

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

POTENCIAL DE LOS FORRAJES PARA PRODUCIR ENSILAJE DE CALIDAD

William Sánchez Ledezma¹

RESUMEN

El objetivo del documento es ofrecer la metodología necesaria para determinar el potencial de un forraje para producir ensilados de calidad y brindar los parámetros de fermentación e indicadores organolépticos más relevantes que se deben tomar en cuenta para determinar la calidad de un ensilado. En el escrito se detalla que, para obtener un ensilado de excelente calidad, el forraje a ensilar debe tener como mínimo un 25 % de MS, un alto contenido de carbohidratos solubles (≥ 12 %) y baja capacidad buffer (< 250 meq NaOH/kg MS) y nitratos (< 10 %) en base seca. Además, el pH del ensilado debe ser igual o inferior a 4, con alto contenido de ácido láctico y trazas o no presencia de ácido butírico. Al mismo tiempo, el forraje conservado debe tener un color verde olivo, olor agradable a frutas maduras, textura bien definida y sin presencia de efluentes.

INTRODUCCIÓN

En el tema de ensilaje de un forraje se pueden distinguir tres términos: ensilaje, silo y ensilado. El ensilaje es la técnica de conservación anaeróbica mediante la cual los productos de la fermentación inhiben el crecimiento de microorganismos degradadores de la materia orgánica. Es el proceso *per se*, que permite conservar el forraje original con variación en su calidad nutritiva. El silo es el depósito de dimensión y forma variable donde se almacena el forraje en capas uniformes, eliminando el aire mediante compactación y sellado, para que finalmente se lleve a cabo el proceso de fermentación. El ensilado es el forraje conservado, es decir el producto obtenido después de estabilizada la fermentación.

En términos generales, la calidad final de un ensilado depende de dos factores: de la eficiencia del proceso (cosecha, picado, uso de aditivos, sellado del silo y otros) y de las características del forraje a ensilar que favorecen el obtener un producto de buena calidad (Martínez 2003). Con respecto a las actividades del proceso, es indispensable realizarlas correctamente para reducir al máximo las pérdidas ocasionadas por: respiración celular del forraje después cosechado, actividad proteolítica de enzimas, desarrollo de gérmenes del género *Clostridium* y de microorganismos aeróbicos (Muck 1988).

1 Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. INTA. Costa Rica. wsanchez@inta.go.cr. Sede Central del MAG. Sabana Sur.

En cuanto a las características del forraje, el que un material resulte en un ensilado de buena calidad, dependerá del contenido de materia seca, carbohidratos solubles, capacidad buffer y de los nitratos que tiene el forraje al momento de la cosecha. Es importante que los contenidos de los dos primeros indicadores sean altos, pero la capacidad buffer y los nitratos bajos

(Argamentoría *et al.* 1997, O'kkiely *et al.* 1989, McDonald *et al.* 1991).

En el presente documento se describen las metodologías que se pueden usar para evaluar el potencial que posee un forraje para producir un ensilado de buena calidad, así como los indicadores más relevantes del proceso del ensilaje.

COEFICIENTE DE FERMENTACIÓN

El coeficiente de fermentación es un indicador que se utiliza para determinar el potencial de fermentación de un forraje, el cual depende del contenido de materia seca, carbohidratos solubles, la capacidad buffer y de los nitratos que tiene el forraje al momento de la cosecha (Weissbach y Honig 1996). En función a estos, el potencial de un forraje para resultar en un ensilado de calidad se puede clasificar en tres rangos: alto, medio o bajo (Cuadro 1). Aunque según Martínez (2003), se pueden definir rangos medios. Por ejemplo, en el caso de un forraje que contenga entre 8 y 15 % de azúcares solubles y 20 % de MS, la posibilidad de que resulte en un buen ensilado sería media-baja. En caso de superar los 350 meq/kg MS de capacidad buffer, sería baja-media.

Para estudiar el potencial de un forraje y producir un ensilado de buena calidad, se puede utilizar la metodología propuesta por Weissbach y Honig (1996), la cual consiste en determinar el coeficiente de fermentación (CF) del forraje antes de ensilar mediante la siguiente fórmula:

$$CF = MS + 8 \cdot CHS / CB$$

Donde:

CF= Coeficiente de fermentación sin unidades

MS= Materia seca (%)

CHS= Carbohidratos solubles (%)

CB= Capacidad buffer (meq NaOH/ kg MS)

Cuadro 1. Parámetros que condicionan el potencial para producir un ensilado de calidad (valores referidos en base seca)

Parámetro	Potencial para producir un ensilado de calidad		
	Alto	Medio	Bajo
Materia seca (%)	> 25	20-25	< 20
Azúcares solubles (%)	> 25	8-15	< 8
Capacidad Buffer (meq NaOH/kg MS)	< 250	250-350	> 350
Nitratos (%)	< 10	10	> 10

meq NaOH= mega equivalente de hidróxido de sodio; MS= materia seca.

