



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN

" EFECTO DE LA ADICION BACTERIANA SOBRE  
EL PROCESO DE LA FERMENTACION Y LA  
CALIDAD TERMINAL DEL ENSILADO DE MAIZ "

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO AGRICOLA

P R E S E N T A

GUILLERMO ALFONSO DE LA TORRE GEA

ASESOR: MC LUIS RICARDO CAZAREZ GARCIA

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

1993

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## INDICE DE CUADROS Y FIGURAS.

Figura 1.	Esquema general de la degradación de los carbohidratos.....	17
Figura 2.	Esquema general de las vías metabólicas microbianas que dan origen a los ácidos grasos volátiles y otros productos de la fermentación .....	20
Figura 3.	Porcentaje de materia seca en el ensilado de maíz forrajero.....	96
Figura 4.	Porcentaje de cenizas en el ensilado de maíz forrajero .....	97
Figura 5.	Porcentaje de extracto etereo en el ensilado de maíz forrajero....	98
Figura 6.	Porcentaje de extracto libre de nitrógeno en el ensilado de maíz.	99
Figura 7.	Porcentaje del Total de nutrientes digestibles en el ensilado de maíz forrajero .....	100
Figura 8.	Porcentaje de humedad en el ensilado de maíz forrajero .....	101
Figura 9.	Porcentaje de proteína cruda en el ensilado de maíz forrajero....	103
Cuadro 1.	Clave para la valorización del ensilado.....	64

Cuadro 2.	Contenido de amoniaco en dos ensilados de diferente calidad.....	65
Cuadro 3.	Categorización del ensilado por la prueba de los sentidos.....	67
Cuadro 4.	Valores y coeficientes de variación para los niveles de concentración de nutrientes utilizados para el criterio DRIS.....	75
Cuadro 5.	Valores críticos para maíz, útiles para interpretar los resultados del análisis de planta.....	76
Cuadro 6.	Resultados del análisis nutrimental practicado a hojas y organos vegetales de las plantas utilizadas como forraje .....	79
Cuadro 7.	Interpretación de los resultados del análisis nutrimental practicado a hojas y plantas utilizadas como forraje a travez de la metodología DRIS .....	80
Cuadro 8.	Resultados del análisis bromatológico del forraje original .....	83
Cuadro 9.	Resultados de temperatura de los ensilados al momento de realizar las muestras de 8,30 y 180 días..	85
Cuadro 10.	Resultados de pH de los ensilados al momento de realizar el muestreo a 8,30 y 180 días .....	86

## INDICE DE CUADROS Y FIGURAS.

Figura 1.	Esquema general de la degradación de los carbohidratos.....	17
Figura 2.	Esquema general de las vías metabólicas microbianas que dan origen a los ácidos grasos volátiles y otros productos de la fermentación .....	20
Figura 3.	Porcentaje de materia seca en el ensilado de maíz forrajero.....	96
Figura 4.	Porcentaje de cenizas en el ensilado de maíz forrajero .....	97
Figura 5.	Porcentaje de extracto etereo en el ensilado de maíz forrajero....	98
Figura 6.	Porcentaje de extracto libre de nitrógeno en el ensilado de maíz.	99
Figura 7.	Porcentaje del Total de nutrientes digestibles en el ensilado de maíz forrajero .....	100
Figura 8.	Porcentaje de humedad en el ensilado de maíz forrajero .....	101
Figura 9.	Porcentaje de proteína cruda en el ensilado de maíz forrajero....	103
Cuadro 1.	Clave para la valorización del ensilado.....	64

INDICE DE CUADROS Y FIGURAS.

- Figura 1. Esquema general de la degradación  
de los carbohidratos..... 17
- Figura 2. Esquema general de las vías meta-  
bólicas microbianas q

- Cuadro 2. Contenido de amoniaco en dos ensilados de diferente calidad.....65
- Cuadro 3. Categorización del ensilado por la prueba de los sentidos..... 67
- Cuadro 4. Valores y coeficientes de variación para los niveles de concentración de nutrientes utilizados para el criterio DRIS..... 75
- Cuadro 5. Valores críticos para maíz, útiles para interpretar los resultados del análisis de planta..... 76
- Cuadro 6. Resultados del análisis nutrimental practicado a hojas y organos vegetales de las plantas utilizadas como forraje .....79
- Cuadro 7. Interpretación de los resultados del análisis nutrimental practicado a hojas y plantas utilizadas como forraje a travez de la metodologíaDRIS ..... 80
- Cuadro 8. Resultados del análisis bromatológico del forraje original .....83
- Cuadro 9. Resultados de temperatura de los ensilados al momento de realizar las muestras de 8,30 y 180 días..85
- Cuadro 10. Resultados de pH de los ensilados al momento de realizar el muestreo a 8,30 y 180 días .....86

Cuadro 11.	Valorización de los ensilados...	89
Cuadro 12.	Cálculo de las pérdidas de los ensilados debido a enmohecimiento	90
Cuadro 13.	Resultados del análisis estadístico de los ensilados utilizando el modelo estadístico completamente al azar.....	92
Cuadro 14.	Resultados del análisis estadístico de los ensilados utilizando el modelo de parcelas divididas .....	93

#### INDICE DEL APENDICE.

Cuadro 1A al 6A.	Resultados de los análisis bromatológicos practicados a los ensilados.....	108
Cuadro 7A.	Cálculo de la capacidad de los - sifos 4 y 5 de la FES-C .....	111
Cuadro 8A.	Cálculo de la aplicación del pro- ducto inoculante .....	112



## INDICE.

RESUMEN.....	I
INTRODUCCION.....	1
OBJETIVOS.....	4
HIPOTESIS.....	5
REVISION DE LITERATURA.....	6
1. Principios del ensilaje.....	6
2. Agentes fermentantes.....	9
3. Papel de los carbohidratos.....	14
4. El papel de las enzimas.....	22
5. Condiciones fundamentales para el ensilado.....	23
6. Tipos de ensilado.....	27
7. Cambios químicos en el forraje...	30
8. Pérdidas de materia seca.....	34
9. Las bacterias en el proceso de ensilaje.....	39
10. Aditivos.....	51

11. Evaluación de la calidad del ensilado..	57
MATERIALES Y METODOS.....	68
1. Localización.....	68
2. Descripción de la zona .....	68
3. Metodología.....	69
RESULTADOS Y DISCUSION.....	79
1. Análisis nutrimental.....	79
2. Condiciones nutrimentales del forraje original.....	82
3. pH y temperaturas de los ensilados .....	84
4. Prueba de los sentidos y otras observaciones .....	87
5. Análisis bromatológicos de los ensilados	92
CONCLUSION.....	106
APENDICE.....	107
BIBLIOGRAFIA.....	113

La presente investigación consistió en -- probar la eficiencia de la práctica de inoculación con bacterias lácticas en el proceso de ensilaje, para lo cual, se obtuvo un producto de origen norteamericano (IM-PRUV-ALL), el cual contiene una relación de  $1 \times 10^9$  bacterias por gramo de producto, además de contener enzimas de celulosa, almidón, dextrina y amilasa purificada.

La práctica de inoculación se llevó a cabo en los silos 4 y 5 del Centro de Producción Agropecuaria en la F.E.S.-Cuautitlán, utilizándose ,para esto, forraje de maíz picado -- procedente de la parcela 10-17-13 de dicha -- escuela.

En laboratorio, se efectuaron análisis bromatológicos mediante la técnica de Weende para determinar las siguientes fracciones: materia

seca, humedad, cenizas, proteína cruda, extracto etereo, fibra cruda, así como pH y temperatura, además de un análisis nutrimental del forraje antes de ser procesado.

Los análisis fueron efectuados a diferentes lapsos de tiempo: 8 días, 30 días y 180 días, con el fin de observar los cambios sufridos en el forraje ensilado y comparando contra un ensilaje testigo, determinar la eficiencia de la práctica de inoculación con lactobacilos sobre el proceso natural de fermentación del ensilado.

Los resultados obtenidos fueron analizados mediante los modelos estadísticos completamente al azar y parcelas divididas, determinando diferencias significativas debidas a los tratamientos y a los diferentes lapsos de tiempo. No existiendo diferencias debidas a -

las repeticiones, lo cual le dió validez a las determinaciones en el laboratorio.

Las conclusiones a las que se llegó son que el ensilado tratado con lactobacilos presentó mayor calidad nutricional que el ensilado testigo, debido a una disminución de las pérdidas originada al acortar el lapso de tiempo en que se realizó el proceso fermentativo.

## INTRODUCCION.

El maíz constituye el alimento básico de mayor importancia en México y en casi todos los países de América. En nuestro país, se calcula que esta especie cubre alrededor del 51% del área total que se encuentra bajo cultivo.

En cuanto a la utilización del maíz como especie forrajera de altos rendimientos, encontramos que según la superficie sembrada de este cultivo en nuestro país, de las 14,936,462 toneladas de forraje producido en 1988, el - Estado de México produjo el 14.1 % del total de la producción (SARH, 1989).

La zona no urbana del Valle de México es - una región en la que, dentro del aspecto agropecuario, la explotación fundamental es el ganado lechero estabulado, es decir, es una --

cuencia lechera. Estas explotaciones ganaderas utilizan grandes cantidades de material ensilado, lo cual genera una gran demanda de maíz forrajero para ensilar (Amezcuca y Mesa, 1986).

Al ser ensilado el forraje, este experimenta una serie de cambios bioquímicos, tales como la disminución de hidratos de carbono, la degradación de proteínas, además de disminuciones en el valor nutritivo y pérdidas de materia seca, llegando a ser estas últimas del orden del 15 al 30% (Watson y Smith, 1979).

Con la finalidad de disminuir esas pérdidas al mínimo, se han utilizado diversas técnicas entre las que destacan la utilización de aditivos. Dentro de éstos podemos mencionar a los acidificantes (ácidos orgánicos e inorgánicos)

bacteriostáticos y estimulantes de las fermentaciones lácticas.

Pocos estudios se han realizado en nuestro país acerca de la inoculación con bacterias del género Lactobacillus como estimulantes de las fermentaciones lácticas, en el proceso de ensilaje, aunque es importante considerarlo como una posible opción para tratar de reducir las pérdidas en el proceso de ensilaje de los forrajes.

La presente investigación se realizó con el objeto de evaluar la actividad benéfica de un estimulante de la fermentación en el proceso de ensilaje del maíz forrajero.



## OBJETIVOS.

### 1. Objetivo General.

Evaluar la eficiencia de la adición de bacterias al proceso de ensilaje en el maíz forrajero.

### 2. Objetivos específicos.

- Determinar la velocidad del proceso de ensilaje con la adición de bacterias,
- Estimar mediante los parámetros pH y temperatura el comportamiento del forraje en el proceso de ensilaje cuando éste es inoculado con bacterias, haciendo comparaciones a tres diferentes periodos de tiempo, contra el método tradicional,
- Estudiar la composición orgánica del forraje en las distintas etapas del proceso de ensilaje,
- Comparar la calidad del ensilado producido mediante la inoculación con bacterias y el

método tradicional.

### HIPOTESIS.

La práctica de inoculación en el proceso de ensilaje, debe acelerar dicho proceso, obteniéndose el producto en un menor número de días con respecto al método tradicional.

Sí la práctica de inoculación disminuye el tiempo del proceso de ensilaje, también debe reducir las pérdidas ocasionadas en el proceso fermentativo del forraje, elevando la calidad del mismo.

REVISION DE LITERATURA.

## 1. Principios del ensilaje.

El ensilaje, es el proceso de conservación en verde de la hierba o forraje con un determinado grado de humedad y con pérdidas mínimas del valor nutritivo y materia seca (Watson y Ratera, 1984).

Este proceso, que se verifica en la materia orgánica, es sumamente complicado y depende de un gran número de factores cuyas acciones se entremezclan y determinan la producción de agentes y organismos microscópicos muy diversos y numerosos.

Si se abandona un monton de forraje verde recién cortado, es posible constatar que pronto se calienta, fermenta, se descompone poco

a poco y finalmente se transforma en humus. En el ensilaje, se propone utilizar el primero de dichos fenómenos, esforzándose en evitar los últimos términos que darían por resultado la destrucción total de la masa ensilada (Nuñez, 1970).

Para que el proceso se lleve a cabo, se deben producir una serie de alteraciones bioquímicas en el forraje, debido a enzimas producidas por la misma planta, en la fase de respiración aerobia inicialmente y anaerobia o intermolecular después y por la actividad enzimática de las bacterias acompañantes de la segunda fase del proceso de fermentación.

