobre materia seca.

En cuanto a la **capacidad tampón**, representa la resistencia que opone la planta a las variaciones del pH del medio a través de ciertos compuestos químicos. Este

parámetro se expresa en términos de miliequivalentes de álcali por kilogramo de materia seca (meq NaOH/kg MS), necesarios para modificar el pH del forraje en dos unidades (de pH=4 a pH=6), después de haber eliminado los bicarbonatos que puede actuar como tampón. En el rango de pH de 4 a 6, entre un 70 y 80% de la capacidad tampón del forraje es atribuida a las sales de los ácidos orgánicos, ortofosfatos, sulfatos, nitratos y cloruros, y sólo de un 10 a un 20% es atribuible a las proteínas. Oscila entre valores inferiores a 200 y superiores a 1000 meq NaOH/kg MS. En esta escala, los raigrases (*Lolium spp.*) alcanzan normalmente valores en el rango de 250 a 400, mientras que las leguminosas como el trébol (*Trifolium spp.*) y la alfalfa (*Medicago sativa*) tienen valores más altos, del orden de 500 a 600 y, en cambio, el maíz (*Zea mays*) no tiene más que 2/3 del poder tampón de las gramíneas, de ahí su facilidad para ensilar. Valores inferiores a 350 meq NaOH/kg MS permiten la correcta acidificación de la masa forrajera (Martínez *et al.*, 1999).

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 conlleva un descenso de la capacidad tampón con la maduración.

El **coeficiente de fermentabilidad (CF)** podría resumir los efectos potenciales que estos tres parámetros relacionados con la ensilabilidad de un forraje, a saber, el contenido en materia seca y el coeficiente azúcares solubles/capacidad tampón podrían tener en el curso de la fermentación, de acuerdo con la siguiente ecuación (Schmidt *et al.*, 1971):

$$CF = \% \text{ Materia seca} + 8 \text{ Azúcares solubles (\%)} / \text{Capacidad tampón (meq/100g MS)}$$

Pudiendo considerarse que a partir de un CF superior a 30, se trata de un forraje apto para conseguir una buena fermentación.

El contenido en **nitratos** está directamente relacionado con el nivel de fertilización del suelo. Si ésta es elevada, perjudica la conservación, ya que a pesar del incremento en la producción total de materia seca, paralelamente tiene lugar un aumento en el contenido en materias nitrogenadas, cenizas y agua con disminución del de azúcares solubles y aumento en el ensilado del pH y nitrógeno amoniacal. Concretamente, los nitratos ejercen su influencia en el ensilado de tres maneras (Woolford, 1984):

- a) Los nitratos y los azúcares fermentables, se correlacionan negativamente.
- b) Durante el ensilado los nitratos se reducen a nitritos y éstos inhiben la formación de ácido butírico.
- c) La reducción de nitratos incrementa el pH.

#### 4. - Aditivos para ensilar

El empleo de aditivos en el proceso de ensilado, tiene como fin contribuir a la creación de unas condiciones óptimas que permitan mejorar la conservación y valor nutritivo del alimento resultante. Idealmente, un aditivo debería cumplir las siguientes características: que sea fácil y seguro de manejar, que reduzca las pérdidas de materia seca, que no aumente la producción de efluente, que mejore la calidad higiénica del ensilado inhibiendo el desarrollo de microorganismos indeseables, que limite las fermentaciones secundarias, que potencie la estabilidad una vez abierto el silo y que incremente el valor nutritivo con una mejora en la eficiencia de utilización para rentabilizar el desembolso adicional que supone el empleo de aditivos (Argamentería *et al.*, 1997).

Los aditivos pueden ser **químicos** o **biológicos** (Rauramaa *et al.*, 1995; O'Kiely, 1997; Martínez *et al.*, 1998). Se pueden clasificar de forma simplificada como: conservantes, inoculantes, enzimas, y sustratos o nutrientes.

Tabla 2 - Tipos de aditivos para ensilados. Adaptado de Woolford (1984).

CONSERVANTES	INOCULANTES	ENZIMAS	OTROS	
			SUSTRATOS	NUTRIENTES
Ácidos: Ác. Sulfúrico Ác. fosfórico Ác. fórmico Ác. acético Ác. láctico Ác. propiónico Ác. benzoico Ác. caproico Sales de Ácido	Bacterias del ácido láctico: <i>Lactobacillus</i> <i>Pediococcus</i> <i>Streptococcus</i> Otras	Amilasas Celulasas Hemicelulasas Pectinasas	Melazas Glucosa Sacarosa Lactosuero Granos cereales Pulpas	Amonio Urea Carbonato cálcico Sal común Otros minerales

Aunque todos los aditivos persiguen la misma finalidad, actúan de modo diferente.