Fuente: Elaborado con base en Weissbach y Honig 1996, Martínez 2003.

CONTENIDO DE MATERIA SECA

El contenido de materia seca (MS) del forraje es de gran importancia en el proceso de ensilaje, debido a que controla la generación de efluentes y pérdidas de carbohidratos. Cuando el contenido de MS supera el 25 % las pérdidas por efluentes se reducen significativamente (Vallejo 1995) y, disminuyen las pérdidas por respiración, lo que permite un predominio de las bacterias ácido-lácticas (McDonald 1991).

Otro aspecto importante relacionado con el contenido de humedad en el forraje antes de ensilar, es que las bacterias del género *Clostridium*, perjudiciales para la calidad del ensilado, requieren de condiciones húmedas para su desarrollo, por lo que su presencia se puede inhibir cuando el pH en la fermentación es bajo. Cuando el forraje a ensilar contiene un 30 % de MS se logra restringir la actividad de las bacterias *Clostridium*, en cambio, cuando la materia seca es igual o menor del 20 % se favorece el crecimiento de dichos microorganismos, incluso a un pH de 4 (Martínez 2003, De la Roza 2005).

Para mejorar el contenido de MS de los forrajes antes de ensilar, en ocasiones es necesario la implementación de técnicas de deshidratación parcial (oreado o pre-secado), proceso que deberá ser lo más rápido posible y no exceder las 36 horas. Las pérdidas de materia seca y de nutrientes pueden reducirse a la mitad al comparar un ensilado oreado con otro no sometido a ese proceso (Vallejo 1995, Mayne y Gordon 1986).

El contenido óptimo de MS para una fermentación adecuada del ensilado debe ser entre 30 y 35 %, valores que minimizan las pérdidas del producto final (Ojeda *et al.* 1991). Sin embargo, otros autores (Argamentería *et al.* 1997; Martínez y De la Roza 1997; Martínez 2003, Yahaya *et al.* 2002) consideran que el valor mínimo debe ser del 25 % de MS, y que la situación se agrava cuando el valor es igual o inferior al 15 %, valor que se encuentra frecuentemente en pastos de corte tiernos. Según Vallejo (1995) durante el proceso de ensilaje las pérdidas de MS no deben exceder del 6 o el 8 %, debidas principalmente a la respiración del forraje, la actividad de los microorganismos aeróbicos y los clostridios.

CARBOHIDRATOS SOLUBLES

Los carbohidratos son los componentes más abundantes en todos los vegetales y en la mayoría de las semillas. Se clasifican en tres grupos: los simples o solubles como la glucosa y fructosa, los de reserva como el almidón, y los estructurales como la celulosa y la hemicelulosa, constituyendo estos últimos la pared celular de las plantas (Relling y Mattioli 2003.).

A los carbohidratos simples también se les denomina carbohidratos solubles, porque son compuestos que se disuelven en agua, y entre ellos se incluyen los monosacáridos, disacáridos y oligosacáridos. Estos carbohidratos son indispensables en el proceso de elaboración de ensilados, debido a que los microorganismos los utilizan como la principal fuente de energía para su crecimiento. El bajo contenido de carbohidratos

solubles en el forraje puede limitar las condiciones de la fermentación, debido que no se logra reducir el pH a las condiciones óptimas. Normalmente se requiere un mínimo de 6 a 12 % de carbohidratos solubles en base seca, para lograr una fermentación apropiada en el ensilaje (Alaniz 2008 y Lima *et al.* 2012).

Según Alaniz (2008) y Woolford y Sawcyc (1984), el contenido de carbohidratos en las plantas depende de los siguientes factores:

- Especie forrajera: Las gramíneas contienen más carbohidratos que las leguminosas, aunque dentro de cada familia se dan diferencias entre especies e incluso entre variedades. Al respecto, Suárez-Paternina *et al.* (2016)

encontró mayor concentración de azúcares solubles en el pasto mulato II (*B. hybridum*), que en estrella (*C. nlemfuensis*) y Mombasa (*P. maximum*).