El forraje segado y colocado en el silo, continua su proceso de respiración, puesto que las células aún están vivas, produciendo

CO<sub>2</sub> y calor. En una primera fase, el consumo de oxígeno así como la producción de CO<sub>2</sub>, favorecen las condiciones anaerobias esenciales para el desarrollo de las bacterias lácticas. Se presenta la degradación de azúcares solubles e incluso de proteínas, la cual no se detiene hasta que el pH disminuye a un nivel aproximado de 4.0. La hierba se calienta generalmente en medida proporcional al aire presente (Duthil, 1976).

La fase de fermentación se inicia al término de la respiración, mediante la formación de ácido acético a través de bacterias del grupo Coliforme (temperaturas óptimas de 18 a 25°C), las cuales desaparecen a mayor temperatura y pH de 4.2 aproximadamente; estas son de escasa duración y poca importancia. Al seguir disminuyendo el pH, proliferan las bac-

terias lácticas a una temperatura óptima de 35°C (pueden producirse entre 5 y 60°C), en un ambiente rico en azúcares solubles, exento de oxígeno y un nivel de pH entre 3 y 4. Al alcanzar este nivel, se interrumpe el proceso, completandose la fermentación. El proceso en total tarda regularmente 21 días, pero puede variar con la utilización de acidificantes artificiales, ensilado frío o caliente (Duthil, -- 1976; Muslera y Ratera, 1984).

## 2. Agentes fermentantes.

Entre los principales agentes que pueden -- intervenir en las transformaciones que sufre la materia vegetal deben citarse:

- a) los fermentos láctico, butírico y acético,
- b) las diastasas y
- c) los fermentos de las materias albuminoides.

Los fermentos lácticos transforman los azúcares en ácido láctico, que constituye un poderoso agente conservante de la materia orgánica, puesto que destruye agentes nocivos; - además es considerado como un fuerte esterilizante. Entre los principales grupos de fermentos lácticos que pueden encontrarse en la materia verde en estado de fermentación, las más favorables son las que se desarrollan de preferencia a una temperatura comprendida entre 30 y 50°C y que además pueden vivir sin aire. Los forrajes verdes tienen ciertas cantidades de fermentos lácticos, lo cual se puede comprobar amontonando forraje y conservandolo a una temperatura de 35 a 50°C para facilitar la producción de ácido láctico (Nuñez, 1970).

Un pH menor de 4.0 impide la fermentación butírica. Si el pH no llega a alcanzarse, o la

CO<sub>2</sub> y calor. En una primera fase, el consumo de oxígeno así como la producción de CO<sub>2</sub>, favorecen las condiciones anaerobias esenciales para el desarrollo de las bacterias lácticas. Se presenta la degradación de azúcares solubles e incluso de proteínas, la cual no se detiene hasta que el pH disminuye a un nivel aproximado de 4.0. La hierba se calienta generalmente en medida proporcional al aire presente (Duthil, 1976).

La fase de fermentación se inicia al término de la respiración, mediante la formación de ácido acético a través de bacterias del grupo Coliforme (temperaturas óptimas de 18 a 25°C), las cuales desaparecen a mayor temperatura y pH de 4.2 aproximadamente; estas son de escasa duración y poca importancia. Al seguir disminuyendo el pH, proliferan las bac-



Cuando las células del forraje, han agotado todo el oxígeno contenido en los espacios vacantes, no por esto termina su actividad, pero toma una nueva forma llamada respiración intramolecular o efecto de las acciones diastáticas y que dá por resultado la formación de alcohol y ácido carbónico. Esto se debe a la actividad de una sustancia llamada diastasa o zimosa alcoholica, que da a la masa su olor característico y los productos que resultan de diversas transformaciones químicas como los ácidos málico, cítrico y otros que le dan al forraje un olor agradable, si otra acción nociva no llega a perjudicarla posteriormente. Las diastasas son productos de segregación de las células; obran al mismo tiempo que las bacterias y con los mismos fines, además de atacar las sustancias azucaradas que contienen los forrajes verdes. Las más comunes son las lactasas, que transforman el azúcar de la le-

che y la sucrasa, que cambia el azúcar cristalizabile en glucosa incristalizabile.

Existen, además, en los ensilados, fermentaciones no deseables, que obran sobre las -- sustancias albuminoides y que provocan su putrefacción. Estas son provocadas generalmente por las bacterias Bacillus putrefaciens, B. postumus y B. proteus, que son aerobios y anaerobios. Producen la degradación de enzimas y proteínas, formando ácido butírico, ácido acético, amidas y amoníaco que alcaliniza el medio. - Las amidas son sustancias solubles que se encuentran en abundancia en los jugos que se escurren de los forrajes que se han ensilado - demasiado verdes o mojados por la lluvia. Estas fermentaciones son comunes en ensilados de leguminosas.

Una vez destruídos los azúcares, entran en

juego las fermentaciones amoniacaes, dando - como resultado la destrucción total de los - vegetales y su transformación en humus, además de la formación de alcohol, cuando los azucares son atacados por las enzimas de las levaduras. Este compuesto no llega a formar el 1% porque casi siempre se combina con los ácidos orgánicos, formando ésteres de olor agradable (Nuñez, 1970; Watson y Smith, 1979).

### 3. El papel de los carbohidratos.

De los compuestos orgánicos que contienen los alimentos, los carbohidratos son los que se consideran como los principales sustratos energéticos, ya que los lípidos, aunque de mayor contenido energético, están presentes en bajas cantidades (3 a 5%) y las proteínas generalmente se incluyen a niveles que sólo satisfacen los requerimientos específicos de és-

te nutriente por parte de los animales --  
(Mc Donald, 1975).

Los carbohidratos constituyen aproximada--  
mente el 75% de los tejidos, los cuales utili-  
zan para su formación una gran parte de la en-  
ergía deribada de la fotosíntesis.

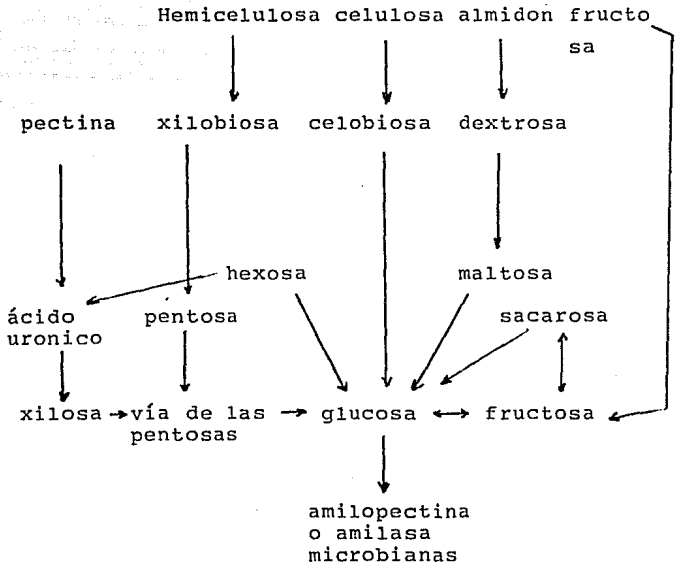
Aunque existe una gran parte de azúcares  
simples, la mayor parte de los carbohidratos  
se encuentran como polisacáridos, siendo la  
hemicelulosa, celulosa, pectina y almidón las  
más importantes.

El contenido de los azucares en los forra-  
jes, es importante para la palatabilidad de -  
éstos, así como para un ensilaje adecuado. --  
Este contenido está determinado por el estado  
fisiológico del forraje al ser cosechado y por  
las condiciones ambientales, ya que una alta

intensidad luminosa y tasa de fotosíntesis, incrementa el contenido de azúcares, sin embargo, altas temperaturas incrementan la tasa metabólica de las plantas y como consecuencia, reducen el contenido de azúcares simples, aumentando los carbohidratos estructurales. Sus vías metabólicas se muestran en la Figura 1.

Los azúcares simples más comunes en los forrajes son las hexosas (glucosa, fructosa y galactosa) y pentosas (ribosa y xilosa). Debido a la presencia de un grupo activo (aldehído o cetona) altamente reductor, los azúcares simples pueden oxidarse dando origen a ácidos glucorónico y galactofirónico. También pueden reducirse a polialcoholes como el dulcitol o manitol. Estas transformaciones pueden producirse durante el proceso de fermentación dentro del rumen o durante el ensilado (Mc Donald, 1975).

Figura 1. Esquema general de la degradación de los carbohidratos hasta glucosa



La celulosa es un polisacárido de tipo estructural que se encuentra en las paredes de las células vegetales. Es uno de los componentes más insolubles de la pared celular y está constituida por residuos de D-anhídrido-gluco--piranosa, unidos entre sí por enlaces glucosídicos 1-4. El grado de polimerización varía según el tipo de planta, desde 15 a 14000 unidades de glucosa (Elías, 1976).

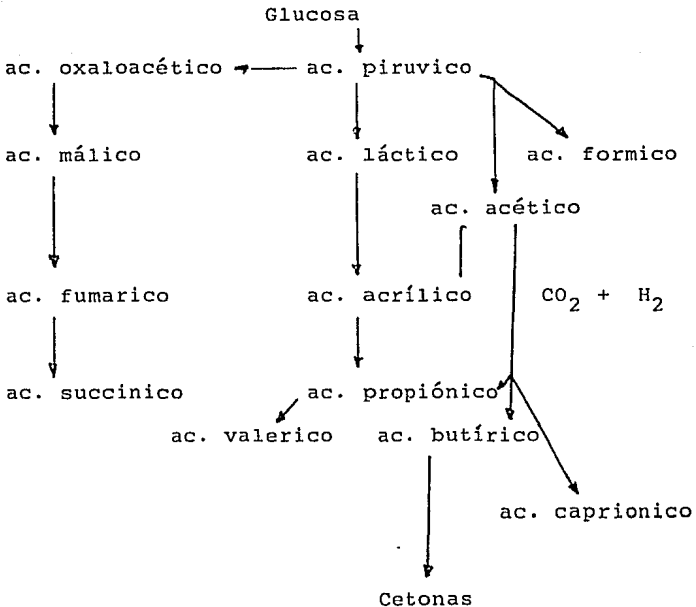
Ningún mamífero es capaz de hidrolizar los enlaces glucosídicos 1-4 y, en consecuencia, no pueden utilizar la energía contenida en este compuesto. Sin embargo, los rumiantes y en menor grado los monogástricos, pueden utilizar la celulosa gracias a la hidrólisis inicial - que se lleva a cabo por enzimas microbianas, liberando glucosa que es fermentada por los mismos microorganismos y liberando ácidos grasos volátiles que los animales si pueden uti-

lizar. En las dietas comunes para rumiantes, se estima que la celulosa constituye aproximadamente el 25% de la materia seca.

La hemicelulosa es un polímero amorfo compuesto por celulosa, un polímero de xilosa, -arabionosa, manosa y galactosa, más una mezcla de ácido urónico y otros azúcares, siendo el xilano el principal componente. Los enlaces -glucosídicos son de tipo 1-3, 1-4 y 1-6; forma cadenas lineales y rara vez ramificadas, de -peso molecular más bajo que la celulosa. La hemicelulosa es un componente, al igual que la celulosa, que forma parte de las hojas y tallos de las plantas y algunas semillas ---- (Mc Donald, 1975; Muslera y Ratera, 1984). La degradación de dichos carbohidratos se -- muestra en la Figura 2.



Figura 2. Esquema general de las vías metabólicas microbianas que dan origen a los ácidos grasos volátiles y otros productos de la fermentación.



Las transformaciones bioquímicas de la celulosa y hemicelulosa en azúcares solubles se realiza principalmente en el retículo-rumen. Sin embargo, en otros herbívoros monogástricos (caballo y conejo), se lleva a cabo en el ciego y colon del tracto digestivo. Esta transformación se debe a las enzimas producidas por microorganismos simbióticos presentes en el retículo-rumen y tracto digestivo distal.

El retículo-rumen presenta las características ideales de un sistema de fermentación continuo, tales como la temperatura de 38°C, pH de 5.3 a 7.4, condiciones anaeróbicas, abastecimiento constante de alimento, eliminación de desechos de la fermentación y movimientos ruminales que favorecen el contacto entre el alimento y los microorganismos, produciéndose principalmente ácidos grasos volátiles, bióxido de carbono, metano, células mi-

microbianas y calor. La hidrólisis inicial de los carbohidratos da glucosa como producto principal, como se muestra en la Figura 2, y en las etapas siguientes, todos los productos finales de fermentación tienen un intermedio común que es el ácido piruvico, como se muestra en la Figura 1. Esto indica que los diferentes productos finales de la fermentación no dependen tanto de los ingredientes per se, sino de las modificaciones que éstos puedan ocasionar sobre el medio ruminal e indirectamente, sobre la población de microorganismos (luna, 1984).

#### 4. El papel de las enzimas.

Para fines prácticos, las enzimas se pueden dividir, según su forma de actuación, en hidrolasas y desmolasas. Las primeras ocasionan un desdoblamiento de compuestos con adición de agua (hidrólisis) y las otras, separan cadenas

de átomos o hacen saltar átomos aislados de una molécula..

