



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

OPTIMIZACION DE ESQUILMOS AGRICOLAS  
BAJO DIFERENTES TRATAMIENTOS.  
"ESTUDIO RECAPITULATIVO"

T E S I S  
PARA OBTENER EL TITULO DE:  
MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA  
P R E S E N T A I  
LUIS GABRIEL LUNA RAMOS

Asesores: MVZ. Juan Manuel Cervantes Sánchez  
MVZ. Martha Leonora Meza Lassard

México, D. F.

1993

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## **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

## PAGINA

<b>I.- INTRODUCCION</b>	1
La pared celular de las plantas	2
Características de las esquilmas agrícolas	3
<b>II.- DESARROLLO</b>	8
<b>TANTAMIENTOS FISICOS</b>	9
Tratamiento con vapor	9
Molienda	11
Enpartillada	18
Humedecimiento	13
<b>TANTAMIENTOS QUIMICOS</b>	13
Tratamiento con Hidruido de Sodio (Beckmann)	14
Método Beckmann modificado	18
Beckmann a nivel industrial	17
Método Salidas	18
Tratamiento con Hidruido de Potasio	23
Tratamiento con Hidruido de Calcio	24
Amoriatización (método Maruga)	25
Desórdenes metabólicos asociados con la amonificación de las esquilmas agrícolas	34
Tratamientos químicos combinados con vapor	35
Tratamientos osmóticos	38
Tratamientos microbiológicos	40
<b>III.- RESUMEN</b>	42
<b>IV.- ANALISIS DE LA INFORMACION</b>	42
<b>V.- LITERATURA CITADA</b>	46
<b>VI.- ANEXOS</b>	48

OPTIMIZACION DE ESQUILMOS AGRICOLAS BAJO DIFERENTES TRATAMIENTOS. "Estudio recapitulativo".

INTRODUCCION

Las principales especies forrajeras se encuentran fundamentalmente en dos familias botánicas, las gramíneas y las leguminosas. Las gramíneas están agrupadas en unos 600 géneros con casi 5000 especies, y comprenden el 75% aproximadamente de las plantas forrajeras cultivadas y todas las cosechas de cereales. Sus órganos básicos son los tallos, raíces y las hojas. Las inflorescencias y los frutos son modificaciones de tallos y hojas.

El nombre de la familia de las leguminosas, Leguminosae, se deriva de la palabra "legumbre", que es el nombre del tipo del fruto (vaina) característico de las plantas de esta familia. Una legumbre es un fruto monocarpelar, que contiene una sola hilera de semillas y que hace su dehiscencia a lo largo de dos suturas ó costillas. Tienen características que las distinguen en muchos aspectos de las gramíneas. Aunque existen diferencias morfológicas muy definidas entre los géneros, y entre algunas especies, hay bastante uniformidad en el desarrollo típico de las leguminosas cultivadas

Hay cerca de 500 géneros y 11,000 especies de leguminosas, encontrándose en América 4,000. aproximadamente (17, 32).

### La Pared Celular de las Plantas.

La pared celular de las células vegetales en forma tradicional, se ha dividido en tres componentes: Una laminilla media, una pared primaria y otra secundaria, ésta última compuesta a su vez por tres capas, (S1, S2 y S3). Por lo general la capa S2 es la de mayor espesor comparada con la pared primaria, la laminilla media y las otras capas (S1 y S3). La pared primaria se forma en la planta en desarrollo y es la más dinámica de las estructuras, siendo la pared exterior de la célula a la que da forma, alargándose conforme la planta crece. La pared secundaria se forma dentro de la primaria, provee de rigidez a la célula y es sintetizada después de que ha terminado la elongación celular. El lumen de la célula está ubicado centralmente, rodeado por la pared secundaria y contiene el protoplasma celular activo (como se observa en la figura 1) (32, 41).