- Madurez de la planta: En una misma especie y variedad, la edad de la planta y estado fenológico afecta su composición química, reduciéndose el contenido de carbohidratos solubles a medida que la planta madura, lo que incide en el potencial de esta para producir un ensilado de buena calidad (Velasco *et al.* 2002, Martínez 1994, Martínez 2003 y Dean y Clavero 1992).
- Condiciones meteorológicas: Excesiva precipitación reduce la concentración de azúcares, al igual que la alta temperatura, pues el calor aumenta la tasa de respiración celular. En cambio, la alta radiación solar favorece la fotosíntesis de la planta y por tanto la producción de azúcares McDonald *et al.* 1991 y Cajarville *et al.*, 2007).
- Fertilización nitrogenada: si la dosis es alta se reduce la concentración de azúcares, pero si es baja ocurre lo contrario (McGrath 1992).
- Densidad de plantación: En cultivos de porte alto como el maíz y el sorgo, una elevada densidad de plantas por hectárea, retrasa la edad en que la planta alcanza la máxima concentración de azúcares (McAllan y Phipps 1977).
- Hora de cosecha: Las mayores concentraciones de azúcares solubles se presentan en las horas del mediodía (Suárez-Paternina *et al.* 2016).

Todos estos factores hacen que la concentración de azúcar en un forraje sea variada, y por tanto difícil de predecir. En términos generales, se puede decir que en un día gris y nublado la concentración de azúcares es inferior a la de un día claro y soleado, y mejor aún si la noche anterior ha sido fría. La temperatura, intensidad de la luz, la precipitación del día anterior y la hora de la cosecha, tienen mayor relevancia en la concentración de azúcares que la madurez de la planta (Guillet 1984, Cajarville 2007). Aunque en forrajes tropicales quizá estas variables no sean tan relevantes en la concentración de azúcares.

El contenido de carbohidratos solubles en el forraje a ensilar es fundamental para lograr una adecuada fermentación. Es un buen indicador de la aptitud que tiene un forraje para ser ensilado ya que los carbohidratos solubles son el sustrato que permitirá producir suficiente ácido láctico para lograr un pH bajo, lo que ayudará a evitar la actividad de las bacterias *Clostridium* y con ello la fermentación secundaria no deseada (Martínez 2003).

En cuanto a la concentración recomendable de azúcares para una adecuada fermentación, existen grandes diferencias entre los resultados de diferentes investigaciones. Martínez (2003) indica que debe contener al menos 12-15 % de azúcares solubles en base seca.

CAPACIDAD BUFFER

La capacidad tampón o buffer (CB) de las plantas se define como la resistencia que presentan las plantas a cambios de pH. Es un indicador relevante en el proceso del ensilaje, se expresa en miliequivalentes de álcali por kilogramo de materia seca (meq NaOH/kg MS) necesarios para reducir el pH de 6 a 4. Se puede utilizar como indicador de la cantidad de carbohidratos que se deben fermentar para que tenga lugar la síntesis de ácido láctico necesario (Martínez 2003). Algunos investigadores (Jobim *et al.* 2007) consideran que la disminución lenta o rápida del pH del

forraje después del corte, depende del contenido en proteína cruda, de los iones inorgánicos (Ca, K, Na) y de la combinación de ácidos orgánicos que contiene el forraje en el momento de la cosecha.

La edad de la planta es fundamental, debido a que la relación hoja/tallo se reduce con la edad, por lo que los metabolitos de la planta también disminuyen y, como consecuencia, el contenido de ácidos orgánicos, lo que conlleva a un descenso de la capacidad tampón conforme madura la planta (Martínez 1994, De la Roza 2005, Muck

et al. 1991). Cuanto mayor sea la capacidad tampón será necesario producir más ácido láctico durante el ensilaje para alcanzar el pH óptimo (alrededor de 4) y, por tanto, se necesitará mayor cantidad de azúcares solubles (Cañete y Sancha 1998).

La capacidad tampón de un forraje varía de acuerdo con la especie. Varios autores refieren valores que oscilan entre 200 y 600 meq de NaOH kg MS (McDonald *et al.* 1991, Muck *et al.* 1991, Martínez 1994). En general, las gramíneas presentan menor capacidad tampón que

las leguminosas. Estos mismos autores citan valores de 250 a 400 para los rye grass, y entre 500 y 600 para el trébol y la alfalfa, por lo que las leguminosas resultan más difíciles de ensilar. Por lo general el cultivo de maíz presenta valores más bajos (McDonald *et al.* 1991, Martínez *et al.* 1999). En un estudio realizado en Costa Rica con maíz en asociación con vigna (*Vigna radiata*) se encontraron valores que oscilaron entre 52,4 y 89,8 (Castillo *et al.* 2009). En general, con valores inferiores a 350 meq NaOH/kg MS es posible lograr la correcta acidificación de la masa forrajera (Martínez 2003).