Las enzimas que actúan hidrolíticamente, - son las diastasas, lactasas, lipasas y todas las enzimas proteolíticas como las pepsinas, tripsinas, erepsinas, así como las peptidasas que hidrolisan peptonas en aminoácidos y las aminoacioxidasas que hidrolizan los aminoácidos en ácido carbonico y amoniaco.

Las desmolosas comprenden a las enzimas - oxidantes y redustoras como las catalaza y las enzimas típicas fermentativas, que degradan - azucares a alcohol, ácido láctico, ácido carbónico y energía (Demeter y Elbertzagen, 1971)

5. Condiciones fundamentales para el ensilado.

Para el buen desarrollo de las reacciones

bioquímicas en el proceso de fermentación del ensilado, son necesarias las siguientes condiciones:

- 1) Medio anaerobio,
- 2) Temperatura entre 5 y 60° (entre 5 y 20° las únicas bacterias que se desarrollan son las lácticas),
- 3) Humedad entre 60 y 75%, que permite una buena concentración de carbohidratos. Por debajo de estos niveles se eleva la temperatura al dificultarse la compactación y por encima de éstos se favorecen las fermentaciones acéticas y butíricas,
- 4) Mantener un pH entre 3 y 4,
- 5) Impedir entradas de aire (Duthil, 1976; Muslera y Ratera, 1984).

Existen además muchos factores tales como el clima, grado de madurez, duración de la -- respiración aerobia en el silo, rapidez de --

llenado y otros más que tienen influencia marcada sobre la naturaleza de las fermentaciones obtenidas y la composición química del producto ensilado (Nuñez, 1970).

Si en el proceso de ensilaje, la respiración se detiene por falta de oxígeno, se producen menos pérdidas de hidratos de carbono solubles y la temperatura no se eleva en excesivamente. Los ensilajes de mayor densidad, muy compactos, tienen temperaturas de fermentación más bajas. La compactación en un silo de trinchera por ejemplo, debe ser de 600 a 700 Kg por metro cuadrado (Stock, 1970).

La densidad del ensilado varía según el estado del forraje, desde 500-600 kg/m<sup>3</sup> en forraje presecado (materia seca mayor el 25%) a 600-800 kg/m<sup>3</sup> en forraje poco aireado (materia seca entre 20 y 25%) y 1000 kg/m<sup>3</sup> en fo-

rraje húmedo (materia seca menor al 20%). Una buena compactación del ensilado se logra al incrementar la finura del troceado del forraje.

Un alto contenido de hidratos de carbono -- solubles en el forraje propician un buen ensilado; lo cual está dado por el grado de madurez y por la especie vegetal. Cuando el forraje es cosechado en un estado de madurez temprana, retiene un alto porcentaje de agua en forma de jugos que se pierden en el drenaje -- del silo, originando la pérdida de azúcares -- solubles, por lo que se hace necesario un proceso de desecación previa.

Este proceso es necesario en leguminosas, debido a su bajo porcentaje de azúcares y/o al grado de humedad, y menos necesario en las gramíneas. Un porcentaje de materia seca mayor al 35% puede originar problemas de compactación.

Además, aumenta el costo de recolección y crea dependencia a los factores climáticos. Según Murdoch (1960), se presenta una mayor ingestión y aceptación de los ensilados con un alto grado de materia seca, así como menores pérdidas en la digestibilidad.

#### 6. Tipos de ensilado.

Las combinaciones de los factores citados, influyen sobre las temperaturas de las fermentaciones. De esta manera los ensilados pueden clasificarse de la siguiente manera:

1) Fríos: Se logran con una buena y rápida -- compactación, con poco oxígeno, la respiración se detiene rápidamente y la temperatura es menor a 20°C. El color del producto es pardo -- verdoso, de textura viscosa, olor fuerte e insípido, con alto contenido de humedad y con -- riesgo de fermentaciones butíricas y pérdidas



por efluentes.

2) Normal: Con abundante ácido láctico, temperaturas entre 25 y 40°C, color verde a amarillo, olor agradable a vinagre, textura consistente y gusto ácido; la compactación no es muy grande o el llenado es más lento.

3) Caliente: Cuando las temperaturas son mayores a 40°C, las bacterias lácticas proliferan, las bacterias butíricas no resisten y hay buena conservación pero elevada pérdida de energía. El color es marrón oscuro a negro, con olor a azúcar quemada o a heno pasado.

4) Ensilado dulce: Es el que ha sufrido una fermentación alcohólica acentuada, la cual se vuelve más marcada entre los 60 y 70°C.

5) Ensilado ácido: Se realiza entre los 45 y 52°C con una proporción importante de ácido láctico. Si la temperatura es menor a 45°C se desarrollan los ácidos acético, propiónico y butírico (Muslera y Ratera, 1984; Nuñez, 1970).

El color cafe o negro del ensilado, es una prueba de que la temperatura ha sido demasiado alta durante el proceso y los compuestos orgánicos se han carbonizado; esto se debe a que la compactación es deficiente y hay un exceso de oxígeno que provoca una mayor oxidación. El sabor es agradable (a azúcar quemada), pero su valor nutritivo corre el riesgo de ser bajo, porque los carbohidratos han sido oxidados -- (pérdida de materia seca) y la digestibilidad de las proteínas se ha reducido a causa del exceso de calor.

Cuando la temperatura es moderada, el ensilado es verde amarillento y a veces dorado, debido a que la acción de los ácidos orgánicos sobre la clorofila provoca que ésta pierda -- magnesio (Watson y Smith, 1979).

## 7. Cambios químicos en el forraje.

Los cambios químicos que experimenta el forraje ensilado son la disminución de hidratos decarbono, degradación de proteínas, pérdidas de materia seca y valor nutritivo del producto original (Raymond, 1977).

Estos cambios ocurren rápidamente y pueden observarse en las primeras 24 horas. La liberación de los aminoácidos a partir de las -- proteínas, llevada a cabo por acción enzimática, se verifica en los primeros días y la fermentación del alcohol procede invariablemente. La cantidad de ácido láctico aumenta rápidamente, disminuyendo el pH en los primeros 4 a 5 días. Los cambios suceden lentamente en pastos o mezclas de éstos con trébol. Los ácidos y bases volátiles aumentan más lentamente, pero si ya ha comenzado una fermentación láctica

la cosecha quedará preservada (Watson y Smith, 1979).

La disminución en la digestibilidad de la materia orgánica ocasionada por el ensilado en relación a la planta verde, aunque variable, es pequeña y muy inferior a la producida por henificación, aunque depende de la técnica de conservación empleada y el tipo de planta. Es casi nula con un conservados eficaz, salvo para los excesivamente abundantes en agua como el trébol violeta y es pequeña sin conservador pero con desecado previo. Es mayor en las leguminosas que en las gramíneas y tiende a aumentar a medida que la cosecha se efectúa en un estado vegetativo más avanzado. Existen especies con mayor aptitud para conservar si digestibilidad, tal como el maíz. Las pérdidas de digestibilidad son tanto menores como mayor es la cantidad de ácido láctico y aumentan con

el pH y los niveles de ácido butírico, propiónico y los niveles de nitrógeno amoniacal.

En lo que respecta a la ingestión por parte del animal, ésta disminuye en cerca del 30% lo cual es mayor en el proceso de henificación que presenta una disminución del 18%. Esta -- pérdida es independiente del empleo de un conservador, salvo para el trébol violeta y sólo el presecado a limitado el descenso de los -- índices de ingestión. Se observa también, una notable relación con el tipo de silo, siendo menor en silos perfectamente drenados y también con la clase de maquinaria utilizada, un 20% en forrajes picados finamente con cosechadoras de precisión o de doble picado y un 35% con cosechadoras de mayales. La disminución de la ingestión, es menor en ensilados con un alto contenido de ácido láctico y bajos niveles de ácido acético, propiónico y butírico; en -

maíz, se dan estas circunstancias en un 5%. La variación de la ingestión es independiente del pH, de los niveles de nitrógeno amoniacal y del ácido butírico, ya que la presencia de éste último no indica por sí misma un producto de mala calidad, pero reduce las cantidades ingeridas y es responsable del olor. En estudios realizados en Nueva Zelanda se concluyó que el presecado no aumenta la digestibilidad, pero sí aumenta la ingestión es un 21% (Demaequilly 1977).

El forraje joven, picado muy finamente y ensilado directamente sin presecado, presenta pocas diferencias debidas a la utilización de los conservadores (Muslera y Ratera, 1984; -- Raymond, 1977).

Los carotenos contenidos en el forraje se oxidan fácilmente a temperaturas altas, pero

cuando la temperatura es reprimida se conservan gran parte de ellos. La vitamina C o ácido ascórbico se descompone aún en el ensilado más perfecto.

Parte de los minerales en el ensilado pueden perderse por lavado, pero una gran parte permanecen inalterados o en nuevas combinaciones (Watson, 1979).

Finalmente, existe una estrecha relación entre la digestibilidad y la ingestión, lo que define preponderantemente la calidad nutritiva del ensilado.

#### 8. Pérdidas de materia seca.

Las pérdidas de materia seca pueden clasificarse cronológicamente de la manera siguiente:

- a) Rastrojo no cortado: por la altura del -- corte, por contaminación del suelo, etc.
- b) Durante la recolección: debidas a la respiración del forraje, pérdidas mecánicas y escurrecimiento de jugos; estas tienden a aumentar -- con el tiempo de permanencia del forraje en el terreno. Las pérdidas por respiración empiezan después del corte y en condiciones aeróbicas continua y la materia seca llega al 75%. En -- condiciones de buena luminosidad puede continuar la fotosíntesis, aumentando la materia -- seca y compensando las pérdidas por respiración, sin embargo, cuando se realiza la dese-- cación previa, las pérdidas pueden ser significativas.
- c) Durante el almacenamiento: por efluentes, oxidación y fermentación. Una tonelada de forraje con el 17% de materia seca puede produ-- cír un exceso de 270 lt de efluente, pero -- cuando el forraje tiene un 25% de materia seca



éstas pérdidas dejan de producirse. La cantidad de jugos evacuados del material ensilado depende de la turgencia de la cosecha ensilada y de la presión aplicada. Los jugos del ensilado normalmente contienen de 5 a 6% de materia seca que existe en la cosecha ensilada, según proporciones del efluente y del ensilaje. La materia seca del efluente contiene minerales, ácidos orgánicos y otros compuestos nitrogenados. Las pérdidas no son tan graves a menos que la cosecha sea demasiado succulenta o que el ensilado sea mojado por la lluvia. Son mucho menores que las pérdidas debidas a los cambios que ocurren en la cosecha.

d) Durante el proceso de ensilaje: producido por una desintegración de las proteínas, lo facilita su solubilidad en el rumen y descomposición en amoníaco. En el rumen se producen los dos procesos: proteólisis y proteogénesis, dependiendo del equilibrio energético. Al adi-

cionar urea al ensilado, el proceso de descomposición en amoniaco es producto de un nivel energético insuficiente, cuando la microflora obtiene su energía de los compuestos nitrogenados del forraje. El valor proteico de los ensilados es menor que el de los forrajes verdes y las pérdidas de nitrógeno a través de la orina de los animales son mayores.

e) Al utilizar el ensilado: Al exponerse al aire se producen enmohecimientos en la superficie y partes laterales con pérdidas de hasta el 8% de la materia seca. De continuar el proceso, el ganado rechaza el forraje debido al contenido de azúcares residuales (Duthil, 1976 ;Muslera y Ratera, 1984; Raymond, 1977).

Los cambios conducen a pérdidas en el valor nutritivo de la cosecha. Estas son inevitables pero se pueden minimizar si las condiciones son tales que restringen la respiración y fer-

mentación. Se presenta una pérdida de la materia seca porque algo del carbono de los compuestos de los carbohidratos es convertido a sustancias más simples de menor valor energético y las proteínas se convierten en material básico menos valioso.

Cuando se pone especial cuidado, las pérdidas denominadas inevitables son mucho mayores a las debidas a desperdicios y al drenaje, ya que éstas dos pueden llegar a ser del 3 al 4% cada una, mientras que las pérdidas totales en términos de materia seca son usualmente del orden del 15 al 30% (Watson y Smith, 1979).

Una vez que el forraje ha sido cortado, se presenta la degradación de carbohidratos y -- proteínas. Las proteínas se degradan rápidamente y en un espacio de 24 horas, alrededor pasan a ser sustancias más sencillas, sobre -

todo aminoácidos.

La degradación de las proteínas a aminoácidos no presenta una ventaja en lo que respecta al valor nutritivo, pero cuando el material - está mal conservado, los aminoácidos continúan degradándose para formar aminas, tales como -- triptaminas, feniletilaminas e histaminas, que son productos de descarboxilación del triptófano, fenilalanina e histidina respectivamente (Mc Donald, 1975).