Los **conservantes** inhiben las fermentaciones indeseables. Unos comunican a la masa de forraje una acidez inicial que favorece la actividad de las bacterias lácticas. Otros tienen acción bacteriostática, limitando la multiplicación de bacterias no deseables. También tienen efecto sobre la flora láctica, el forraje se acidifica muy poco y conserva casi todos sus azúcares, pero se estabiliza

precisamente gracias a esa mínima vida bacteriana. También hay conservantes con efecto bacteriostático y acidificante a la vez.

Los **inoculantes**, tienen como papel primordial elevar rápidamente el nivel de acidez del forraje a ensilar para prevenir la ruptura de la proteína, aportando microflora láctica que puede no estar presentes en cantidad suficiente, lo que dejaría campo libre a otros microorganismos cuya acción puede no ser deseable.

Los **enzimas** como aditivos para el ensilado han ganado interés en los últimos años. Los más comunes son los que degradan las paredes celulares de las plantas como celulasas, pectinasas y hemicelulasas ó mezclas de los mismos. Mediante la ruptura de las paredes celulares, aumenta el contenido de azúcares solubles, los cuales son fermentados por bacterias lácticas, favoreciendo así la acidificación.

Los **productos azucarados** son rápidamente utilizados por las bacterias lácticas que los hidrolizan y transforma en ácido láctico. Generalmente se utilizan la **melaza**, residuo de azucarería con un 50% de sacarosa; **lactosuero en polvo**, subproducto de la fabricación de quesos que contiene entre un 50-75% de azúcares. Otro producto empleado con frecuencia es la **pulpa seca de remolacha**, que refuerza su acción como aditivo con su fuerte poder de retención de agua, lo que permite reducir de forma notable las pérdidas en los jugos por incremento del contenido en materia seca.

En el caso concreto del **maíz forrajero**, que habitualmente no presenta problemas de fermentación, cabe agregar **urea** y **productos amoniacales** para incrementar el contenido de proteína del ensilado pero es necesario ajustar muy bien la dosis, aplicarla de forma muy homogénea y extremar las precauciones en el tapado, pisado y cierre del silo. La adición de inoculantes no es contraproducente, pero el maíz forrajero fermenta muy bien sin la ayuda de los mismos y es dudoso que la escasa mejoría que podría aportar su uso compense económicamente (de la Roza *et al.*, 1999 y 2001; Martínez *et al.*, 2001).

Para este cultivo forrajero, solamente los aditivos formulados basándose en el ácido propiónico han demostrado su efectividad, controlando los problemas de inestabilidad al contacto con el aire, que pueden acarrear serias pérdidas en materia seca y disminución en su digestibilidad por ser muy inestables al contacto con el aire.

En cuanto a los enzimas, sólo sería recomendable el uso de amilasa, puesto que degrada el almidón hasta glucosa para ser utilizada por los lactobacilos. Pero no hay que olvidar que el contenido en almidón del maíz forrajero es una característica extremadamente valiosa en nutrición animal.

## 5. - Estabilidad aeróbica

La continua infiltración de aire durante el período de almacenamiento del forraje en el silo, facilita el crecimiento de microorganismos aeróbicos como levaduras, hongos e incluso bacterias, que hidrolizan la materia orgánica hasta acabar en un material putrefacto desechable para su uso en la alimentación animal. Este fenómeno se aprecia con frecuencia en la superficie y a los lados del ensilado realizado en silos zanja y trinchera (de la Roza, 1998).

El comportamiento del forraje ensilado en contacto con el aire, se conoce como **estabilidad aeróbica**. Al tratarse de un proceso biológico en el que se genera calor, se produce un aumento de la temperatura en la masa ensilada que conlleva serias pérdidas de materia seca y gran disminución de la digestibilidad de la proteína, unido a elevados valores de pH, muestra de la inestabilidad alcanzada. Los ensilados deteriorados pueden adquirir un color pardo oscuro e incluso negro, y aunque no sean totalmente rechazados por los animales, tienen bajo valor nutritivo. Los principales factores que determinan la velocidad con que el material vegetal se deteriora son: aire, sustrato y temperatura, que están estrechamente correlacionados, siendo las principales causas de este deterioro las siguientes (Ohyma *et al.*, 1975):

- Bajo contenido en materia seca del forraje a ensilar.
- Poca compactación y/o mal sellado del silo.
- Escasa homogeneidad en la distribución de nutrientes en el interior del silo.
- Insuficiente contenido en azúcares en el material verde a ensilar.
- Deficiente protección del ensilado al contacto con el aire una vez abierto para su consumo.

Las pérdidas en materia seca en ensilados expuestos al aire durante diez días pueden superar el 30 %, el pH puede llegar a alcanzar un valor de 9 y la digestibilidad de la proteína disminuye al incrementarse la temperatura de la masa ensilada incluso por encima de los 60 °C (de la Roza, 1998; Martínez *et al.*, 2001).