NITRATOS

La fertilización nitrogenada es fundamental para el crecimiento y la producción de las pasturas debido al alto requerimiento de N que tienen las plantas (Dugarte y Ovalles 1991, Urbano *et al.* 2005 y Ruiz *et al.* 2014). Sin embargo, su aplicación en determinadas condiciones y cantidades puede alterar la concentración de nitratos (NO_3^-) en la planta y por ende el contenido de azúcares, incrementando la capacidad tampón como se explicó en las secciones anteriores (McGrath 1992, Martínez 1994, De la Roza 2005 y Muck 1991).

En gramíneas de zona templada, con aplicaciones moderadas de fertilizantes nitrogenados -no mayores a $170 \text{ kg N ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ -, se acumulan entre 5 y 10 g de NO_3^- por kg de MS de forraje. Estas cantidades producen beneficios sobre la fermentación, ya que mejora la eficiencia de la utilización de los azúcares por las bacterias lácticas. Sin embargo, con dosis superiores a $300 \text{ kg N ha}^{-1}\text{año}^{-1}$, se superan los 10 g de NO_3^- , lo que reduce la fermentación láctica (Martínez 2003).

PARÁMETROS DE FERMENTACIÓN

Después de elaborar el ensilado, su calidad se determina a partir de los metabolitos de fermentación y los indicadores organolépticos. Entre los metabolitos más comúnmente usados para determinar la calidad del ensilado están: el pH, el N-soluble, el N-amoniaco, los azúcares solubles, el ácido láctico, los ácidos grasos volátiles totales y los alcoholes (Martínez 2003; De la Rosa 2005).

En cuanto a los organolépticos, Chaverra y Bernal (2001) consideran que los más relevantes son el olor, el color, la textura y el grado de humedad. A continuación, se describen estos con mayor detalle.

METABOLITOS DE FERMENTACIÓN

El pH es uno de los indicadores más relevantes en la elaboración de ensilados. Se utiliza como referencia o indicador de la calidad fermentativa del forraje, debido a que es una de las transformaciones más radicales que ocurren en el forraje y porque tiene una estrecha relación con los procesos degradativos durante la conservación

(Jiménez y Moreno 2002 y Jobim *et al.* 2007). El pH es un indicador que refleja la magnitud de la fermentación y tiene relación con el contenido de MS, cuanto más alto, mayor será el pH y menor la acidez del ensilado (Martínez 2003, De la Roza 2005). En la Figura 1 se presenta la relación entre el contenido de MS del forraje y el pH del ensilado.

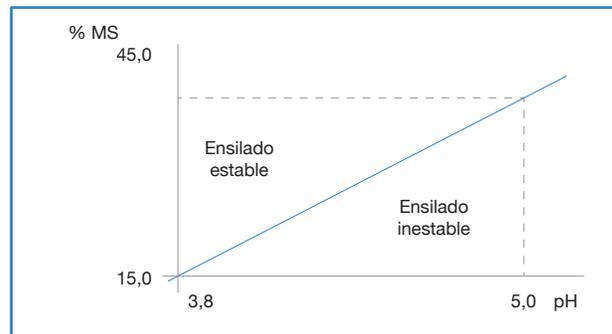


Figura 1. Estabilidad de un ensilado en función al contenido de materia seca (MS) y el pH.

Fuente: INRA (1981).

Como se observa en la Figura 1, el pH final de un ensilado aumenta conforme se incrementa el contenido en MS (Haigh 1987), ya que se limita la actividad de las bacterias a causa de la falta de agua para sus funciones vitales (Pichard y Cussen 1994).