#### 9. Las bacterias en el proceso de ensilaje.

Las bacterias desempeñan un papel importante en el proceso de ensilaje, producen enzimas que atacan compuestos orgánicos complejos; la energía necesaria se obtiene a través de dichas descomposiciones de los compuestos a sustancias más sencillas, quedando de este modo

la actividad de los microorganismos en función de la temperatura y la acidez del medio. Las bacterias que producen ácido láctico a partir de los carbohidratos son los lactobacilos, que se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza y también se presentan en los cultivos. Las especies presentes en los ensilajes se desarrollan entre los 20 y 45°C y a bajas concentraciones de oxígeno o en su ausencia. Todas las especies producen ácido láctico a partir de la glucosa, además de otros ácidos a partir de diversos azúcares.

La característica más importante de los lactobacilos es que pueden soportar una acidez mucho mayor que otros organismos, produciendo tal cantidad de ácido que otras bacterias no deseables no puedan desarrollarse.

Las bacterias productoras de ácido butírico

se desarrollan entre 30 y 40°C y no a mayor -- temperatura. Estas se encuentran en el suelo - en forma de esporas u otras estructuras de la - tencia; si aparecen en el ensilaje se debe a - contaminaciones por suelo y producirán, a par - tir de los carbohidratos, ácidos volátiles, - hidrógeno y anhídrido carbónico, atacando al ácido láctico y convirtiendolo en ácido butí - rico y gases. Descomponen las proteínas en -- amoniaco y compuestos amoniacaes que son de dudoso valor nutritivo y pueden ser dañinas, - además de neutralizar los ácidos y elevar el - pH, siendo responsables de malos olores(Watson y Smith, 1979).

La multiplicación de las bacterias tiene - lugar por división transversal (escisión), ca - da parte va creciendo después, hasta alcanzar el mismo tamaño que la bacteria original. Se multiplican a gran velocidad (50 mil/minuto).

A causa de la muerte prematura de muchas células por falta de nutrientes, por acumulación de productos metabólicos nocivos y por la competencia de otras especies, no se alcanza ésta cifra. La multiplicación de las bacterias se lleva a cabo según ciertas leyes, en determinados periodos consecutivos (fases de multiplicación) de formas características, especialmente en medios nutritivos líquidos.

Tras la inoculación de un medio de cultivo no contaminado, no se inicia inmediatamente la multiplicación celular de las bacterias inoculadas, sólo tras un periodo inicial de latencia en el que las nuevas células se adaptan al nuevo medio, comienza lentamente las reacciones metabólicas, elevando su velocidad con el transcurso del tiempo. Aumenta el tamaño de las células hasta alcanzar el requerido para la división y con ello aumenta lentamente el

número de células existentes al principio.

Con el inicio de las primeras divisiones celulares aumenta rápidamente la velocidad de crecimiento para alcanzar su máximo al final de ésta fase de activación.

Existe una fase exponencial, en la que se realiza la máxima velocidad de multiplicación dentro de los mismos tiempos, el número de células aumenta según el mismo factor. Se le denomina también fase logarítmica.

Por la velocidad máxima de multiplicación ocurrida en la fase anterior, sobreviene por último una fase de escasez de sustancias nutritivas, vitaminas y minerales, así como un aumento de productos finales del metabolismo que actúan parcialmente como inhibidores que, en muchos casos, alteran el pH. Estos hechos -



disminuyen la velocidad de multiplicación.

En la fase estacionaria, la velocidad de multiplicación está tan disminuída por los factores señalados, que el número de nuevas células es compensado por el número de células muertas, con lo que el número de individuos en esta fase permanece constante.

Por último, en la fase de declive, la influencia de los factores se hace tan fuerte, que el número de células muertas por unidad de tiempo se hace mayor que el de las nuevas células que aún se forman. Se llega así a una disminución del número de individuos (Demeter, 1971).

El desarrollo de la microflora láctica alcanza su punto de equilibrio después de 15 días del comienzo del ensilaje, para posteriormente

disminuir el número de microorganismos presentes (borgialis, 1962).

De acuerdo a varios análisis bacteriológicos efectuados en Alemania, el número total de bacterias por gramo de forraje en miles de - unidades es el siguiente:

FORRAJE	A	B	C	PROMEDIO
Pradera	450000	428000	280000	453000
Cultivo	256400	294000	434800	322800
Promedio General				388000

(Nuñez, 1970).

Generalmente, los microorganismos presentes pertenecen al grupo productores de ácido láctico (bacterias lácticas) alargadas, cortas y

coccus productores de ácido láctico, con la presencia de Bacillus subtilis y B. fluorescens (Nuñez, 1970).

Sin embargo, según Demeter (1971), el forraje tiene un contenido de gérmenes de 2 a 200 millones por gramo, el heno y la paja tienen de 7 a 10 millones por gramo y la leche agria alrededor de 10,000 millones por gramo.

El ácido láctico puro se utiliza como sustancia auxiliar en la industria textil, curtidurías y en la industria de materiales sintéticos. En la industria de la alimentación, se emplea en cantidades considerables sustituyendo a los ácidos de frutas. Se produce exclusivamente por procedimientos bacteriológicos a partir de materias primas que contienen almidón y azúcares tales como almidón vegetal maltado, suero de leche, melaza de remolacha o

caña de azúcar y residuos sulfíticos de fábricas de celulosa y papel.

Las condiciones necesarias para el crecimiento y multiplicación de las bacterias lácticas es la presencia de grandes cantidades de azúcares fermentables, además de diversas vitaminas y proteínas o de subproductos de desintegración, ya que la mayoría de las especies no pueden sintetizar por sí mismas algunas vitaminas y aminoácidos importantes para su buen desarrollo (Demeter, 1971).

Las especies de bacterias productoras de ácido láctico pertenecen a la familia de las Lactobacteriaceae, subfamilias Streptococcaceae y Lactobacillaceae, las cuales son bacterias gram positivas, inmóviles, asporuladas, microaerófilas y anaerobias. Fermentan distintos azúcares produciendo ácido láctico; no poseen -

catalasas y responden rápida e intensamente a las pruebas de reducción del azul de metileno y a la resazurrina. Los géneros de mayor importancia lactológica son: Streptococcus, -- Leuconostoc y Lactobacillus. Una diferencia importante entre estas especies es la distinta fermentación de azúcares; mientras unas, las denominadas especies homofermentativas, producen más del 90% de ácido láctico a partir del azúcar fermentado y un pequeño porcentaje de  $\text{CO}_2$ , ácido acético y alcohol; las otras, denominadas especies heterofermentativas, fermentan los azúcares produciendo menos del 90% de ácido láctico; además forman ácido acético, alcohol y  $\text{CO}_2$  en mayores cantidades. Las especies del género Streptococcus son todas homofermentativas, las del género Leuconostoc todas son heterofermentativas y de las especies del género Lactobacillus, existen homofermentativas y -

heterofermentativas (Dutil, 1976).

A continuación se presentan las especies - más importantes que actúan en la fermentación de los vegetales:

Género Streptococcus

Grupo Lactis

Streptococcus lactis. Existe originalmente en materiales vegetales.

Género Leuconostoc

Leuconostoc citrovorum y l. dextranicum. Ambos están localizados generalmente en porciones de plantas verdes en fermentación.

Género Lactobacillus. Tienen mayor poder acidificante y capacidad proteolítica más intensa que los Streptococcus. Producen mayor cantidad de ácido láctico y sobreviven a un pH menor.

Grupo Thermobacterium. Crecen entre 40 y un - mínimo sobre 15°C, son homofermentativas. Se -

utilizan en grandes cantidades para la fabricación de ácido láctico de uso industrial, -- también para hacer fermentar la malta.

Grupo Streptobacterium. Forman generalmente cadenas más largas; tienen temperaturas óptimas de crecimiento entre 30 y un mínimo alrededor de 15°C. Son homofermentativas.

Lactobacillus plantarum. Existe en materiales vegetales en fermentación y forma un papel importante en el proceso de ensilaje.

Grupo Betabacterium. Todas son heterofermentativas.

Lactobacillus brevis. Se encuentra en materiales vegetales y se utiliza para el ensilaje.

Lactobacillus fermenti. Se encuentra en el intestino del hombre y animales, coopera en la formación de ensilados vegetales (Demeter, 1971).

En los forrajes tratados con soluciones ácidas minerales, prevalece la especie L. pentoacético, que tolera bien el pH inferior a 4.0 (Arias, 1976).

#### 10. Aditivos.

Los aditivos mejoran la calidad del ensilado y pueden agruparse en tres categorías según su modo de acción: acidificantes, bacteriostáticos y estimulantes de la fermentación láctica (adición de glúcidos).

Un mínimo de acidez desde el principio del proceso, puede ser suficiente para bloquear las fermentaciones peligrosas y estabilizar el ensilado. La adición de ácidos es el método más lógico de acidificación. Los primeros ácidos usados fueron los inorgánicos.



El finlandés Virtanen (1945) desarrolló el método de mejora que lleva su nombre, basado en el control del pH mediante la adición de una mezcla de ácido sulfúrico y clorhídrico. En la década de los setentas se introdujo el ácido fórmico y posteriormente otros ácidos orgánicos como el ácido acético y el ácido propiónico. El ácido fórmico inhibe específicamente la acción de bacterias del género Clostridium, y en concentraciones altas inhibe parcialmente las fermentaciones lácticas; debido a su rápida acidificación, tiene gran valor para forrajes con problema de ensilado, incluso mejora el valor alimenticio, aumentando la ingestión de materia seca (Muslera y Ratera, 1984; Raymond, 1977).

Los aditivos bacteriostáticos inhiben las fermentaciones butíricas y otras poco deseables, sin disminuir la fermentación láctica.

El formol o formaldeído es un esterilizante bacteriostático que no disminuye excesivamente el pH, pero reduce la solubilidad de las proteínas, combinandose con ellas. Es frecuente asociarlo con otros ácidos. Otros productos son el  $SO_2$ , antibióticos y sales de sodio, como el metabisulfíto de sodio, sin embargo, no se han obtenido resultados satisfactorios en la utilización de estas sustancias (Hughes et. al., 1977).

Los productos ricos en hidratos de carbono estimulan la fermentación láctica; pueden ser ricos en azúcares o en almidón. Los primeros suministran sacarosa directamente utilizable y los segundos se aplican en combinación con enzimas (dextrinas) que transforman el almidón en maltosa (almidón-dextrosa-malta) directamente aprovechable (Elías, 1976).

La inoculación del forraje con cultivos de lactobacilos se ha intentado como medio de estimular la fermentación láctica. Siempre que los organismos encuentren un medio adecuado - para su crecimiento o que se añada algún carbohidrato fermentable al mismo tiempo, el método será satisfactorio. De otra manera, no se gana mucho, ya que el forraje verde puede llevar consigo una gran variedad de microorganismos capaces de producir ácido láctico (Watson y Smith, 1979).

Los conservadores, especialmente los más caros, deben aplicarse estudiando previamente las necesidades de cada forraje para mejorar su eficiencia, así como aplicarse en dosis -- adecuadas y en forma uniforme utilizando, si es posible, aplicadores especiales.

El aditivo mejora la utilización del forraje mediante una mejor conservación, debido a

una mejor retención del nitrógeno (Muslera y Ratera, 1984).

Debido al alto contenido de nitrógeno no proteico (NNP) en el estiercol, este se considera como un alimento propio para rumiantes. Por otro lado, uno de los intereses principales que ha motivado la práctica de la fermentación del estiercol es aumentar la cantidad de proteínas en el estiercol a expensas del nitrógeno no proteico.

En el caso del proceso del ensilaje, Hardy y Elías (1974) realizaron un trabajo que consistió en ensilar una proporción de estiercol 35%, 50% de melaza y 14% de heno de sorgo molido y 1% de urea. Estos autores determinaron que el nitrógeno insoluble o proteína, expresada como porcentaje del nitrógeno total, aumentó casi diez veces durante los primeros -

ocho días, mientras que el nitrógeno soluble (NNP) fue reducido casi a la mitad de su valor original, alterandose muy poco estos valores a los 35 días del ensilaje.

Goering y Smith (1977) al ensilar estiércol con plantas de maíz entera, encontraron que el pH disminuyó a 3.83; la producción de ácido láctico representó el 7.62% de la materia seca y los ácidos grasos volátiles producidos el 3.24% de la materia seca; el ácido acético fue el predominante, existiendo una relación -- acético-propiónico-butírico de 81:15:4. También Hardy y Elías (1976) analizaron el efecto de diferentes proporciones de excreta-melaza sobre el pH y la formación de ácidos orgánicos. Ellos confirmaron que el proceso de ensilaje, produce ácido láctico y acético principalmente; pero cuando se aumenta la proporción de estiércol en la mezcla (70:30 estiércol-melaza), se incrementa la cantidad de ácido lác-

laza), se incrementa la cantidad de ácido láctico y ácidos grasos volátiles totales, disminuyendo la cantidad de ácido acético y aumentando la cantidad de ácido propiónico. La relación de ácidos acético-propiónico-butírico fue de 80:11:8 y 65:19:15 para mezclas de estiercol-melaza 30:70 y 70:30, respectivamente. Cobos, 1987).