Los efectos de los diversos aditivos sobre la estabilidad aeróbica son limitados. Cuando se ha restringido la fermentación de la masa de forraje mediante el presecado o la adición de componentes químicos que ocasionen un descenso brusco del pH, los ensilados son más sensibles al deterioro por fermentación aeróbica que cuando ha existido actividad de la flora productora de ácido láctico, ya sea por la propia microflora presente en el medio o por adición de la misma a través de inoculantes biológicos.

Diversos trabajos han demostrado que cuando los ensilados resultantes presentan como productos finales de su proceso fermentativo ácidos propiónico, butírico, caproico, etc., se mejora la estabilidad por las propiedades antimicrobianas de estos metabolitos. Por ello, los aditivos en cuya composición están presentes

bacterias productoras de ácido propiónico o este producto como tal, actúan eficazmente contra los mohos y levaduras, principales responsables del calentamiento y posterior deterioro (Argamentería *et al.*, 1997; O'Kiely, 1997; Martínez y de la Roza, 1998; Martínez *et al.*, 1999; de la Roza *et al.*, 1999a).

Como puede observarse en la figura 3 (de la Roza *et al.*, 1999b), la adición al maíz forrajero de un formulado con cepas de bacterias lácticas y generadoras de ácido propiónico reduce drásticamente el incremento de temperatura que puede llegar hasta los 55 °C, en caso de no-utilización de aditivo.

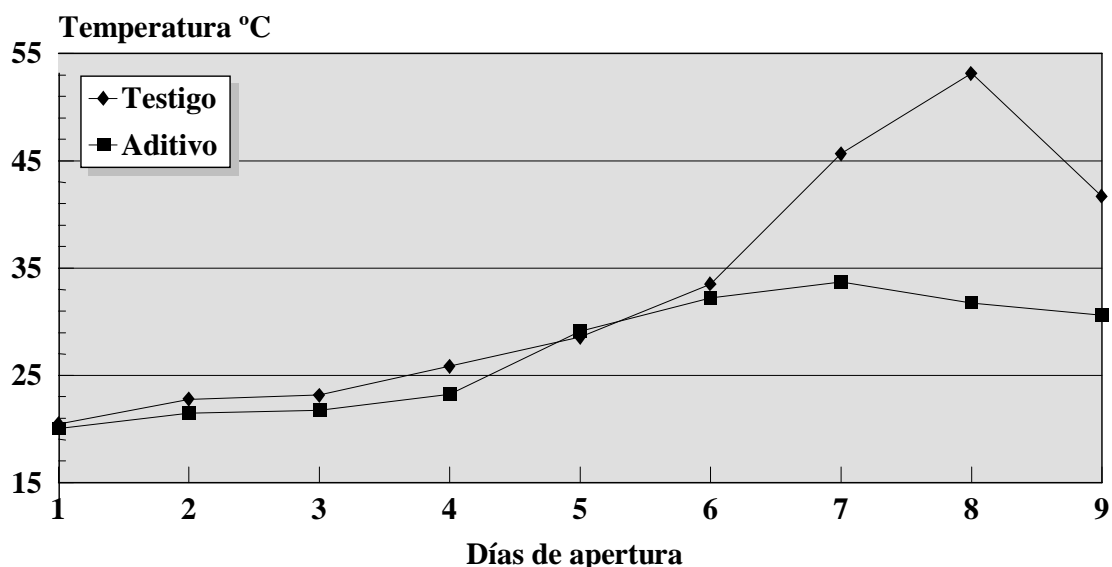


Figura 3.- Evolución de la Tª en ensilados de maíz en contacto con el aire (de la Roza *et al.*, 1999b).

## 6.- Indicadores de calidad nutritiva

El valor energético, el valor nitrogenado y la ingestibilidad de los ensilados, vienen determinados en función de los que presenta el forraje verde en el momento de su recolección y de las alteraciones producidas en los mismos, ligadas a las técnicas de recolección, manejo y conservación. Si todo el proceso no se realiza adecuadamente, los resultados pueden ser negativos.

Las determinaciones analíticas mínimas necesarias, según criterios seguidos por Laboratorio de Nutrición Animal del SERIDA, para poder valorar un ensilado desde el punto de vista nutricional son pH y su contenido en principios nutritivos, a saber: materia seca, cenizas, proteína bruta, fibra neutro detergente y estimación de la

digestibilidad de la materia orgánica. En función de ellos se puede efectuar la valoración energética y estabilidad del ensilado (Argamentería *et al.*, 1997).