Después de cortar el forraje y ensilarlo, es necesario que el descenso del pH ocurra lo más pronto posible para garantizar un hábitat desfavorable para las bacterias clostridios y reducir la respiración, evitando así la proteólisis y la proliferación de los microorganismos indeseables en el proceso. Se considera que cuando un ensilaje alcanza valores de pH alrededor de 4,2, ha logrado su estabilidad fermentativa (Pezo 1981, Muck 1988). Cuando el pH de un ensilado es menor de 4, las bacterias indeseables se inhiben y comienzan a ser remplazadas por las lácticas. Estos microorganismos comienzan a aumentar paulatinamente siempre y cuando existan carbohidratos disponibles. A medida progresa el proceso de ensilaje se va acumulando ácido láctico, el cual es el responsable de la conservación adecuada del forraje (Pezo 1981, Fernández 1999). Por el contrario, cuando el pH es mayor a 5, el ácido predominante

es el butírico, produciendo deterioro de la masa forrajera (De la Roza 2005). Además, Pezo (1981) y Fernández (1999) mencionan que, a este nivel de pH, las bacterias indeseables fermentan los azúcares solubles y ácidos orgánicos produciendo ácido butírico, CO₂ e hidrógeno, resultando en un ensilado de color negro y olor rancio. En ocasiones otros microorganismos fermentan los aminoácidos produciendo amoníaco con olor a orina, o animas con olor pútrido, lo que puede ocasionar reducción en el consumo voluntario de los animales.

Como producto de la fermentación de los ensilados, se producen una serie de metabolitos, siendo el N-soluble, el N-amoniacal, los azúcares residuales, el ácido láctico y los ácidos grasos volátiles (AGV's) los más relevantes (McDonald *et al.* 1991, Martínez *et al.* 1999, De la Roza *et al.* 2005, Martínez 2003). La calidad de los ensilados se puede clasificar en excelente, buena, regular, mala y muy mala según la concentración de estos metabolitos (Martínez *et al.* 1999). En la Cuadro 2 se presentan la concentración de los metabolitos más importantes para determinar la calidad de un ensilado.

Cuadro 2. Calidad de los ensilados de forrajes en función a los parámetros de fermentación.

Calidad	N-soluble (% N total)	N-amoniaco (% N total)	Ácido láctico (% MS) Total	Ácidos grasos volátiles (% MS)		
				Total	Acético	Butírico
Excelente	< 50	< 7	> 3	< 4	< 2	Ausencia
Buena	50-60	7-10	3-1,5	4-7	2-4	Trazas
Regular	60-65	10-15	1,5-0,5	7-10	4-5,5	< 0,5
Mala	> 65	15-20	< 0,5	10-13	5,5-7,5	> 0,5
Muy mala	> 75	> 20	Ausencia	> 13	> 7,5	> 0,5

Fuente: Martínez *et al.* (1999)

La relación de los azúcares solubles residuales en el ensilado con los del forraje de partida, indican si hubo suficiente sustrato para la fermentación láctica (Venegas 2011). La ausencia de azúcares solubles en el jugo del ensilado es un indicador de que la fermentación fue correcta (Martínez *et al.* 1999).

El N-soluble y el N-amoniaco presentes en el ensilado, provienen principalmente del metabolismo de los aminoácidos y los nitratos presentes en el forraje, como resultado de la acción de las bacterias (Esperance y Ojeda 1991, Martínez *et al.* 1999, Pichard y Rybertt 1993). La concentración de N-amoniaco es mayor en ensilados provenientes de leguminosas, el cual se puede reducir

agregando carbohidratos solubles (melaza, granos de cereales y otros) como sustrato (Argamentería *et al.* 1997). Para poder utilizarlos como indicadores del proceso de fermentación, es necesario expresarlo como porcentaje del nitrógeno total presente en el ensilado, indicando la proporción de las proteínas que se han degradado. En un ensilado bien conservado, se considera como óptima una concentración menor de 7 % de nitrógeno amoniaco como porcentaje del nitrógeno total (Esperance y Ojeda 1991). El N-amoniaco es uno de los principales indicadores de calidad de la fermentación, ya que se puede relacionar con el consumo voluntario por el ganado bovino (Dolezal 2003), como se muestra en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Relación entre el nitrógeno amoniaco y la calidad del ensilado, con respecto al consumo voluntario de bovino.

Nitrógeno amoniaco (% N total)	Calidad de Fermentación	Consumo relativo (%)
0-5	Excelente	100
5-10	Buena	98
10-15	Moderada	95
>15	Deficiente	90

El ácido láctico resulta de la transformación de los azúcares presentes en el forraje, contribuyendo de manera fundamental a la reducción del pH y a la estabilidad del ensilado (Martínez *et al.* 1999 y Venegas 2011). En condiciones ideales, la fermentación láctica es la última etapa del proceso de elaboración del ensilado. Corre a cargo de bacterias lácticas, que degradan los azúcares solubles y hemicelulosas presentes en el forraje hasta ácido láctico (Martínez 2003).