#### 11. Evaluación de la calidad del ensilado.

Las condiciones en que se desarrolla el -- proceso de ensilado determinan el producto con características homogéneas que permiten definir la calidad del ensilado. Por el color, -- olor, humedad, etc. se puede realizar una estimación de calidad, pero se determina con más exactitud mediante el análisis químico. El pH y los productos formados durante el proceso -- permiten juzgar la calidad de la conservación.

Esto depende, según Demarquilly (1977), de las siguientes características:

- a) Composición de la planta: contenido de humedad, glúcidos fermentables y poder tampón.
- b) Formas de preparación del ensilado: picado, rapidez de llenado del silo, intensidad de - apisonado, hermetismo, etc.
- c) Tipo de ensilado: directo, prehenificado, - con adición de conservadores, etc. (Duthil, - 1976; Muslera y Ratera, 1984).

Los parámetros más importantes que definen la calidad de un ensilado son la digestibilidad y la ingestión voluntaria o palatabilidad. Los parámetros químicos que definen estas son: pH, contenido de ácidos butírico, acético, - fracción amoniaca y nitrógeno soluble (NMP). Otras determinaciones hacen referencia a la

digestibilidad, proteína, fibra cruda y cenizas. La comparación química del cultivo original y la del cultivo ensilado no auxilia mucho porque la totalidad de constituyentes de la cosecha experimenta algunos cambios responsables de ciertas pérdidas de cada uno de ellos. Las pérdidas calculadas de esta forma, se apartan muy poco de las pérdidas determinadas directamente a partir de las medidas de volumen de material colocado en el silo y de las cantidades que se extraen de él. Para obtener medidas directas se requiere de tiempo y trabajo, porque las cantidades sustanciales deben ser ensiladas para asegurar condiciones comprobables a las que se obtienen en campo. Además los resultados no son universalmente aplicables porque cada silo cargado tiene su propia variedad de factores, los cuales dan una idea aproximada de las pérdidas mínimas que son de esperarse cuando un ensilado está -



bien hecho (Crampton y Hans, 1969; Harris, 1983; Watson y Smith, 1979).

Una referencia para conocer el grado de - acidificación del ensilado constituye el pH. En el momento de entrar al silo, los forrajes tienen un pH de 6.5 a 7.0 lo que significa que no contienen ácidos libres y que son químicamente neutros. Al terminar el proceso fermentativo, el valor del pH es de 3.5 a 4.5 variando poco en las distintas especies forrajeras. Unicamente la materia seca del forraje, influye en forma notable sobre el descenso del pH, cuanto más desecado está el forraje, con menor intensidad disminuye el pH, pues los ácidos formados en el curso de la fermentación son tamponados (neutralizados) por la materia seca. El valor del pH puede verse afectado por la utilización de sales en el ensilado o por las fermentaciones secundarias (Morfin, 1977).

Un ensilado de buena calidad contiene en términos generales más del 20% de ácido láctico. Esto es muy deseable, puesto que el ácido láctico origina una buena y aromática fermentación, sin causar pérdidas en el valor nutritivo. Valores inferiores al 2% indican, con frecuencia, la existencia de fermentaciones anormales con un empeoramiento de la calidad; valores por debajo del 0.3% son indicio de la baja calidad del ensilado. El contenido de ácido acético indica que existe ya un desdoblamiento parcial de las sustancias nutritivas y, por su penetrante olor y sabor, no debe encontrarse en cantidad mayor de 0.3 a 0.6%, si la tasa es mayor, los animales no aceptan totalmente el forraje o llegan incluso a rechazarlo del todo, lo que sucede en especial con los ensilados de maíz, ricos en ácido acético.

Un buen ensilado está exento de ácido bu-

tírico; la presencia de éste indica una descomposición de las sustancias alimenticias fácilmente digeribles y en particular de las proteínas. La presencia de éste ácido no indica por sí misma un producto de mala calidad, pero reduce las cantidades ingeridas al ser responsable del mal olor. Niveles de ácido butírico superiores al 0.5% son ya indicio de una baja calidad del ensilado. Si la tasa excede del 1% el ensilado suele estar alterado y posiblemente inservible (Duthil, 1976; Gross, 1969).

En la categorización del ensilado, según Fieg (1952), el índice expresa la relación de los ácidos láctico, propiónico y butírico entre sí, según lo expuesto en el Cuadro 1, en donde se muestra el contenido de ácido láctico creciente y la parte del ácido acético decreciente se conceptúan con puntos positivos, -

mientras que la fracción creciente de ácido - butírico llega a alcanzar valores negativos.

Otro índice químico de la calidad de los - ensilados es su contenido de amoníaco. El curso de la fermentación es tanto mejor cuanto - menos son atacadas las proteínas por los gérmenes perturbadores del proceso y menor cantidad de compuestos amoniacaes genera. Con este desdoblamiento, las proteínas pierden gran -- parte de su valor, a la vez que se reduce el - contenido de forraje en equivalente de almidón

Cuando las fermentaciones anormales son muy acentuadas pueden incluso producirse sustan-- cias capaces de originar trastornos digestivos.

Cuadro 1. Clave para la valorización del ensilado según Flieg (1952).

% de la cifra total de ácidos	Valorización para cada ácido presente		
	a.Lac.	a.acet.	a.but.
0 - 0.1	0	25	50
0.1 - 1	0	25	45
1 - 2	0	25	40
2 - 5	0	25	35
5 - 10	0	25	30
10 - 20	0	25	20
20 - 30	5	20	10
30 - 40	10	15	5
40 - 50	15	10	0
50 - 60	20	5	-5
60 - 70	23	0	-10
70 ó más	25	0	-10

Puntuación total	Calificación
0 - 20	Malo
20 - 40	Regular
40 - 60	Aceptable
60 - 80	Bueno
80 - 100	Muy bueno

Cuadro 2. Contenido de amoníaco en los ensilados de diferente calidad (Watson y Smith, 1979).

---

Calificación	Nitrógeno amoniacal ( $\text{NH}_3$ ) del nitrógeno total (%)
Muy bueno .....	0 - 10
Bueno .....	10 - 15
Aceptable .....	15 - 20
Regular .....	20 - 30
Malo .....	más de 30

---

En el Cuadro 2 se indica como, el contenido de compuestos amoniacales puede ser extraordinariamente alto en los ensilados de mala calidad. En algunos países se considera decisivo el contenido de amoníaco para categorizar los ensilados.

No basta con expresar las pérdidas en términos de materia seca, es necesario determinar la digestibilidad de los constituyentes y la pérdida real del valor. Y puesto que una proporción de la proteína verdadera original ha sido "predigerida", la naturaleza de los diferentes compuestos nitrogenados debe tomarse muy en cuenta. Por estas razones, las pérdidas de materia seca se complementan comunmente con los valores representativos del "equivalente del almidón" y de la "proteína cruda" y "proteína digestible"(Watson y Smith, 1979).

En el Cuadro 3 se presenta una clasificación de los ensilados a través de un método sensitivo.

Cuadro 3. Categorización del ensilado por la prueba de los sentidos (Gross, 1969)

1.- Olor	2.- Consistencia	3.- Color
a) ácido, aromático a fruta y pan. 14 puntos.	a) hojas y tallos conservados. 4 puntos.	a) igual al producto original 2 pts.
b) olor butírico débil, o muy ácido, poco aroma, a tostado en ensilados desecado 8 puntos.	b) Hojas alteradas 4 puntos.	b) ligeramente amarillo a castaño 1 punto.
c) regular a ac. butírico, o a tostado, o a moho 4 puntos	c) hojas y tallos viscosos, moho, escurrimiento 1 punto	c) muy alterado amarillo pálido 0 punto
d) olor butírico intenso, o amoniacal 2 puntos	d) hojas y tallos podridos o muy enmohecidos 0 pt.	
e) olor fétido y pútrido 0 puntos.		

Categoría	Puntuación
1.- Muy buena.....	20 a 19
2.- Buena .....	18 a 14
3.- Aceptable.....	13 a 10
4.- Regular a mala .....	9 a 5
5.- Alterada .....	4 a 0



## MATERIALES Y METODOS.

### 1. Localización.

Esta investigación se llevó a cabo en la - Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, - que se encuentra ubicada en Cuautitlán Izcalli, Estado de México, con coordenadas  $19^{\circ}35'$  de - latitud norte y  $99^{\circ}15'$  de longitud oeste, con altitud de 2,240 msnm. (Amezcuca y Meza, 1986).

### 2. Descripción de la zona.

El clima que presenta esta zona, según la clasificación de Köppen modificada por García (1980), es C(Wo) (W)b(i), templado subhúmedo, con temperatura media anual de 15 a  $17^{\circ}\text{C}$  y con una precipitación pluvial de 600 a 700 mm - anuales.

El suelo según la clasificación FAO/UNESCO (1970), es un Vertisol pélico con las características siguientes: color negro, baja susceptibilidad a la erosión, alta fertilidad, con un 30% o más de arcilla a más de 20 cm de profundidad en todos los horizontes o por lo menos en los 50 cm de la superficie y presenta grietas de 1 cm de ancho como mínimo a profundidad de 50 cm cuando se encuentra seco.

### 3. Metodología.

Primeramente, se realizó un muestreo de plantas en la parcela 10-13-17, la cual se encontraba sembrada con maíz forrajero, destinado para ensilar. Dicho muestreo consistió en la recolección de las hojas inferiores opuestas a las mazorcas de plantas tomadas aleatoriamente, caminando en bandas a lo largo de la parcela, tratando de recorrerla totalmente. -

Estos organos fueron colocados en bolsas de papel perforadas y llevadas a una estufa de aire forzado, colocandolas a 60°C durante 72 horas, con el fin de someterlas posteriormente a un análisis nutrimental.

La cosecha del forraje se realizó un día después del muestreo, utilizando para esto cosechadoras de maíz forrajero que descargaban forraje en camiones y así transportarlo a los silos. El forraje se encontraba con 75% de humedad según los análisis bromatológicos realizados posteriormente.

El llenado de los silos se realizó el mismo día de la cosecha, por lo que no hubo presecado del forraje, utilizandose para esto los silos 4 y 5 del Centro de Producción Agropecuario, que tienen una capacidad de 50 ton de forraje aproximadamente y cuyas especificaciones

se muestran en el Cuadro 7A. El llenado se -  
realizó en capas de tres toneladas aproximada-  
mente, llenando cada silo al 60% de su capaci-  
dad (aproximadamente 30 ton). Entre capa y ca-  
pa, el forraje se iba apisonando y compactando  
con un tractor, de manera que se expulsara el  
exceso de aire entre el forraje, ya que este -  
pudiese provocar un sobrecalentamiento de la -  
masa ensilaa durante el proceso.

Ambos silos fueron cubiertos con costales  
y estos a su vez con una capa de forraje de -  
5 cm aproximadamente.

La aplicación del producto inoculante se -  
realizó en el silo 5, dejando el silo 4 como -  
testigo. Esta se llevó a cabo al momento del -  
llenado del silo, asperjando el producto en -  
capas mediante aspersoras. Los calculos de la  
aplicación, así como sus especificaciones se

describen en el Cuadro 8A.

Al momento de realizar el llenado de los silos, se realizó un muestreo del forraje picado, con la finalidad de establecer las condiciones nutrimentales en las que se encontraba. Se tomó una muestra de cada capa, conforme se iban llenando los silos, tanto del silo 5 como del silo 4, para posteriormente aleatorizar las muestras y formar una muestra compuesta. Estas fueron colocadas en bolsas de plástico y llevadas inmediatamente al laboratorio; cada muestra simple constaba de un kg de forraje y al momento de tomar la muestra compuesta, esta fue de 2 kg. La muestra fue dispersada en una charola de cartón y colocada en una estufa a temperatura de 60°C durante 72 horas para posteriormente realizar un análisis bromatológico.

Posteriormente, se realizaron muestreos, - tanto al ensilado testigo como al tratado. Las muestras fueron tomadas a tres diferentes lapsos de tiempo: 8, 30 y 180 días. De ambos si-- los, se tomaron muestras a tres diferentes -- profundidades: de la parte inferior, media y superior, tomando datos de temperatura y pH, además de realizar un análisis del ensilado - por la prueba de los sentidos de Gross (1959) detallada en la revisión de literatura (10). - Las muestras fueron colectadas y puestas en - bolsas de polietileno, para llevarlas al labo- ratorio y posteriormente, secarlas en estufa a 60°C durante 72 horas, con la finalidad de - practicarles un análisis bromatológico después de ser aleatorizadas.