La diferenciación física y química entre las paredes celulares no es muy abrupta, más bien es una transición gradual entre una y otra. La hemicelulosa existe en mayor cantidad en la pared secundaria pero infiltra a la pared primaria e incluso a la laminilla media. Cuando el crecimiento de la planta se completa, la lignina se deposita en la pared secundaria combinándose con la hemicelulosa para dar rigidez final a la célula. (32, 41)

La celulosa es un polisacárido de alto peso molecular formado por unidades de D-glucosa con uniones 1-4  $\beta$ -glucosídicas, la molécula es alargada y plana sin ramificaciones. La hemicelulosa está constituida por xilanos, beta-mananos y L-arabinanos; Los xilanos son los mas abundantes en el material lignocelulósico.

La lignina en realidad son varios ácidos considerados como un material incrustante, que en su conjunto constituyen el último componente sintetizado por el tejido vegetal; su producción aumenta conforme envejece la planta, forman parte del polímero estructural no digestible de las plantas, formada por unidades de fenil-propano, proporciona a las plantas rigidez y unión entre sus células. Además disminuye la permeabilidad del agua a través de las paredes celulares y protege a las células de invasiones por microorganismos (32, 41).

#### **Características de los esquilmos agrícolas.**

Desde el punto de vista nutricional, el uso de esquilmos agrícolas en la alimentación animal es limitado, debido al escaso valor proteínico y a la baja digestibilidad, el principal factor limitante es el contenido de lignina, la cual impide la digestión de los polisacáridos estructurales (celulosa y hemicelulosa); con

lo cual disminuye el aprovechamiento de la energía potencial que poseen estos productos (39, 43).

El contenido de nutrientes en estos alimentos es muy variable. En la figura No. 2 se observa en forma general que los esquilmos se caracterizan por su bajo valor energético (menor de 2.0 Mcal de EM/kg de materia seca) y alrededor de 5% de Proteína cruda.

Cuando se utilizan como único alimento para los rumiantes, existe una reducción en la actividad microbiana haciendo muy lenta la tasa de degradación de estos forrajes a nivel ruminal y disminuyendo la velocidad de paso del material no digerido por el tracto digestivo. Estos efectos se han relacionado con un bajo consumo de materia seca, que en muchos casos no alcanza a cubrir las necesidades de mantenimiento (11, 17).

En la figura 3, se muestran las cantidades de celulosa y hemicelulosa que son digeridas, por lo que se puede inferir el gran potencial energético que representan los esquilmos agrícolas, sin embargo, la presencia de lignina impide que puedan ser digeridos estos polisacáridos en mayor proporción.

La lignina de las gramíneas se considera más soluble en álcalis que la contenida en las leguminosas. Esta mayor solubilidad se puede relacionar con su alto contenido de

grupos éster y por un bajo contenido de grupos metoxilo. La deslignificación alcalina en gramíneas está asociada con un incremento en la digestibilidad de la pared celular insoluble, mientras que en las leguminosas la fracción fibrosa es relativamente indigerible debido a que su contenido de paredes celulares es bajo y a su alto grado de lignificación, cualquier incremento en la digestibilidad en estas plantas es debido a la solubilidad de los compuestos carbonhidratados de la pared celular (11, 28).

El alto contenido de celulosa y hemicelulosa de los esquilmos agrícolas representa una fuente potencial de energía para los rumiantes. Sin embargo, por lo general la energía digestible y el bajo contenido de proteína cruda de estos subproductos no alcanza a cubrir las necesidades básicas de mantenimiento, por lo tanto se hace necesaria la búsqueda de opciones sencillas, económicas y eficaces para mejorar el valor nutritivo de los forrajes aprovechando lo más que se pueda del desperdicio en el campo (28).

Los forrajes, pajas, rastrojos y otros esquilmos agrícolas han sido empleados por el sector agropecuario para la alimentación animal, ya que representan un recurso importante para ser transformados en carne y leche. Los esquilmos agrícolas han aumentado su importancia para

reducir los impactos de las sequías que afectan en general a los animales (37, 38).