Para que este proceso se lleve a cabo adecuadamente, las bacterias requieren un pH comprendido entre 3 y 4, y condiciones de anaerobiosis.

Finalmente, la acción de las bacterias 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 (De la Roza 2005).

Los ácidos grasos volátiles son el producto de otras fermentaciones distintas a la láctica y que contribuyen al deterioro e inestabilidad del ensilado. Los más importantes son el ácido acético, propiónico y butírico. En un ensilado excelente, los dos primeros deben de estar presente en pequeñas cantidades, y el butírico ausente o en cantidades despreciables. Son el resultado de las

fermentaciones secundarias no deseables, inducidas por las bacterias coliformes y del género butírico, que en la mayoría de los casos están adheridas al forraje a través de la tierra, estiércol u otra partícula indeseable (Martínez 2003, Venegas 2011, De la Roza 2005 y Martínez *et al.* 1999).

El ácido acético se comienza a formar después de muertas las células vegetales por acción de las bacterias coliformes de la familia *Enterobacteriaceae*, las cuales producen ácido acético a partir del láctico. Su actividad requiere una temperatura óptima entre 18 y 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 como las *Streptococcus*, *Pediococcus* y *Leuconostoc* (McDonald *et al.* 1991, Martínez *et al.* 1999 y De la Roza 2005).

La producción de ácido butírico también está a cargo de las bacterias coliformes, que

transforman el ácido láctico en acético y gérmenes butíricos, principalmente del género *Clostridium* que degradan el nitrógeno proteico del forraje (Martínez *et al.* 1999). Estos autores consideran que la ausencia total de ácido butírico es el mejor indicador que el ensilado está bien conservado. Afirmación que coincide con De la Roza (2005), al argumentar que en el proceso del ensilaje la fermentación butírica es la más peligrosa, por lo que es preciso minimizarla. La formación de ácido butírico requiere temperaturas entre 20 y 40 °C, en competencia con las bacterias lácticas, pero los microorganismos que forman el ácido butírico requieren un pH superior a 4. También existen especies de bacterias proteolíticas que degradan el nitrógeno proteico del forraje hasta ácido butírico y amoníaco. Otras bacterias sacarolíticas degradan los azúcares y el ácido láctico hasta ácido butírico (McDonald *et al.* 1991 y De la Roza 2005). El último autor considera que también es necesario evitar la fermentación alcohólica a cargo de levaduras y hongos, debido a que una excesiva concentración de alcoholes resulta tóxica para el ganado.

INDICADORES ORGANOLÉPTICOS

La calidad de los ensilados también se puede valorar en función de parámetros organolépticos como el olor, el color, la textura y la humedad

(Chaverra y Bernal 2001). En el Cuadro 4 se presenta la clasificación de los ensilados según estos parámetros organolépticos.

Cuadro 4. Clasificación de ensilados en función a los parámetros organolépticos.

Calidad	Parámetro organoléptico			
	Color	Olor	Textura	Humedad
Excelente	Verde aceituna	Agradable, a fruta madura	Conserva los contornos definidos	No humedece al comprimir
Buena	Verde Amarillo	Agradable, ligero a vinagre	Conserva los contornos definidos	No humedece al comprimir
Regular	Verde oscuro	fuerte a vinagre	Bordes del ensilado mal definidos	Al comprimir gotea efluentes
Mala	Oscuro, casi negro	Desagradable, a putrefacción	Masa amorfa y jabonosa al tacto	Al comprimir destila efluentes

A pesar de que cualquier forraje se puede ensilar, la calidad final de un ensilado depende de las características del forraje y la eficiencia con que se realicen las diversas actividades que intervienen en el proceso. Con respecto a las cualidades del forraje, es conveniente ensilar forrajes con alto contenido de materia seca y

carbohidratos solubles, y baja capacidad buffer y nitratos. En cuanto a las actividades que intervienen en el proceso del ensilaje, utilizar un adecuado tamaño de picado, el uso de aditivos, buena compactación y el sellado hermético del silo, son indispensables para obtener un buen ensilado.