El análisis nutrimental de las hojas del forraje antes de ser cosechadas, fue efectuado en el Laboratorio de Fertilidad de Suelos del

Colegio de Postgraduados con sede en -  
Montecillos, Estado de México, con el objeto  
de determinar las siguientes fracciones:

- a) Nitrógeno total: Se determinó mediante una versión semi-micro del método Kjeldhal - (Bremmer, 1965).
- b) Potasio, Calcio, Magnesio y Fósforo: Se midieron en un digestor hecho con ácido perclórico y nítrico (Allan, 1971), el Potasio se determinó mediante flamometría; el Calcio, Magnesio, Hierro, Cobre, Zinc y Manganeso se determinaron por absorción atómica y el Fósforo se midió por colorimetría, empleando el método del vanadomolibdato -- (Jackson, 1976).

Los resultados del análisis se interpretaron de acuerdo al criterio DRIS que se muestran en el Cuadro 4, y a los Valores Críticos para

Maíz que se muestran en el Cuadro 5.

Cuadro 4. Valores y coeficientes de variación (C.V.) para niveles de concentración de nutrientes utilizados para el - criterio DRIS (Sumner, 1977).

Relación	Valor	C.V.(%)	Relación	Valor	C.V.(%)
N/P	9.98	13.7	K/Fe	0.016	14.5
N/K	1.60	15.7	K/Cu	0.119	29.3
N/Ca	7.06	19.2	K/Zn	0.040	25.2
N/Mg	13.5	21.9	Ca/Mg	1.96	25.2
N/S	15.2	8.1	Ca/S	2.21	17.1
N/Fe	0.026	14.1	Ca/Fe	0.003	15.6
N/Cu	0.187	13.4	Ca/Cu	0.027	18.3
N/Zn	0.063	29.5	Ca/Zn	0.009	32.6
P/K	0.163	19.5	Mg/S	1.18	22.5
P/Ca	0.724	26.6	Mg/Fe	0.002	20.7
P/Mg	1.37	22.8	Mg/Cu	0.014	20.4
P/S	1.55	18.5	Mg/Zn	0.004	32.6
P/Fe	0.002	20.1	S/Fe	0.001	14.0
P/Cu	0.191	17.8	S/Cu	0.012	13.5
P/Zn	0.006	32.2	S/Zn	0.004	29.5
K/Ca	4.47	18.8	Fe/Cu	7.29	16.7
K/Mg	8.57	24.0	Fe/Zn	2.49	31.0
K/S	9.67	15.0	Cu/Zn	0.348	34.6

NOTA: N, P, K, Ca, Mg y S en %; Fe, Cu y Zn en ppm.



Cuadro 5. Valores críticos para maíz, útiles para interpretar los resultados del análisis de planta, según Melsted et. al., (1969).

Nutriente	Valor %	Nutriente	Valor ppm
N	3.0	Mn	15
P	0.25	Fe	25
K	1.90	B	10
Ca	0.40	Cu	5
		Zn	15
		Mo	0.2

Para comparar la calidad nutricional de los ensilados, se realizaron análisis bromatológicos, mediante la técnica de Weende, descrita por Morfín (1982) en la que se determinaron - las siguientes fracciones: materia seca, humedad, proteína cruda, extracto etereo, cenizas fibra cruda, extracto libre de nitrógeno y el

total de nutrientes digeribles. Estos análisis fueron efectuados a tres diferentes lapsos de tiempo: 8, 30 y 180 días, en el Laboratorio de Bromatología de la F.E.S. Cuautitlán.

Los resultados obtenidos de los análisis bromatológicos practicados a los ensilados, fueron sometidos a un análisis estadístico de la siguiente manera:

- a) Se comparó el ensilado tratado contra el testigo a diferentes periodos de tiempo.
- b) Se analizaron los cambios sufridos en ambos ensilados con respecto al tiempo transcurrido.

- 1.- Ensilado testigo a 8 días,
- 2.- Ensilado tratado a 8 días,
- 3.- Ensilado testigo a 30 días,
- 4.- Ensilado tratado a 30 días,

- 5.- Ensilado testigo a 180 días,
- 6.- Ensilado tratado a 180 días.

Para lo propuesto en el inciso a), los ensilados sometidos al análisis fueron: 1 contra 2, 3 contra 4 y 5 contra 6, mediante el modelo estadístico completamente al azar.

Para lo propuesto en el inciso b), se compararon los ensilados mediante el diseño estadístico de parcelas divididas, siendo las parcelas chicas los tratamientos y las parcelas grandes el tiempo.

## RESULTADOS Y DISCUSION.

### 1.- Análisis nutrimental.

Los resultados del análisis nutrimental, - practicado a las plantas utilizadas como forraje, antes de la cosecha, se muestran en el Cuadro 6, mientras que la interpretación de los resultados a travez de la metodología DRIS se muestra en el Cuadro 7.

Cuadro 6. Resultados del análisis nutrimental practicado a hojas y organos vegetales de las plantas utilizadas como forraje.

Muestra	<u>N</u>	<u>P</u>	<u>K</u>	<u>Ca</u>	<u>Mg</u>	<u>Fe</u>	<u>Cu</u>	<u>Zn</u>	<u>Mn</u>
			%				(ppm)		
1) PLantal. entera	1.4	.33	1.5	0.4	0.25	200	4	35	36
2) Hoja	1.9	.31	1.3	.65	.27	110	6	31	31

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

Cuadro 7. Interpretación de los resultados del análisis nutrimental practicado a - hojas y plantas utilizadas como forraje a travez de la metodología - DRIS.

---

Muestra      Orden de disponibilidad de los nutrientes.

---

1) PLanta entera	Cu	N	P	Ca	Mn	Mg	Zn	K	Fe
	-27	-17	-10	-9	-5	-2	1	3	60
2) Hoja	N	P	Ca	Cu	Zn	K	Mn	Fe	
	-11	-6	-5	1	3	4	5	10	

---

De acuerdo al criterio DRIS, los nutrientes que se encuentran deficientes son el N en hoja y planta entera, el Cu en planta entera y en menor medida el P en planta entera; los que se encuentran en equilibrio son Ca, Mg, Mn, Zn y K, así como el Cu sólo en hoja. El Fe es el único nutriente que se encuentra en exceso.

Comparando los resultados del análisis nutricional con los valores críticos de Melsted (1969), que aparecen en el Cuadro 5, los nutrientes que se encuentran deficientes son el N y K tanto en hoja como en planta entera y el Cu en hoja; los que se encuentran en exceso son el P, Fe, Zn y Mn; los que se encuentran en equilibrio son el Ca y Mg.

Los nutrientes que se encuentran en deficiencia tanto en los valores críticos como mediante el criterio DRIS fueron el N y el Cu y el único nutriente que se encontró en exceso fue el Fe. Según Cheshire, DeKock e Inkson -- (1967), el exceso de Fe reduce las captaciones de Cu y a su vez, interfiere en la disponibilidad del P. Sin embargo, los niveles de Fe se encuentran en proporciones de toxicidad para la planta, lo que hace pensar que existe un error en la determinación de este elemento, o

a contaminación por el equipo utilizado en la cosecha, o al momento de moler las muestras en el laboratorio.

El papel del Cu en el metabolismo de las plantas es muy importante al encontrarse presente en la síntesis de las proteínas y en el citocromo oxidasa (Mulder, 1939).

## 2.- Condiciones nutrimentales del forraje original.

Las condiciones nutrimentales del forraje fueron determinadas mediante análisis bromatológicos y los resultados se muestran en el Cuadro 8. Sin embargo, la comparación de dichos resultados con los obtenidos de los análisis bromatológicos de los ensilados, según Muslera y Ratera (1984) no son un parámetro confiable para determinar las pérdidas sufri-

das al forraje en el proceso de ensilaje.

Cuadro 8. Resultados del análisis bromatológico del forraje original.

Fracción	B.H.	B.S.	Natural
Materia seca	96.9	100	24.5
Humedad	3.1	0	75.5
Proteína cruda	7.3	7.54	1.85
Cenizas	7.52	7.76	1.90
Extracto etereo	3.72	3.84	0.94
Fibra cruda	52.9	54.59	13.37
E.L.N.	25.46	26.27	6.44
T.N.D.			23.77

Estos resultados, aunque no sirven para hacer una comparación con respecto a las condiciones nutrimentales de los ensilados, dan una idea de las condiciones en las que se encontraba el forraje al momento de ser ensilado. -



Es posible observar que el grado de humedad del forraje fue óptimo para el ensilado y el porcentaje de las demás determinaciones es considerado como normal.

### 3. pH y temperatura de los ensilados.

Los resultados del pH y temperatura fueron obtenidos al momento de muestrear los diferentes ensilados y se muestran en el Cuadro 9 y Cuadro 10.

La temperatura no varía mucho de un ensilado a otro y en los mismos lapsos de tiempo, lo que nos indica que las condiciones de compactación en las que se realizaron ambos ensilados, fueron similares. Las muestras que corresponden a la sección superior de los silos, mostraron temperaturas mayores, debido probablemente a la entrada de aire que es mayor que

en las partes inferiores de los silos y esta, a su vez, a la menor compactación del forraje al momento de llenar los silos, lo que provoca una mayor oxidación del forraje.

Cuadro 9. Resultados de temperatura de los -- ensilados al momento de realizar -- las muestras de 8, 30 y 180 días.

Epoca de muestreo y fracción muestreada	testigo	tratado
	°C	
8 días:		
parte alta	45	45
parte media	38	40
parte baja	37	36
30 días:		
parte alta	36	38
parte media	34	36
parte baja	31	31
180 días:		
parte alta	32	32
parte media	32	32
parte baja	32	32

Cuadro 10. Resultados de pH de los ensilados al momento de realizar el muestreo a 8, 30 y 180 días.

Número de días	testigo	tratado
8	4.6	4.1
30	4.4	4.2.
180	4.3	4.3

En los resultados de pH se puede apreciar - que ambos ensilados son de buena calidad. Con respecto a los tres lapsos de tiempo, se aprecia que el ensilado tratado baja su pH más rápidamente que el ensilado testigo, y luego, - tiende a elevarse ligeramente hasta equipararse con el mismo valor de pH que el ensilado - testigo. Esto nos indica que la actividad microbiana es mayor en los primeros ocho días en el ensilado tratado, mientras que en un ensilado normal el punto de mayor actividad microbiana se presenta a los 15 días (Borgialis 1962).

Esto es de esperarse, si tomamos en cuenta que para el ensilado tratado se adicionó la cantidad de  $1 \times 10^9$  bacterias por gramo de producto aplicado, es decir, 2.5 billones de bacterias por 50 toneladas de forraje (2.5 kg de producto inoculador), mientras que el cultivo originalmente presenta un promedio de 400,000 bacterias/g, esto es, 2 billones en 50 ton de forraje, según Nuñez (1970). Al adicionar el doble de bacterias lácticas que contiene el forraje, en el proceso de ensilaje, se reduce el tiempo de la fase de activación y se incrementa la velocidad de multiplicación, llegando más rápido a la fase estacionaria de las bacterias.

4.- Prueba de los sentidos y otras obaservaciones.

A los ocho días de iniciado el proceso de ensilaje, el ensilado tratado presentaba buenas características: consistencia no alterada de hojas y tallos, color castaño a verde y olor a fruta. El ensilado testigo presentaba las mismas características de consistencia y color que el ensilado tratado, pero el olor era diferente, parecido al pan caliente y no tan aromático ni tan ácido.

A los 30 días, ambos ensilados presentaban las mismas características de consistencia, color y olor de un buen ensilado..

A los 180 días, el ensilado tratado conservaba sus mismas características, mientras que el ensilado testigo tenía un olor más penetrante, picoso, parecido al alcohol.

El ensilado tratado a los ocho días ya se -

encontraba perfectamente bien conservado, listo para consumirlo, es decir, el proceso de ensilaje ya había terminado, además que su conservación a los 180 días fue mejor que el ensilado testigo. Por lo que a partir de esta prueba se puede señalar que el ensilado tratado fue mejor que el ensilado testigo en cuanto a sus características cualitativas. Su valorización se muestra en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Valorización de los ensilados.

Característica	Días	puntos	
		testigo	tratado
olor	8	8	14
consistencia	8	4	4
color	8	<u>1</u>	<u>1</u>
	total	13	19
olor	30	14	14
consistencia	30	4	4
color	30	<u>1</u>	<u>1</u>
	total	19	19
olor	180	10	14
consistencia	180	4	4
color	180	<u>1</u>	<u>1</u>
	total	13	19

Como se puede apreciar en el Cuadro 11, el ensilado tratado presentó las características de un muy buen ensilado a los tres períodos de tiempo, mientras que el ensilado testigo sólo presentó estas características a los 30 días. Por otra parte, al momento de realizar los - muestreos, se observó que el ensilado testigo presentaba una capa de moho de aproximadamente 10 cm en la superficie, mientras que el tratado presentaba solamente una capa de 2.5 cm. Su cubicación se presenta en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Cálculo de las pérdidas de los ensilados debido a enmohecimiento.