La gran demanda de forrajes en épocas secas hace necesaria la búsqueda de técnicas para aprovechar y mejorar subproductos agrícolas. En el país se producen anualmente más de 56 millones de toneladas de esquilmos agrícolas de los que solamente se aprovechan aproximadamente el 42%. Esto se debe como se mencionó anteriormente a que por sí solos son incapaces de satisfacer las necesidades mínimas nutricionales de mantenimiento de los animales por su baja concentración de nutrientes (Cuadro No. 1) y a otros factores que se enuncian a continuación (37, 38).

Las principales causas del desperdicio de esquilmos agrícolas son:

1.- Una vez recogida la cosecha, los esquilmos son dejados en el campo para que se incorporen al suelo.

2.- Los esquilmos agrícolas son quemados e incorporados al suelo en forma de cenizas debido al desconocimiento de otras alternativas de uso.

3.- Son pastoreados por los animales, existiendo un gran desperdicio por la alta selectividad hacia las hojas, quedando sin aprovechar las cañas.

4.- Son cortados y suministrados a los animales tal cual.

5.- Son picados y dados a los animales.

6.- Hay una deficiencia en cuanto a la información para el aprovechamiento de esquilmos.

7.- Desconocimiento de las técnicas para mejorar el valor nutricional por la gente del campo (37, 38).

De los 50 millones de toneladas destacan el rastrojo y olote de maíz con un 59%, los subproductos de la caña con el 15%, la pata de sorgo el 12% y la paja de cereales el 10% (Mapa No. 17 (38)).

El 47% de la producción se concentra en 5 estados: Jalisco, Estado de México, Chiapas, Guanajuato y Veracruz. El 27% en Michoacán, Sinaloa, Tamaulipas, Sonora y Puebla, y el 26% restante se produce en los demás estados (Mapa No. 18).

La relación volumen-peso de las pajas y rastrojos aunada a su calidad nutricional, hace poco costoso los procesos de cosecha, procesamiento, transporte y maniobra, restringiendo a un radio muy limitado su utilización racional (38).

Una limitante más para el aprovechamiento de este recurso es la escasa y poca versatilidad de la maquinaria forrajera en las áreas de riego, esta situación se torna crítica por la premura con que deben desocuparse los terrenos para iniciar el siguiente ciclo de cultivos (38).

El crecimiento demográfico tanto nacional como mundial produce una creciente demanda por los granos para la alimentación humana, por lo tanto su uso para el ganado es cada vez más limitado. Ante este marco, la utilización de los residuos de cosecha como forraje, merece un análisis cuidadoso ya que con todo y las limitantes que su uso significa representan una valiosa alternativa que debe ser aprovechada (43).

#### TRATAMIENTO DE ESQUILMOS AGRICOLAS:

Existen diferentes tratamientos para mejorar la calidad nutricional de los residuos de las cosechas (esquilmos agrícolas), por un lado se busca aumentar la digestibilidad y por el otro incrementar el consumo voluntario, obteniendo la mayor ingestión de energía digestible (1, 6, 8, 11, 18, 24, 26, 35, 38, 43).

Dentro de las diferentes alternativas para su mejor aprovechamiento existen los siguientes tratamientos:

#### TRATAMIENTOS FISICOS

Tratamientos con vapor.

Molienda.

Empastillado.

Humedecimiento

### TRATAMIENTOS QUIMICOS

Tratamiento con Hidróxido de Amonio.

Tratamiento con Hidróxido de Potasio.

Tratamiento con Hidróxido de Sodio (NaOH). (Beckman)

Tratamiento con Hidróxido de Calcio (CaOH). (Boliden)

Tratamiento con Amoniaco Anhidro (NH<sub>3</sub>). (Metodo Noruego)

### TRATAMIENTOS BIOLOGICOS

Tratamiento Enzimático.