- El **pH** de su jugo. Es un parámetro rápido e indicativo del tipo de fermentación que tuvo lugar y nos indica, por tanto, si disponemos de un alimento estable.
- La **materia seca (MS)** es el porcentaje del forraje que no es agua. Es importante de por sí y porque los demás componentes (excepto digestibilidad) están expresados sobre materia seca.
- Las **cenizas** nos indican el contenido mineral. Si el porcentaje es alto, mayor del 15 % sobre MS, es seguro que hubo contaminación con tierra.
- La **proteína bruta (PB)** es un parámetro importante debido a su influencia directa en la producción animal. Para ensilados de maíz planta entera, el contenido ha de estar comprendido entre 8 y 10 % sobre MS. Si los valores son superiores y no hubo adición de urea, puede significar un corte demasiado temprano con pérdida de potencial de producción y bajo contenido en almidón.
- La **fibra neutro detergente (FND)** es la fracción del forraje que se corresponde a las paredes celulares y, está asociada, negativamente con la ingestión de materia seca. El porcentaje de FND se incrementa con el estado de madurez de los forrajes.
- La **digestibilidad** nos define la proporción del alimento que es consumido y no es excretado en las heces y, por tanto, es digerido por el animal. Como es imposible efectuar esta medida con el ganado, se efectúa una estimación en el laboratorio, utilizando enzimas que simulan la digestión que tiene lugar con los microorganismos del rumen.

## 7.- Indicadores de calidad fermentativa

El análisis químico del ensilado presenta más dificultades que el de otros forrajes. Su valor nutritivo no solamente viene dado por su contenido en principios nutritivos y la digestibilidad de los mismos, sino que hay que evaluar si la fermentación ha sido correcta y si, por tanto, el ensilado va a ser estable. Estos parámetros fermentativos: nitrógeno amoniacal, nitrógeno soluble total, azúcares residuales, alcoholes, ácidos grasos volátiles y ácido láctico, aportan la información sobre el proceso fermentativo que tuvo lugar (Martínez *et al.*, 1998).

- **N soluble y N amoniacal**, como medida de la degradación de la proteína que tuvo lugar durante el proceso de ensilado.

- **Azúcares solubles residuales**, cuya escasez en el jugo es el indicador de que tuvo lugar una correcta fermentación láctica.
- **Ácido láctico**, como medida de la transformación de los azúcares presentes en el forraje en este ácido y que contribuirá de manera fundamental a la reducción de pH y a la estabilidad del ensilado.
- **Ácidos acético y butírico**, deben estar ausentes o en cantidades despreciables. Son el resultado de fermentaciones inducidas por la presencia de bacterias coliformes que transforman el láctico en acético y de gérmenes butíricos, presentes en el estiércol, tierra y especies adventicias que degradan el nitrógeno protídico del forraje en fermentación.

En función de ellos, un ensilado se puede considerar bien fermentado cuando presenta las siguientes características, aunque hay diferentes baremos según países (INRA, 1981):

- Alto contenido en ácido láctico: Superior al 1,5-3 %, referido a MS.
- Contenido medio en ácido acético: 0,5-1 %, referido a MS.
- Ausencia o trazas de ácido butírico.
- Nitrógeno amoniacal respecto al nitrógeno total: Inferior al 5-10 %.
- Nitrógeno soluble respecto al nitrógeno total: Inferior al 50 %.

#### **8.- Aplicación de la reflectancia en el infrarrojo cercano al análisis de los ensilados**

Los procesos analíticos tradicionales, así como otros parámetros químicos o biológicos que permitan predecir la respuesta animal en función de unos racionamientos concretos, presentan el inconveniente de su laboriosidad, elevado coste, producción de residuos y modesta capacidad predictiva en algunos casos (de la Roza *et al.*, 1998 y 1999). Por ello, la introducción de la reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS) para el estudio y valoración de alimentos supuso un gran avance por su rapidez de respuesta, además de ser una tecnología limpia con el medio ambiente, dado que no emplea reactivos.

Trabajos recientes desarrollados en el SERIDA, muestran como la tecnología NIRS posee una precisión superior a la alcanzada con métodos químicos y enzimáticos para la predicción de la respuesta animal (de la Roza *et al.*, 1999 y 2002). La bibliografía, presenta con numerosos ejemplos, la precisión de esta técnica frente a la alcanzada con métodos químicos y biológicos tradicionales. Estos hechos confirman la utilización del NIRS como herramienta imprescindible de apoyo en servicios analíticos a ganaderos.

El SERIDA viene prestando parte de su labor de servicio analítico a agricultores y ganaderos mediante NIRS desde 1994 así como a otros programas de investigación. En el momento actual dispone de ecuaciones de predicción de valor nutritivo para muchos alimentos, tales como ensilados de hierba (Tabla 3) y maíz, praderas, henos de hierba y alfalfa, piensos compuestos y mezclas. Además de parámetros diversos parámetros metabólicos y de respuesta animal (ver Tabla 4) e incluso parámetros fermentativos (Tablas 5 y 6).