LITERATURA CITADA

- Alaniz Villanueva, OG. 2008. Adición de residuo de la industria cervecera al ensilaje de maíz como alternativa de forraje para ganado. Tesis M.Sc. Ciudad de Durango, México. Instituto Politécnico Nacional. 37 p.
- Argamentería, A; De la Roza, B; Martínez, A; Sánchez, L; Martínez, A. 1997. El ensilado en Asturias. Asturias, España. Editorial Servicio de Publicaciones del Principado de Asturias. 127 p.
- Cajarville, C; Britos, A; Caramelli, A; Antúnez, M; Zanoniani, R; Boggiano, P; Repetto, J. 2007. El horario de corte y el tipo de metabolismo fotosintético afectan la relación azúcares/nitrógeno de las pasturas. Sitio Argentino de Producción Animal. APPA- ALPA. 1-5 p.
- Cañete, M.V; Sancha, JL. 1998. Ensilado de forrajes y su empleo en la alimentación de rumiantes. Madrid, España. Editorial Mundi-Prensa. 260 p.
- Castillo, M; Rojas, A; WingChing, R. 2009. Valor nutricional del ensilaje de maíz cultivado en asocio con vigna (*Vigna radiata*). Agronomía Costarricense 33(1):133-146.
- Chaverra, H; Bernal, J. 2000. El ensilaje en la alimentación del ganado vacuno. In Bibliografía Memoria Institucional del IICA en Colombia 1962-2002. Bogotá, Colombia. Soche G. 2002 (ed). IICA-Tercer Mundo. 153 p.
- De la Roza, B. 2005. El ensilado en zonas húmedas y sus indicadores de calidad. In IV Jornadas de alimentación animal. Pontevedra, España. Laboratorio de Mouriscade. 1-20 p.
- Dean, D; Clavero, T. 1992. Características de crecimiento del Pasto Elefante Enano (*Pennisetum purpureum* cv Mott). Revista de Agronomía. Universidad de Zulia. 9:25-34.
- Dolezal, P. 2004. The influence of the silage with high acidity on the rumen fermentation of cows. Acta Universitatis Agriculturae Et Silviculturae Mendelianae Brunensis LII (1):91-96.
- Dugarte, M; Ovalles, L. 1991. La producción de pastos de altura, kikuyo y ryegrass perenne en el estado de Mérida (en línea). Boletín n.º 36. Estación Experimental Mérida, Colombia. Consultado el 8 de jul. 2015. Disponible en http://web.altagenetics.com/mexico/DairyBasics/Details/9486_Ganaderia-bovina-y-emision-de-gases-de-efecto-invernadero.html.
- Esperance, M; Ojeda, F. 1997. Conservación de Forrajes. Pastos y forrajes 20(1):1-5.
- Fernández, A. 1999. El silaje y los procesos fermentativos. Buenos Aires, Argentina. EEA-INTA. 11 p.
- Guillet, M. 1984. Las gramíneas forrajeras. In Prontuario de Agricultura. Madrid, España. Carrera, M; Galán, V; González, F; Hidalgo, L; Maroto, JV; Mateo, LM; Navaro, J; De la Puerta, C; Rojas, C; Zaragoza, S. 2005 (eds). Editorial Mundi-Prensa. 355 p.
- Haigh, P. 1987. The effect of dry matter content and silage additives on the fermentation of grass silage on commercial farms. Grass and Forage Science 42:1-8.
- INRA (Institut national de la recherche agronomique). 1981. Prévion de la valeur nutritive des aliments des ruminants. Versailles, Francia. Editorial INRA Publications. 590 p.
- Jiménez, F., Moreno, J. 2000. El ensilaje una alternativa para la conservación de forrajes. CORPOICA 13(1):71-78.
- Jobim, CC; Nussio, L; Reis, R; Schmidt, P. 2007. Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada. Revista Brasileira de Zootecnia 36:01-119.
- Lima, R; Castro, A; Fievez, F. 2012. Ensiled sorghum and soybean as ruminant feed in the tropics, with emphasis on Cuba. Grass and Forage Science 66(1):20-32.
- Martínez, A. 1994. Evolución de la aptitud para ensilar de las especies pratenses: *Lolium perenne*, *Lolium multiflorum* y *Dactylis glomerata*. In Seminario de investigación. Oviedo, España. Universidad de Oviedo. 25 p.
- Martínez, A. 2003. Ensilabilidad de especies pratenses en Asturias y su interacción con el uso de aditivos. Tesis Ph.D. Oviedo, España. Universidad de Oviedo. 450 p.
- Martínez, A; De la Roza, B; Fernández, O. 1999. Nuevas técnicas para determinar la calidad de los ensilados. Asturias, España. Boletín Pastos y Forrajes. CIATA. 48.