Tratamiento Microbiológico.

(11, 18, 24, 28, 35, 38)

### TRATAMIENTOS FISICOS:

Tratamiento con Vapor:

Con este tratamiento se busca aumentar la digestibilidad por cocimiento. Preston et al, trataron bagazo de caña con vapor mediante el siguiente procedimiento: En un recipiente de acero con capacidad de 1100ml, se colocaron 300 g de bagazo y se inyectó vapor saturado, hasta una presión de 200 psi (pulgadas por cm<sup>2</sup>). Esta presión se mantuvo durante 10 minutos y posteriormente se drenaron los condensados a través de una trampa de vapor. Se logró que la digestibilidad de materia seca in vitro aumentara hasta el 70% (28, 38).

Por otro lado; Nesse y Wallik (1977), tratando en autoclave la porción fibrosa del estiércol de res.

inyectaron vapor hasta una presión de 85 psi., a un recipiente de 400 ml de capacidad y 150 g de material; La presión se mantuvo constante durante una hora, al cabo de la cual se suspendió el suministro de vapor y se sumergió el recipiente en un baño de agua fría. El material tratado se lavó con 400 ml de agua corriente y se filtró. Luego se tomó una porción equivalente a 0.5 de materia seca y se trató a temperatura ambiente durante 24 hrs. con una solución amortiguadora de Citrato de sodio a 0.05 M, y un pH de 4.8 y 0.25g de celulasa producida por Aspergillus niger, cuya actividad normal es de 4000 unidades g. la unidad de actividad se define como los miligramos de glucosa liberados del material celulósico en  $\text{cm}^3$  a 25°C. El resultado fue la producción de 36 mg de azúcares producidos por cada gramo de materia, cantidad que es 10 veces mayor a la que se obtiene en material sin tratamiento con vapor (26).

Han y Callihan. (1974). trataron paja de arroz, previamente molida hasta pasar por una malla del número 20, con vapor a 160°C. durante 4 hrs. La digestibilidad in vitro aumentó de 29.4 a 61.5% (14).

Guggolz et al (1971). trataron varios tipos de pasto molido hasta pasar por una malla de 1 mm., con vapor saturado a presión de 28  $\text{kg}/\text{cm}^2$ , durante 3 minutos. La digestibilidad aumentó, en promedio de 30 a 45% (13).

Klopfenstein et al. (citado por Carrillo, L. E.), trataron elote de maíz, con vapor saturado durante 50 segundos, a presión de 17.5 kg/cm<sup>2</sup>. Se obtuvo un aumento de la digestibilidad in vitro del 20% sobre el elote sin tratar. Se probó el producto en borregos, siendo el 79% de su dieta, complementándose con pasta de soya. En comparación con el elote sin tratar se logró un aumento en la ganancia diaria de peso de 0.87 a 0.186 Kg y una mejora en la conversión alimenticia de 8.5 a 6.2 (6).

#### La Molienda.

Este tratamiento consiste en reducir un material a partes muy pequeñas ó hasta hacerlo polvo, puede llevarse a cabo mediante maquinaria, manual o por pisoteo animal. Tassinari y Macy (1977), sometieron diversos materiales celulósicos a una molienda en dos etapas. Eligieron los materiales que a su juicio representarían una amplia gama de materiales celulósicos; algodón que es casi pura celulosa con alto grado de cristalinidad; papel periódico, una madera dura (maple) y una madera blanda (pino), que tienen diferentes tipos de lignina y hemicelulosa. El papel se molió en un molino de martillos con criba de 1/4 de pulgada; en esta primera etapa el algodón no se molió. Luego, en la segunda etapa todos los materiales se molieron en un molino de dos rodillos con separación de 0.01 pulgadas. Se obtuvo

un material constituido por hojuelas de diversos tamaños y polvo grueso. Las muestras así molidas, fueron tratadas en una suspensión al 5% con celulasa de Trichoderma viride, a una concentración equivalente de una unidad por milímetro; se usó solución de Citrato de sodio 0.05M para mantener el pH en 4.8; el tratamiento duró 24 hrs. Se obtuvo una producción de azúcares reductores, comparada con la obtenida en materiales sin moler, 11 veces mayor en el algodón, 16 en la madera de maple, 6 en la madera de pino y 1.25 en el papel periódico (38).