	Ensilado testigo	Ensilado tratado
Ancho	5.20 m	5.20 m
Largo	4.80 m	4.80 m
Espesor	0.10 m	0.025 m
Total	2.496 m <sup>3</sup>	0.624 m <sup>3</sup>
Porcentaje	3.13%	0.78%

Las pérdidas del testigo son 4 veces mayores que las del ensilado tratado.

que las del ensilado tratado y representan en unidad de peso, 939 kg para el ensilado testigo y 234 kg para el ensilado tratado.

Aunque la cantidad de jugos evacuados del material ensilado depende de la turgencia de la materia ensilada y de la presión aplicada, de acuerdo al análisis bromatológico practicado al forraje original, éste se encontraba con una humedad óptima para el proceso. Además, las mediciones de temperatura tomadas en los muestreos, que se observan en el Cuadro 9, indican que las condiciones en las que se ensilaron ambos productos (ensilado testigo y tratado) fueron similares. Sin embargo, el ensilado testigo presentó escurrimientos, indicio de que el proceso de fermentación se realizó más lentamente. Por otra parte, según Raymond et. al. (1977), las pérdidas por escurrimientos a pesar de que equivalen al 0.5% a 4% de la -



materia seca del ensilado, no son graves a menos que la cosecha sea muy succulenta. Sin embargo, ya existe otra diferencia entre los ensilados y su calidad.

### 5. Análisis bromatológicos de los ensilados.

Los resultados de los análisis bromatológicos practicados a los ensilados se muestran en el Apéndice (Cuadros 1A-6A). Estos fueron sometidos a un análisis estadístico que se muestra en los Cuadros 13 y 14.

Cuadro 13. Resultados del análisis estadístico de los ensilados utilizando el modelo estadístico completamente al azar.

Fracción	significancia estadística		
	8 días	30 días	180 días
Materia seca	*	**	N.S.
Proteína cruda	N.S.	N.S.	N.S.
Extracto etereo	N.S.	N.S.	**
Cenizas	N.S.	N.S.	*
Fibra cruda	N.S.	*	N.S.
E.L.N.	N.S.	N.S.	N.S.
T.N.D.	**	**	*

Cuadro 14. Resultados del análisis estadístico de los ensilados utilizando el modelo estadístico de parcelas divididas.

Fracción	Significancia estadística			
	D1	D2	D3	D4
Materia seca	*	*	N.S.	N.S.
Proteína cruda	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
Extracto etereo	**	*	N.S.	N.S.
Cenizas	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
Fibra cruda	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
E.L.N.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
T.N.D.	*	**	N.S.	N.S.

N.S. No hay diferencia significativa

\* Diferencia significativa para 0.05 de probabilidad de:

\*\* Diferencia significativa para 0.01 de probabilidad de:

D1 Diferencia en tratamientos

D2 Diferencia debida al tiempo

D3 Diferencia por interacción de tiempo y tratamientos

D4 Diferencia debida a las repeticiones.

Se observan diferencias estadísticamente -

significativas, al comparar el ensilado tratado con el testigo, en los períodos de tiempo - de 8 y 30 días para la materia seca, mientras que otras fracciones como son el extracto etéreo y el porcentaje de cenizas, a los 180 días muestran diferencias.

Por otra parte, al comparar los ensilados a 8, 30 y 180 días, se observaron diferencias - significativas debidas tanto a los tratamientos (testigo y tratado) como al tiempo para las determinaciones de materia seca, extracto etéreo y total de nutrientes digestibles.

El hecho de que no exista diferencias debidas a las repeticiones indica la validez de - las determinaciones en el laboratorio; además de la homogeneidad de los muestreos realizados.

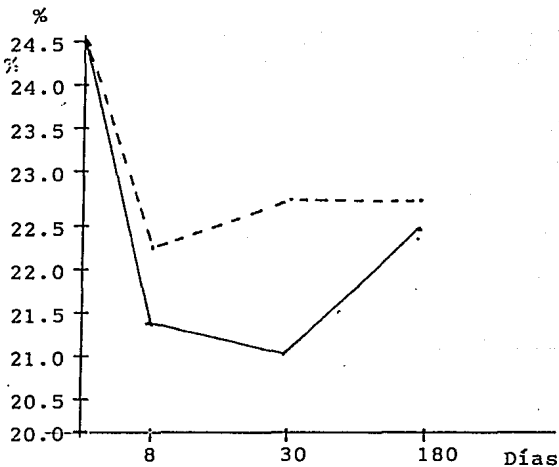
En la materia seca se observa un descenso

desde los primeros días de iniciado el proceso de ensilaje, el cual es mayor en el ensilado - testigo. Posteriormente llega a un punto de - recuperación, el cual se observa a partir de - los 30 días de iniciado el proceso para el ensilado testigo, mientras que para el ensilado tratado dicha recuperación se lleva a cabo al octavo día. Esto se debe a la actividad microbiana de los lactobacilos e incluso es un indicador de la terminación de su actividad, la cual, en el ensilaje tratado, se efectuó al - octavo día, mientras que para el ensilado testigo, dicha actividad de prolongó hasta los 30 días, consumiendo una mayor cantidad de materia seca y consecuentemente una mayor pérdida de la misma en el proceso de ensilaje, como se muestra en la Figura 3.

Figura 3. Porcentaje de materia seca en el ensilaje de maíz forrajero.

Testigo (—)

Tratado (-----)

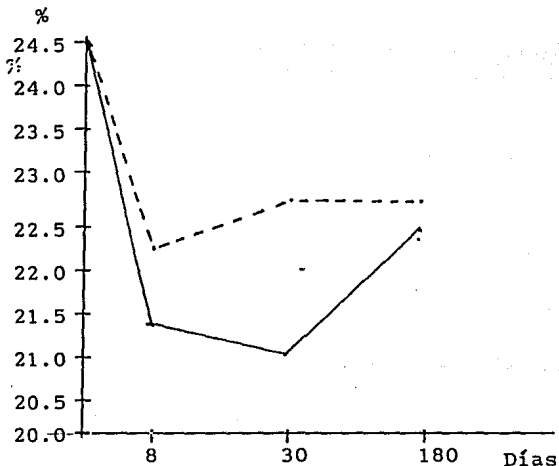


Lo anteriormente mencionado también puede observarse en la Figura 4 correspondiente al porcentaje de cenizas, la cual nos indica que al haber una menor cantidad de éstas en el -

Figura 3. Porcentaje de materia seca en el ensilaje de maíz forrajero.

Testigo (—)

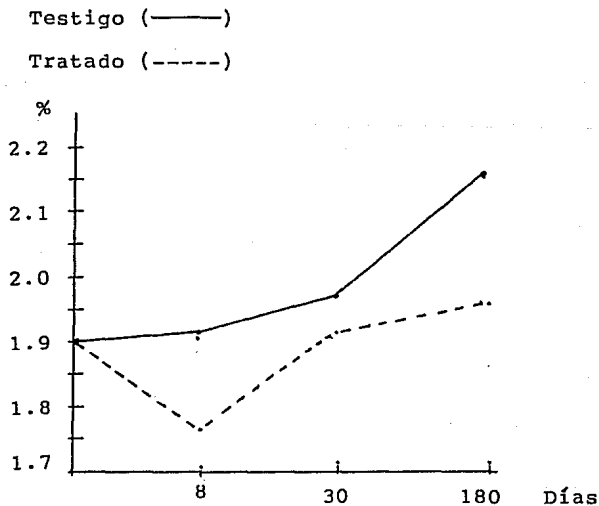
Tratado (-----)



Lo anteriormente mencionado también puede observarse en la Figura 4 correspondiente al porcentaje de cenizas, la cual nos indica que al haber una menor cantidad de éstas en el -

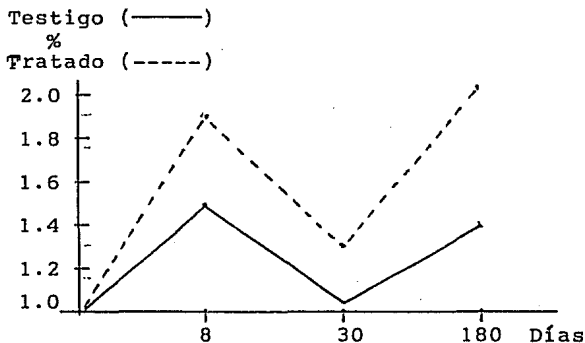
forraje tratado, existe una mayor cantidad de materia orgánica en el forraje. Sin embargo, - a partir del octavo día se observa, en el forraje tratado, un decremento de la materia orgánica, aunque sigue siendo menor que en el - testigo.

Figura 4. Porcentaje de cenizas en el ensilado de maíz forrajero.



El decremento de la materia orgánica también se debe a un consumo elevado de grasas - (extracto etereo) que se inició a partir del octavo día en ambos forrajes, como se muestra en la Figura 5 sinedo más marcado en el forraje tratado. Esto sugiere que la actividad microbiana no terminó al octavo día, sino que hubo una sustitución del sustrato utilizado por las bacterias al presentarse un descenso en el

Figura 5. Porcentaje de extracto etereo en el ensilado de maíz forrajero.



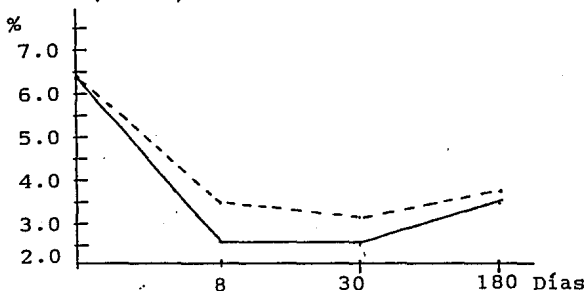


porcentaje de azúcares fácilmente desdoblables (E.L.N.) el cual muestra en la Figura 6 una curva que nos indica que a partir del octavo día la proporción de estos azúcares había disminuído notablemente. También se observa una recuperación de dichos azúcares a partir del día 30 de iniciado el proceso, apoyando lo establecido en las Figuras 3 y 5.

Figura 6. Porcentaje de extracto libre de nitrógeno (E.L.N.) en el ensilado de maíz forrajero.

Testigo (—)

Tratado (-----)

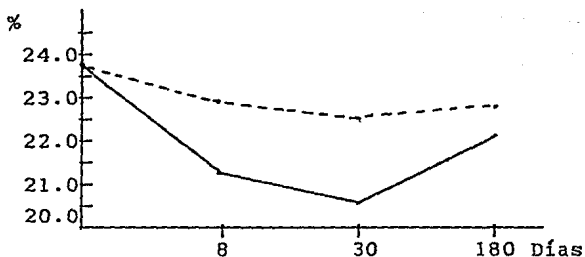


En la Figura 7 de Total de Nutrientes Digestibles (T.N.D.), puede apreciarse más claramente lo expuesto en las figuras anteriores. La recuperación que se muestra en ambos ensilados es debida a una deshidratación de éstos en los silos, lo cual origina un incremento en los porcentajes de todas las demás fracciones.

Figura 7. Porcentaje del Total de Nutrientes Digestibles (T.N.D.) en el ensilado de maíz forrajero.

Testigo (——)

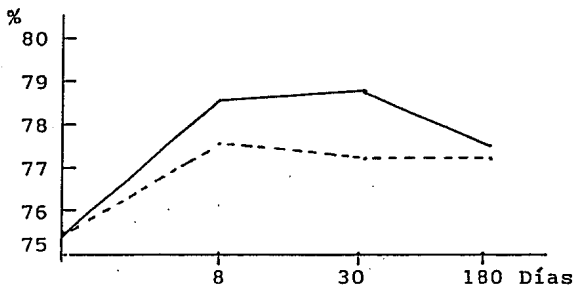
Tratado (-----)



Dicha deshidratación es mostrada en la Figura 8 de Porcentaje de Humedad. En donde primeramente se muestra un ascenso debido a la degradación de la materia orgánica por parte de los lactobacilos, para la producción de ácido láctico, posteriormente se estabiliza y después desciende debido a la deshidratación por evaporación.

Figura 8. Porcentaje de humedad en el ensilado de maíz forrajero.

Testigo (—) Tratado (-----)



Con lo que respecta a la determinación de proteína cruda, se observa una mayor proporción - de ésta en el ensilado testigo, probablemente debida a la cantidad de bacterias presentes en el ensilado tratado que, al ser mayor, quizás consumieron parte del nitrógeno proteico contenido en el forraje.