**Tabla 3. Resultados estadísticos de ecuaciones NIRS para la predicción de la calidad nutritiva de ensilados de hierba (SERIDA, 2005).**

PARÁMETRO	Rango	DE	ETC	R <sup>2</sup>	ETVC	r <sup>2</sup>	RER
MSlab	84.18-97.21	2.490	0.823	0.891	0.918	0.864	14.19
CEN	4.11-18.80	2.595	0.903	0.879	1.100	0.820	13.35
PB	5.14-20.28	2.596	0.514	0.961	0.579	0.951	26.15
FND	31.30-71.60	6.834	1.488	0.953	1.661	0.941	24.26
FAD*	23.70-37.80	2.795	0.877	0.902	0.989	0.875	14.26
FB	18.74-35.59	3.415	1.317	0.851	1.420	0.827	11.87
DEMO	30.90-81.78	10.089	2.550	0.936	2.751	0.926	18.50

- RER (*ratio error range*): Muestra la relación entre el intervalo de composición de los datos de referencia para el colectivo de calibración y el error típico de validación cruzada.
- MSlab: % materia seca residual. CEN: % cenizas. PB: % proteína bruta. FND: % fibra neutro detergente. DEMO. % digestibilidad enzimática de la materia orgánica FND-celulosa. FAD\*: % fibra ácido detergente libre de cenizas.
- DE: desviación estándar. ETC: error estándar de calibración. ETVC: error estándar de validación cruzada. R<sup>2</sup> y r<sup>2</sup>: coeficiente de determinación del colectivo de calibración y de validación cruzada, respectivamente.

**Tabla 4. Resultados estadísticos de ecuaciones NIRS para la predicción de la calidad de la dieta (ensilado de hierba) a través de muestras fecales (de la Roza *et al.*, 2002).**

Parámetro	SEC	R <sup>2</sup>	SECV	r <sup>2</sup>	RER	Rango	SD
Ingestión total (kg MS vaca <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> )	1,349	0,629	1,467	0,560	6,50	10,3-19,8	2,216
Ingestión forraje (kg MS vaca <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> )	0,967	0,867	1,309	0,757	8,02	5,3-15,8	2,654
Digestibilidad materia orgánica (%)	1,994	0,857	2,626	0,750	10,13	54,2-80,8	5,271
Digestibilidad de energía bruta (%)	1,874	0,856	2,622	0,715	8,49	52,2-74,4	4,974
Energía digestible (MJ kg MS <sup>-1</sup> )	0,344	0,841	0,475	0,695	7,81	10,1-13,8	0,864
Energía metabolizable (MJ kg MS <sup>-1</sup> )	0,262	0,933	0,434	0,819	8,16	8,2-11,7	1,012

SD: Desviación estándar; SEC: Error estándar de calibración; R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación de calibración; SECV: Error estándar de validación cruzada; r<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación de validación cruzada; RER: Rango/SECV

**Tabla 5. Resultados estadísticos de ecuaciones NIRS para la predicción de las características fermentativas en ensilados de hierba (de la Roza *et al.*, 2002).**

Ensilados de hierba			
Parametros(g dL <sup>-1</sup> )	Rango	R <sup>2</sup>	SEP
Ác. Láctico	0-8.08	0.71	0.506
Ác. Acético	0-1.27	0.61	0.138
Ác. Butírico	0-4.15	0.78	0.379
N- Amoniacal	0-0.261	0.82	299 *10 <sup>-3</sup>

**Tabla 6. Resultados estadísticos de ecuaciones NIRS para la predicción de las características fermentativas en ensilados de maíz (de la Roza *et al.*, 2002).**

Ensilados de maíz			
Parametros(g dL <sup>-1</sup> )	Range	R <sup>2</sup>	SEP
Ác. Láctico	0.841-5.75	0.80	0.268
Ác. Acético	0-2.30	0.85	0.148
Ác. Butírico	-	-	-
N- Amoniacal	0-0.0012	0.71	0.153 *10 <sup>-3</sup>

## 9. - Impacto ambiental.

Es indudable que la actividad ganadera en los últimos años ha estado marcada por una intensificación creciente. Este tipo de producción está asociado con la concentración de residuos ganaderos, algunos de los más potentes contaminantes, lo que hace necesario incrementar la "conciencia social" en materia de medioambiental. Ver Tabla 7.

**Tabla 7. Valores típicos de demanda biológica de oxígeno (DBO, mg O<sub>2</sub>/l) en residuos ganaderos. Adaptada de Callejo (1995).**

Tipo de residuo	DBO (mg O <sub>2</sub> /l)
Aguas residuales sin tratar	300-400
Efluentes de purín	1.000-12.000
Purín de vacuno	10.000-20.000
Purín de cerdo	20.000-30.000
Efluente de ensilado	30.000-80.000

Es un hecho comprobado que en la mayoría de los silos se produce un drenaje natural en el que los líquidos perdidos arrastran nutrientes solubles y por tanto no disponibles para la fermentación láctica. Este líquido contiene azúcares, compuestos nitrogenados, ácidos orgánicos y productos de la descomposición celular. Tiene un alto poder contaminante y debido a su extremada acidez, es altamente corrosivo (Haigh, 1999).