Los mismos autores mencionan, como comparación, que al moler papel periódico en el molino, hasta que pase por la malla del número 200, solo se aumenta su susceptibilidad a la acción enzimática en 65%, con respecto al material sin moler, y en el consumo de energía del molino de rodillos es 10% menor que el molino de bolas (38).

Además de estas ventajas este procedimiento facilita el mezclado con otros ingredientes (27, 39, 40).

#### **Empastillado.**

Este procedimiento se lleva a cabo introduciendo los ingredientes en una máquina de extrusión cuyo trabajo será el de compactarlos en trozos homogéneos, dándoles distintas formas, estas pueden ser desde un simple cubo hasta formas poco imaginables. El empastillado incrementa más el consumo

y digestibilidad de los rastrojos. En estudios realizados sobre este proceso los consumos se incrementaron en un 30% (26, 38).

#### **Humedecimiento.**

Este se realiza aplicando agua simple o bien adicionada con melaza lográndose el reblandecimiento de las pajas, se hace con manguera, cubetadas o con una regadera jardinera para que el tratamiento se lleve de la manera más uniforme posible, al adicionar melaza se logra que las pajas tengan un mejor sabor, incrementando la energía y el consumo voluntario por parte del animal. En estudios realizados por Hoelscher, et al (1981) (citados por Perez G). Se encontró que la adición de agua a la paja de trigo incrementó el consumo de materia seca en un 31%. Sin embargo las ganancias diarias registradas fueron escasamente mejoradas (28, 38).

#### **TRATAMIENTOS QUIMICOS**

Los tratamientos químicos comúnmente utilizados para la mejora de los esquilmos agrícolas son los que utilizan alcalis.

Entre estos se encuentran los tratamientos con Hidróxido de sodio (NaOH), Hidróxido de calcio (Ca(OH)<sub>2</sub>), Hidróxido de amonio (NH<sub>4</sub>OH), Hidróxido de potasio (KOH) y el amoniaco anhidro (NH<sub>3</sub>) (4, 5, 6, 11, 12, 20, 35, 38).

## A.- Tratamientos con Hidróxido de Sodio.

### Método Beckmann:

Es probablemente el compuesto más antiguo empleado para tratar los esquilmos (Jackson 1977; Sundstol et al (1976), citado por Lorrilla, R. J.). El tratamiento de esquilmos con NaOH provoca un aumento en la proporción de paredes celulares potencialmente digeribles así como su tasa de desaparición del rumen, tanto por digestión como por velocidad de paso. La diferente relación existente entre partículas mayores y menores de 1 mm entre forraje tratado o no, indica un incremento en el ritmo de salida del rumen de partículas pequeñas (43).

El volumen de la solución es de 8 a 10 lt de agua por kg de paja seca, y se utilizan de 12 a 15 kgs de Hidróxido de sodio (NaOH), por cada 100 kgs de paja.

La paja se pone a remojar en un primer depósito, el cual contendrá la solución durante 20 hrs, después de este tiempo, la solución es bombeada a otro depósito. El segundo depósito contiene agua fresca para el lavado que dura de 18 a 20 hrs, después se vacía el depósito, a partir de este momento la paja ya está lista para ser consumida por el ganado, con este método el consumo de álcali es de unos 6 kgs por cada 100 kg de paja.

Este método se puede hacer también manualmente en pequeñas explotaciones agrícolas. La solución tratada queda en el mismo depósito y la paja es llevada a un segundo depósito que contiene agua fresca, que se utiliza con fines de lavado. (Figs. 4a, 4b y 4c).