- Martínez, A; De la Roza, B. 1997. Poder contaminante de los efluentes de ensilados de hierba y raigrás italiano según materia seca del forraje inicial y aditivo utilizado. *In* Actas de la XXXVII Reunión Científica de la SEEP. Sevilla, España. p. 199-204.
- Mayne, CS; Gordon, FJ. 1986. Effect of harvesting system on nutrient losses during silage making. *Grass forage Sciences* 41(4):341-351.
- McAllan, AB; Phipps, RH. 1977. The effect of sample date and plant density on the carbohydrate content of forage maize and changes that occur in silage. *Journal of Agricultural Science* 89(3):589-597.
- McDonald, P; Henderson, AR; Heron, SJ. 1991. *The biochemistry of silage*. Ciudad Madison, USA. Editorial Chalcombe Publications. 340 p.
- McGrath, D. 1992. A note on the influence of nitrogen application and time of cutting on water soluble carbohydrate production by italian ryegrass. *Irish Journal of Agricultural and Food Research* 31(2):189-192.
- Muck, R. 1988. Factors influencing silage quality and their implications for management. *Journal of Dairy Science* 71(11):2992-3002.
- Muck, RE; O'kiely, P; Wilson, RK. 1991. Buffering capacities in permanent pasture grasses. *Irish Journal of Agricultural Research* 30(2):129-141.
- Ojeda, F; Cáceres, O; Esperance, M. 1991. *Conservación de Forrajes*. La Habana, Cuba Editorial Pueblo y Educación. 80 p.
- O'kkiely, P; Flinn, V; Poole, D. 1989. Sulphuric acid as silage preservative. 1. Silage preservation, animal performance and copper status. *Irish Journal of Agricultural Research* 28(1):1-9.
- Pezo, D.1981. Ensilajes de forrajes tropicales. *In* Producción y Utilización de Forrajes en el Trópico. Turrialba, Costa Rica. CATIE. Serie Materiales de Enseñanza No. 10. p. 141-154.
- Pichard, G; Rybertt, G. 1993. Degradación de las proteínas en el proceso de ensilaje. *Ciencia e Investigación Agraria* 20(2):402-429.
- Relling, AE; Mattioli, GA. 2003. *Fisiología digestiva y metabólica de los rumiantes*. Buenos aires, Argentina. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata. 28 p.
- Ruiz, JD; Villar, D; Corre, HJ; Roldán, M; Ríos, CJ. 2014. Niveles de nitrato en pasto Kikuyo (*Cenchrus clandestinus* (Hochst. ex Chiov.) fertilizado con urea en el antiplano de Antioquia, Colombia. *CES* 9 (1):52-57.
- Suárez-Paternina, E; Reza-García, S; Cuadrado-Capella, H; Pastrana-Vargas, I; Espinosa-Carvajal, M; Mejía-Kerguelen, S. 2016. Variación en la concentración de sólidos solubles durante el día, en tres pasturas en época seca en el valle medio del río Sinú. *CORPOICA Ciencia Tecnología Agropecuaria* 16(2):181-188.
- Urbano, D; Castro, F; Dávila, C. 2005. Efecto de la presión de pastoreo y fertilización NPK sobre la composición botánica de la asociación kikuyo-maní forrajero en la zona alta del estado Mérida. *Zootecnia Tropical* 23(4):333-344.
- Vallejo, MA. 1995. Efecto del premarchitado y la adición de melaza sobre la calidad del ensilaje de diferentes follajes de árboles y arbustos tropicales. Tesis M.Sc. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 115 p.
- Velasco, ME; Hernández, A; González, VA; Pérez, J; Vaquero, H. 2002. Curvas estacionales del ballico perenne. *Revista Fitotecnia Mexicana* 25(1):97-106.
- Venegas, JL. 2011. Comparación de dos sistemas de manejo (convencional o ecológico) en la evolución del cultivo de maíz forrajero. Evaluación de posibles diferencias en degradabilidad ruminal de los ensilados resultantes. Tesis M.Sc. Zaragoza, España. Universidad de Zaragoza. 104 p.
- Weissbach, F; Honig, H. 1996. Über die Vorhersage und Steuerung des Gärungsverlaufs bei der Silierung von Grünfütter aus extensivem Anbau. *Landbauforschung Völkenrode* 46 (1):10-17.
- Woolford, MK; Sawczyk, MK. 1984. An investigation into the effect of cultures of lactic acid bacteria on fermentation in silage. *Grass and Forage Science* 39(2):149-158.
- Yahaya, MS; Kawai, M; Takahashi, J; Matsuoja, S. 2002. The effect of different moisture contents at ensiling on silo degradation and digestibility of structural carbohydrates of orchard grass. *Animal Feed Science and Technology* 101(1):127-133.