El volumen de efluente producido por tonelada de forraje oscila desde inapreciable hasta más de 200 l. Durante los cinco días que siguen al ensilaje, se pueden producir picos del orden de 30 l/día/t de forraje ensilado (ver figura 5). Esta producción depende de varios factores, en particular del contenido en materia seca del material de partida. Los forrajes ensilados con un contenido en materia seca de un 15 %, pueden experimentar pérdidas de líquidos equivalentes a un 10 % de su materia seca, pero si el contenido en materia seca se incrementa mediante un presecado por encima de un 25 %, las pérdidas son muy pequeñas o inesistentes (Martínez y de la Roza, 1997). Otros factores que condicionan la producción de efluente son: la presión de pisado en el silo, los pretratamientos mecánicos, la naturaleza del forraje y el empleo de aditivos.

Los efluentes contienen partículas biodegradables que constituyen un medio ideal para el desarrollo de microorganismos, que consumen el oxígeno disuelto, ocasionando la eutrofización de las aguas, con graves consecuencias en especial para la fauna acuática. La medida de este consumo o "demanda biológica de oxígeno" (DBO) es un fiable indicador del poder contaminante.

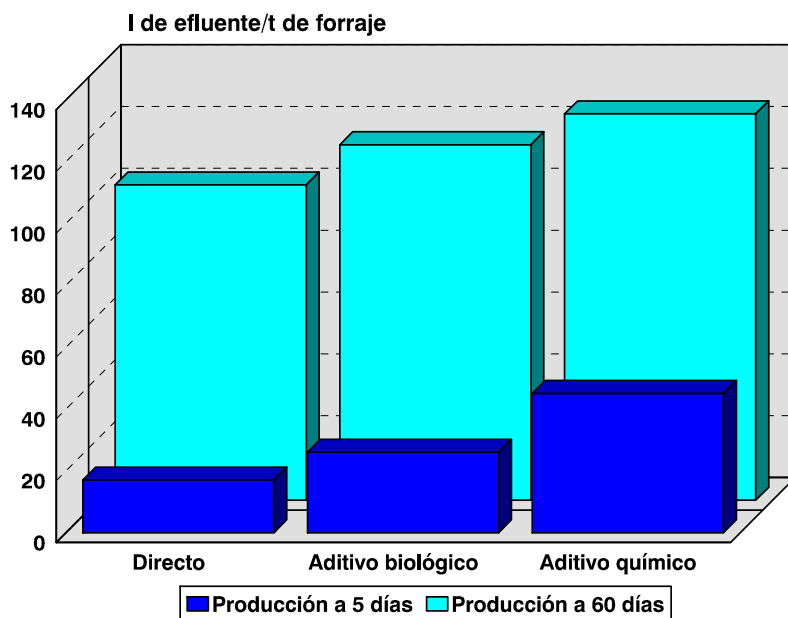
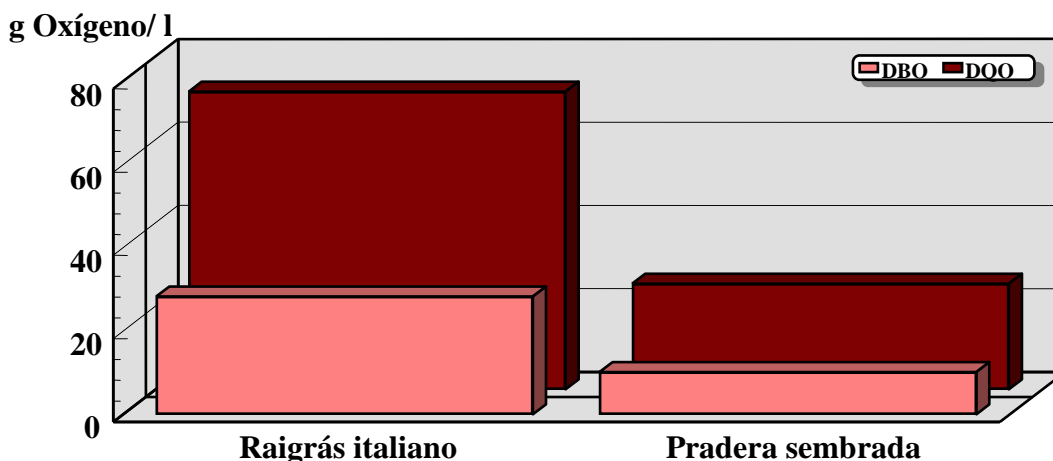


Figura 5- Producción de efluente en ensilado de pradera sembrada con un 16,5 % de materia seca (Martínez y de la Roza, 1997).

Por otra parte, la cantidad de oxígeno consumido por los compuestos químicos presentes en el efluente, sin intervención de los microorganismos, se conoce como "demanda química de oxígeno" (DQO). Ambos índices son los más utilizados como indicadores de la contaminación de vertidos. Las experiencias llevadas a cabo en el SERIDA (Martínez y de la Roza, 1997; de la Roza, *et al.*, 1998; Martínez *et al.*, 1999), confirman que los efluentes de ensilados presentan valores medios de DBO y DQO de 40 y 55 g de oxígeno consumido por litro de efluente, respectivamente, con diferencias significativas en función del tipo de cultivo o aditivo empleado.