El grado de digestibilidad se ve afectado con la concentración del Alcalí.

Con el 2% de Hidróxido de sodio hay aumento de 2 puntos porcentuales, con el 4% hay 4 puntos porcentuales, con el 8 y 10% aumenta 20 puntos porcentuales y con el 12% aumenta 25 puntos porcentuales la digestibilidad (Cuadro No. 2) (1, 2, 8, 23, 24, 25, 28, 33, 34, 35, 38).

#### **Método Beckmann Modificado.**

Se requieren tres depósitos cada uno con un tablero de escurrido. El primer depósito contiene 1000 lt de agua con Hidróxido de sodio al 1.5%. mientras que el segundo depósito contiene 2000 lt de agua para lavado y el tercero contiene 1000 lt de agua.

El orden de las operaciones que diariamente se tienen que hacer es el siguiente y para darle mayor claridad al procedimiento enunciaremos a los depósitos como A, B y C, a los tableros de escurrido a, b y c.

En los depósitos A y B se ponen a remojar 100 kgs de paja seca por 20 hrs, después se ponen en sus respectivos tableros de escurrido (a y b).

Se recompone la concentración de NaOH en A añadiendo 4 lt de NaOH, la paja (a) se pone en B, la paja (b) se pone en A, después la paja B se pone en b) para que escurra y después se pasa a C, se saca, se pone en (c) para que escurra. Posteriormente esta se lava con 300 lt de agua fresca, terminado esto ya puede ser administrado al ganado. Lo mismo se hace con la paja del depósito A (Fig No. 5).

El alcali que escurre de la paja tratada en el segundo depósito reacciona con la paja fresca del mismo (38).

Ca. deron et al. (citado por Perez, G. (28) trataron rastrojo de maíz con NaOH: se coboco el rastrojo en un comedero de canal de cemento, se embebió con solución al 4% de NaOH y se cubrió con plásticos; a las 48 horas se descubrió para proporcionarlo a becerros Holstein.

Se usaron 16 animales con peso promedio de 155 kg, se distribuyeron en 4 lotes de 4 animales cada uno, para tener 2 lotes por cada tratamiento, rastrojo tratado y rastrojo normal. El tratamiento duró 91 días. Se complementó con melaza y concentrado en un 60%. La ganancia de peso diaria no tuvo diferencia significativa: 0.73 kg contra 0.74 kg para rastrojo tratado y normal respectivamente, pero sí

mejoró la conversión alimenticia: 5.05 contra 6.22 (35, 38, 43).

#### Mismo Tratamiento pero a nivel Industrial

La capacidad de estas instalaciones es de 4 a 5 toneladas tratadas por hora. Las cuerdas de amarre deben de ser de sisal o de plástico. La paja deberá tener una humedad de 13%. La paja pasa desde la tolva intermedia hasta el molino de martillos, para posteriormente pasar a un dispositivo de tratamiento alcalino, pasando antes por un extractor de polvos. inmediatamente antes de entrar en la cámara, la paja pasa por una báscula de cinta que regula el ritmo de la aplicación de la solución alcalina, la solución contiene entre el 30 y 45% de NaOH y se administran de 10 a 15 lt de esta por cada 100 kg de paja, despues pasa por una peleteadora, la cual aumenta la densidad de la paja de unos 50 a 500 kg por m<sup>3</sup>. (Figura No. 6)

Como el pH de las pajas tratadas es superior a 10, se han realizado multiples experimentos para neutralizar con ácido clorhídrico ó propiónico por via seca antes de ser suministrados a los animales. Se ha observado que al utilizar ácidos para neutralizar dichas pajas, el cambio no repercutio significativamente en la ingestión ó en la digestibilidad en cualquier nivel del tratamiento, lo que indica que no hay una mejora suficiente del valor nutritivo

que justifique los gastos adicionales que entraña la neutralización (38).