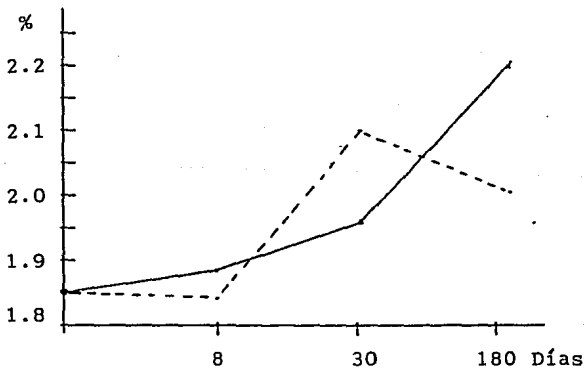
Sin embargo y debido a que dicha determinación es realizada a partir de la cantidad de - nitrógeno total, la cual es multiplicada por - un factor de proteína (6.25) para obtener el - porcentaje de proteína cruda que se muestra en la Figura 9, no se puede estar completamente seguro que esta determinación sea precisamente de proteína cruda; es posible que exista cierta cantidad de nitrógeno amoniacal (NNP) en el forraje testigo, lo cual sólo se podría comprobar mediante un análisis de nitritos y nitratos. Aunque el aspecto terminal del forra-

je testigo, no mostraba olor a amoniaco, pero sí un pH más elevado.

Figura 9. Porcentaje de proteína cruda en el ensilado de maíz forrajero.

Testigo (—)

Tratado (-----)



De los resultados obtenidos podemos deducir lo siguiente:

El forraje utilizado para llevar a cabo el proceso de ensilaje se encontraba con un grado de humedad optimo, un contenido de sustancias nutritivas considerado como normal, deficiente en nitrógeno y cobre y con porcentajes de Ca, Mg, Mn, Zn y K en equilibrio.

En los primeros días del proceso de fermentación, existió un consumo de materia seca del sustrato y, por lo tanto, un decremento en el porcentaje de materia orgánica.

Después del octavo día, el sustrato utilizado por la población bacteriana, los azúcares de fácil desdoblamiento, es sustituido por -- otro, las grasas y lípidos.

Entre los 30 y 180 días los ensilados sufren deshidratación, lo que origina una mayor concentración de las sustancias constituyentes del forraje.

El proceso de fermentación se llevó a cabo de manera más rápida y eficaz en el ensilado tratado con la adición de lactobacilos que en el testigo.

Las pérdidas debidas a la capa de enmohecimiento, fueron del 3.13% en el ensilado testigo y del 0.78% en el tratado. Si consideramos el precio del ensilado en \$90.00/kg de materia y tomando en cuenta una masa aproximada de 30 toneladas de forraje en cada silo, las pérdidas económicas son de \$84,510.00 (\$939/kg) para el ensilado testigo y \$21,060.00 (\$234.00/kg) para el ensilado tratado con lactobacilos.

CONCLUSION.

El ensilado tratado con lactobacilos mostró un comportamiento más acentuado en el proceso fermentativo, debido a una mayor población de bacterias lácticas, lo que condujo a obtener una mayor calidad de ensilado y una mejor conservación de la materia orgánica.

Estos resultados pudieron haberse obtenido con mayor facilidad mediante la determinación del porcentaje de ácidos grasos volátiles y principalmente de ácido láctico.

Sin embargo, y en términos generales, es posible concluir que el ensilado tratado con inoculante superó en calidad nutricional al ensilado testigo, debido a una disminución de las pérdidas, originada al acortar el lapso de tiempo en el que se realizó la fermentación.



**APENDICE.**

Resultados de los análisis bromatológicos -  
practicados a los ensilados.

Cuadro 1A. Ensilado testigo 8 días

Fracción	B.H.	B.S.	NAT.
Materia seca	97.23	100	21.42
Humedad	2.77	0	78.58
Proteína cruda	8.56	8.80	1.88
Cenizas	8.71	8.96	1.92
Extracto etereo	6.70	6.89	1.47
Fibra cruda	61.4	63.1	13.51
E.L.N.	11.93	12.2	2.63
T.N.D.			21.33

Cuadro 2A. Ensilado tratado 8 días

Fracción	B.H.	B.S.	NAT.
Materia seca	96.39	100	22.34
Humedad	3.61	0	77.66
Proteína cruda	7.93	8.23	1.84
Cenizas	7.64	7.92	1.77
Extracto etereo	8.18	8.48	1.87
Fibra cruda	57.45	59.6	13.31
E.L.N.	15.18	15.7	3.52
T.N.D.			22.93

Cuadro 3A. Ensilado testigo 30 días

Fracción	B.H.	B.S.	Nat.
Materia seca	96.78	100	21.2
Humedad	3.22	0	78.8
Proteína cruda	8.96	9.26	1.96
Cenizas	9.01	9.31	1.97
Extracto etereo	5.14	5.31	1.12
Fibra cruda	61.51	63.5	13.4
E.L.N.	12.09	12.5	2.65
T.N.D.			20.62

Cuadro 4A. Ensilado tratado 30 días

Fracción	B.H.	B.S.	NAT.
Materia seca	95.48	100	22.8
Humedad	4.52	0	77.2
Proteína cruda	8.42	8.82	2.01
Cenizas	8.01	8.39	1.91
Extracto etereo	5.59	5.85	1.33
Fibra cruda	60.3	63.1	14.40
E.L.N.	13.12	13.75	3.13
T.N.D.			22.54

Cuadro 5A. Ensilado testigo 180 días

Fracción	B.H.	B.S.	NAT.
Materia seca	96.35	100	22.5
Humedad	3.86	0	77.5
Proteína cruda	9.45	9.81	2.20
Cenizas	9.21	9.56	2.15
Extracto etereo	6.07	6.31	1.41
Fibra cruda	56.56	58.7	13.20
E.L.N.	15.08	15,6	3.51
T.N.D.			22.12

Cuadro 6A. Ensilado tratado 180 días

Fracción	B.H.	B.S.	NAT.
Materia seca	95.85	100	22.8
Humedad	4.14	0	77.2
Proteína cruda	8.60	8.98	2.04
Cenizas	8.25	8.61	1.96
Extracto etereo	8.91	9.29	2.12
Fibra cruda	55.93	58.3	13.30
E.L.N.	15.80	16.5	3.76
T.N.D.			22.88

**Cuadro 7A**      **Calculo de la capacidad de los  
4 y 5 de la F.E.S.-Cuautitlán.**

**Dimensiones totales de los silos.**

Base inferior.....	4.60 m
Base superior.....	5.60 m
Altura.....	4.20 m
Longitud.....	8.80 m

**Dimensiones funcionales de los silos.**

Ancho.....	5.20 m
Largo.....	4.80 m
Altura.....	3.20 m
Volumen.....	79.56 m <sup>3</sup>

**Capacidad.**

Forraje presecado.....	43,750 kg
Forraje aereado.....	55,692 kg
Forraje húmedo.....	79,560 kg

**Cuadro 8A. Cálculo de la aplicación del producto inoculante.**

El producto se aplica con bomba aspersora en capas según se vaya llenando el silo.

La dosis recomendada para la aplicación del producto es de: 1 lb/ton de forraje (450 g/ton) que se disuelve en 200 lt de agua.

De acuerdo a la capacidad de los silos, se aplicaron 3 lb de producto inoculador en 30 ton de forraje fresco.

Producto/forraje	Producto/agua
5 lb - 50 ton	5 lb - 200 lt
3 lb - 30 ton	3 lb - 120 lt

El forraje utilizado contenía un 75 a 80% de humedad. Los silos se llenaron en capas de 6 ton y 5 aplicaciones de producto de 24 lt - en cada aplicación.

BIBLIOGRAFIA.

- 1.- ALLAN, J.E. 1971 The preparation of -  
agricultural samples for  
analysis by atomic Varian  
spectroscopy Techtron, -  
Walnut Crek, California.
- 2.- AMEZCUA, G.E. y 1986 Rendimiento y calidad  
H.A. Mesa del forraje de híbridos -  
comerciales y experimenta-  
les de maíz para Valles -  
Altos. UNAM Tesis de Licen-  
ciatura FES-Cuautitlán.
- 3.- ARIAS, R.S. 1976 Evaluación de diferen-  
tes tipos de ensilados a  
base de maíz forrajero. -  
México.
- 4.- ARNDT, D.L. y 1979 Prosessing and hand-  
E. Hatfield ling of animal excreta for  
refcending. J. Animal Sci.  
48:157.
- 5.- BORGIALIS, W.T. 1962 Producción de forrajes  
Ed. Acribia. Zaragoza, --  
España.
- 6.- BREMNER, J.M. 1965 Total nitrogen. In C.A.  
Black(ed) Methods of soil  
analysis. Part 2 Amer. Soc.  
Agr. Agronomy 9. Madison,  
Winsconsin.

- 7.- CAZAREZ, G.L.R. 1988 Evaluación del estado nutricional de los alfalfares del Estado de México. Montecillos, Méx.
- 8.- COBOS, P.M.A. 1987 Evaluación nutricional de ensilados a base de estiercol, melaza y rastrojo de maíz en la alimentación de ovinos. Tesis de licenciatura, Chapingo, México.
- 9.- CRAMPTON, E.W. y L.E.Harris 1969 Applied animal nutrition. U. Florida, Galveston.
- 10.- CHERSHIRE, M.V.; P.C.de Kock y R.H.E. Inckson. 1969 Factors affecting the content of oats in grown peat. J. Sci. Food Agrn. 18:156
- 11.- CULLISON, A.E. 1983 Alimentos y alimentación de animales. Ed. Diana. México.
- 12.- DEMARQUILLY, C. 1973 Valuer alimentaire des ensilages de graminées et légumineuses. "En preparation et utilization des fourrages conservés. Suppl. Fourrages.
- 13.- DEMARQUILLY, C. 1977 Tables del valor nutritivo de los forrajes. Hoja técnica 16, INIA. Ministerio de Agricultura, Madrid.



- 14.- DEMETER, C y R. 1971 Elementos de micro--  
Elbertzhagen biología lactológica. Ed.  
Acribia. Zaragoza, España.
- 15.- DUTHIL, J. 1976 Producción de forrajes  
Ed. Mundi-prensa. Madrid,  
España.
- 16.- FIELGS, E. 1952 Forrajes ensilados. Ed.  
Celsa, México.
- 17.- GARZA, F. 1979 Evaluación de la adi-  
ción de cloruro de sodio,  
urea y melaza en la produc-  
ción de forrajes ensilados.  
Montecillos, México.
- 18.- GROSS, J. 1969 Silos y ensilados. Ed.  
Acribia. Zaragoza, España.
- 19.- HARDY, R.P. y 1974 Utilización de excre-  
H. Elías tas en el proceso de ensi-  
lado. Montecillos, México.
- 20.- HARRIS, L.E. 1978 Métodos para el análi-  
sis químico y la evaluación  
biológica de alimentos para  
animales. U. Florida, Gaines-  
ville.
- 21.- HOUGES, H.D., 1981 Forrajes. Ed. CECSA,  
M.E. Heat y D. México.  
S. Metcalfe
- 22.- JACKSON, M.L. 1976 Análisis químicos de  
suelos. Ed. Omega, Barcelo-  
na, España.

- 23.- LUNA, E.J. 1984 Manual de evaluación del ensilado de manzana - v.s. ensilado de maíz de vacas lecheras en producción. Tesis de licenciatura. Chapingo, México.
- 24.- MCDONALD, P. 1975 The biochemistry of silage. Chichester, Engl.
- 25.- MELSTED, S.W.,  
H.L.Motto y T.  
R. Peck 1969 Critical plant nutrient composition values -- useful in interpreting - plant analysis data. Agro J. 61:17
- 26.- MORFIN, L.L. 1977-1982 Manual de laboratorio de bromatología. FES-Cuautitlán, UNAM.
- 27.- MULDER, E.G. 1939 On the use of microorganisms in measuring on soil. Antonie Van Leeuwen Hock. 6:99.
- 28.- MUSLERA, P.E. y  
G.C.Ratera 1984 Praderas y forrajes Ed. Mundi-prensa. Madrid, España.
- 29.- NUÑEZ, A.A. 1970 Ensilados y sus fermentaciones. Ed. Acribia. Zaragoza, España.
- 30.- RAYMOND, F.G.,  
G. sheperson y  
R.Watham 1977 Forrajes. Ed. Gea - Barcelona, España.

- 31.- STOCK,S. y M. Breeder 1970 Conservación de forrajes. Ed. Academia. Leon, - España.
- 32.- SUMNER,M.E. 1977 Use of DRIS system in foliar diagnostic crops at high yield levels. Commun. Soil Sci. Plant Anal.8:251.
- 33.- WATSON,J. y A.M.Smith 1979 El ensilaje. Ed.CECSA México.