**Figura 6.- Poder contaminante de efluentes de ensilados (Martínez *et al.*, 1999).**

#### 10.- Beneficios económicos ante el aprovechamiento del excedente forrajero

Los beneficios económicos de conservación del excedente forrajero en las explotaciones derivan de las siguientes consideraciones:

- Si en efecto se trata de un excedente forrajero, quiere decir que el ganado no podría aprovecharlo en verde. Contribuiría a generar acumulación de tallos secos y materia muerta, con el consecuente embastecimiento del pasto, riesgo de incendio y necesidad de renovación de la pradera.
- Dada la estacionalidad de la producción forrajera, el no disponer de forraje conservado en invierno y durante períodos de sequía obligará a adquirir alimentos fuera de la explotación. Cálculos efectuados en Irlanda dieron que los costes relativos de la hierba, ensilado de hierba y concentrado estaban en la proporción 1:2:5. No se contemplan forrajes desecados mercadeables, pero con toda seguridad supondrían entre dos y cinco veces el coste de producción de la hierba.
- Incluso se da la circunstancia de que suplementando pastoreo en zonas húmedas con forrajes conservados se incrementó la producción y calidad de la leche debido a una mayor ingestión total de MS (Roza *et al.*, 1999c).
- Una conservación de forrajes basada en contratación de labores o en empleo de maquinaria propia que no esté sobredimensionada, implica con seguridad un beneficio económico para la explotación.

## BIBLIOGRAFÍA

ARGAMENTERÍA, A.; ROZA DE LA, B.; MARTÍNEZ FERNÁNDEZ, A.; SÁNCHEZ, L. y MARTÍNEZ, A., 1997. *El ensilado en Asturias*. Servicio de Publicaciones del Principado de Asturias. Consejería de Agricultura. 127 pp.

ARGAMENTERÍA, A., ROZA, B. de la, MARTÍNEZ, Adela y ALFAGEME, L.A., 1995. Ensilado de hierba. Programación y técnica de ensilaje para obtener un forraje nutritivo y estable. Ensilado en rotopacas. En: *Tecnología Agroalimentaria*. Edición Especial. Consejería de Medio Rural y Pesca. 40-44.

CALLEJO, A., 1995. La contaminación en una explotación de vacuno de leche. En: *Ganado vacuno de leche; producción y contaminación*. Ed. Fundación de Estudios Lácteos. Madrid: 101-123.

CAÑEQUE, V. y SANCHA, J. L., 1998. *Ensilado de forrajes y su empleo en la alimentación de rumiantes*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 260 pp.

HAIGH, P. M., 1999. Effluent production from grass silages treated with additives and made in large-scale bunker silos. *Grass and Forage Science*. **54**, 208-218.

I. N. R. A., 1981. *Prévision de la valeur nutritive des aliments des ruminants*. Ed.: I.N.R.A publications. Versailles (France). 590 pp.

MARTÍNEZ, A., 1994. Evolución de la aptitud para ensilar de las especies: *Lolium perenne*, *Lolium multiflorum* y *Dactylis glomerata*. Seminario de Investigación. Departamento de Biología de Organismos y Sistemas. Universidad de Oviedo. 25pp

MARTÍNEZ, A.; ARGAMENTERÍA, A.; ROZA, B. de la, 1999. Principios nutritivos y fermentativos de ensilados de hierba en función del tipo de pradera y del aditivo empleado en su elaboración. Poder contaminante de los efluentes generados. *Pastos*. **XXIX (2)**, 171-188.

MARTÍNEZ, A. y ROZA, B. de la, 1997. Poder contaminante de los efluentes de ensilados de hierba y raigrás italiano según materia seca del forraje inicial y aditivo utilizado. En Actas de la XXXVII Reunión Científica de la SEEP: 274-278.

MARTÍNEZ, A. y ROZA, B. de la, 1998. Calentamiento del ensilado. *Tecnología Agroalimentaria*. CIATA Nº 4

MARTÍNEZ, A.; ROZA, B. de la y FERNÁNDEZ, O., 1998. Nuevas técnicas para determinar la calidad de los ensilados. *Tecnología Agroalimentaria*. CIATA Nº 2.

MARTÍNEZ, A.; ROZA, B. de la; MODROÑO, S y ARGAMENTERÍA, A., 1998. Principios nutritivos y pH de ensilados de hierba en función del tipo de pradera y del aditivo empleado en su elaboración. En Actas de la XXXVIII Reunión Científica de la SEEP: 274-278.

MARTÍNEZ, A.; ROZA, B. de la; MODROÑO, S; FERNÁNDEZ, O. y AFIF, E., 2001. Maíz forrajero: Calidad de los ensilados elaborados con distintos aditivos comerciales. Estabilidad aeróbica de los mismos. En: *Actas del I Foro Iberoamericano de Pastos*. España. 379-385.

MARTÍNEZ, A.; SOLDADO, A.; GARCÍA, R.; SÁNCHEZ, D. and De la ROZA-DELGADO, B., 2005. Analysis of silages fermentation characteristics using transfectance measurements by Near Infrared Spectroscopy. En: *Silage Production and Utilization*. R.S. Park and M. D. Stronge (Eds.). Proceedings of the 14 th International Silage Conference. P 277. Belfast (UK).

McDONALD, C. S.; HENDERSON, A. R. y HERON, S. J .E., 1991. *The Biochemistry of Silage*. Chalcombe Publications, 340 pp.

MUCK; R. E., 1991. Silage fermentation. In: *Mixed Cultures in Biotechnology*. De. J.G. Zeikus y E.A. Johnson. McGraw Hill, 171-204.

OHYMA, Y.; MASAKI, S. y HARA, S., 1975. Factors influencing aerobic deterioration of silages and changes in chemical composition after opening silos. *J. Sci. Food Agric.*, **26**: 1137-1147.

O'KIELY, P., 1997. The use of silages additives: Effects on conservation and nutritive value. Seminario sobre Uso de aditivos para ensilados. Valor nutritivo, estabilidad aeróbica y control medioambiental. CIATA. 46 pp.

PLAYNE, M. J. y McDONALD, P., 1966. The buffering constituents of herbage and of silage. *Journal Science Food and Agricultural*. **17**: 264-268

RAURAMAA, A.; TOMMILA, A.; NOUSIAINEN, J.; AHLNÄS, T.; LUHTALA, J. y LÖFGREN, T., 1995. Effect of formic acid and benzoic acid esters on grass preservation. *Ann. Zootech.*, **44 Suppl**, 96: 96.

ROZA, B. de la, 1998. Mantener la calidad del silo una vez abierto. *Tecnología Agroalimentaria*. CIATA N° 12.

ROZA, B. de la, MARTÍNEZ, Adela, AFIF, E. y ARGAMENTERÍA, A. 2001. Asociación maíz forrajero soja: Efecto de esta última sobre producción, composición química y fermentación del ensilado. En: *Actas del I Foro Iberoamericano de Pastos*. España. 427-433.

ROZA, B. de la, MARTÍNEZ, Adela y ARGAMENTERÍA, A. 1999a. Estabilidad aeróbica, calidad de los ensilados de raigrás italiano y su respuesta en producción, según la naturaleza del aditivo empleado. En: *Actas de las Jornadas sobre Producción Animal*. ITEA. Zaragoza. 526-528.

ROZA, B. de la, MARTÍNEZ, Adela y ARGAMENTERÍA, A. 1999b. Elaboración, control y calidad de lo ensilados. Estabilidad aeróbica. En: *IV Jornadas Vacuno Lechero*. La Esperanza.. Tapia S.V. 21 pp.

ROZA, B. de la, MARTÍNEZ, Adela y ARGAMENTERÍA, A. 1999c. Estabilidad aeróbica, calidad de los ensilados de raigrás italiano y su respuesta en producción, según la naturaleza del aditivo empleado. *ITEA*, **20 (II)**: 526-528.

ROZA, B. de la; MARTÍNEZ, A.; MODROÑO, S.; ARGAMENTERÍA, A., 2002. Measurements of metabolic parameters in lactating dairy cows with near infrared reflectance spectroscopy analysis using cattle faecal samples. Near Infrared Spectroscopy. En: *Near Infrared Spectroscopy: Proceedings of the 10<sup>th</sup>*

*International Conference*. Ed.: A.M.C. Davies and R.K, Cho. NIR Publications, Chichester, UK: 371-375.

ROZA, B. de la, MARTÍNEZ, Adela, MODROÑO, S., FLORES, G. y ARGAMENTERÍA, A., 1999. A comparison of NIR spectroscopy with neutral detergent cellulase technique to predict the in vivo digestibility of grass silages. En: *Near Infrared Spectroscopy: Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Conference*. Ed: A.M.C. Davies and R. Giangiaco. NIR Publications, Chichester, UK: 661-665.

ROZA, B. de la, MARTÍNEZ, Adela, SANTOS, B., GONZÁLEZ, J. and GÓMEZ, G., 1998. The estimation of crude protein and dry matter degradability of maize and grass silage by NIRS. *J. Near Infrared Spectroscopy*. 6: 105-114.

SCHMIDT, L.; WEISSBACH, F.; WERNECKE, K. D. AND HEIN, E., 1971. Erarbeitung von parametern für die Vorhersage und Steuerung des Gärungsverlaufes bei der Grünfütter-silierung. Forschungsbericht, Oskar-Kernell-Institut für Tierernährung Rostok.

WOOLFORD, M. K, 1984. *The silage fermentation*. Microbiology Series nº 14. Marcel Dekker Inc. 350 pp.