#### **Método Boliden.**

También con este método se busca provocar la ruptura de las paredes celulares por medio de la solubilización de la hemicelulosa, la hidrólisis de ésteres del ácido urónico y acético, aumentando la tasa de digestión ruminal de la celulosa y hemicelulosa al sufrir un incremento en sus dimensiones (hinchado) (Klopfeinstein, (1976) citado por Zorrilla, R. J.) (43).

La paja es tratada con una solución alcalina y a continuación con otra ácida, utilizando equipo especial. Se coloca un lote de pacas de paja (500 kg) en la cámara de tratamiento sobre una plataforma de malla. Se bombea en la tolva situada debajo de esta cámara una solución de NaOH (22.5 kg). A continuación se abre el grifo de suministro de agua a la tolva. Al empezar a llenarse se pone en marcha una bomba que lleva la solución sobre la paja, queda saturada aproximadamente en hora y media, después de la cual el sobrante de la solución vuelve a la tolva y entra de nuevo a la circulación. Una válvula de flotador de la tolva regula el flujo de agua de la misma. Se utilizan 1800 lt de solución en equilibrio, toda esa cantidad menos 100 lt es absorbida por la paja.

Se introduce además una carga de 22.5 kg de Hidróxido de calcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) en el sistema de suspensión de agua. La suspensión circula durante 4 hrs quedando saturada la paja y después se queda en reposo durante 15 hrs. A continuación se bombea una mezcla ácida para bajar el pH entre 8 y 9, se escurre y puede ser suministrado al ganado Fig. No.7 (38, 39).

Este tratamiento puede implementarse en las explotaciones agrícolas, para lo cual se rocía la paja seca con una solución de Hidróxido de sodio al 4% para que quede humedecida de un modo uniforme, se puede utilizar una regadera jardinera, el volumen de agua a utilizar dependerá de la uniformidad en la aplicación, siendo en el mejor de los casos 50 lt de agua por cada 100 kg de paja. Es recomendable suministrar el alimento a los animales un día después del tratamiento, debido a que la digestibilidad aumenta notablemente con el tiempo en las primeras 24 hrs después del proceso. Este método es el más sencillo de todos, pero por desgracia resulta también ser el menos eficaz (38, 39).

Saxena y Oterby (36), observaron un aumento en la digestibilidad de la materia seca de paja de avena tratada con NaOH. La paja se molió en un molino de martillos con criba de 9 mm. Luego se remojó a temperatura ambiente

durante 22 hr en una solución al 1.5% de hidróxido de sodio (una parte de paja por 8 partes de la solución) posteriormente se lavó con agua caliente y se drenó. Se logró que la digestibilidad in vitro aumentara de 45.5 a 69%. Se comparó el efecto en borregos en crecimiento, de la paja tratada y de la paja sin tratar, suplementadas con pasta de soya-urea o fosfato de amonio. Se observaron diferencias significativas en la ganancia de peso (177 g. al día contra 61.5 g. al día), el consumo de materia seca (1.29 kg/día contra 0.37 kg/día y conversión alimenticia (7.3 contra 14.6) respectivamente.

Nesse y Wallik (26), trataron la parte fibrosa del estiércol de res con solución al 1% de NaOH; 100 g de fibra húmeda (aproximadamente 15% de materia seca) se trataron con 250 ml de la solución a temperatura ambiente durante una hora, luego se lavó el material con 250 ml de agua corriente y se filtró. Luego se hidrolizó celulasa de Aspergillus niger al 0.125% en solución amortiguadora de citrato de sodio con pH de 4.8 durante 24 hrs. Se obtuvo una producción de 71.5 mg de azúcares reductores por gramo de material; esta cantidad es tres veces mayor a la que se obtienen sin el tratamiento con NaOH.

En otro trabajo, Summers y Sherrod (citados por Perez, G. 1989) trataron olote y rastrojo con solución de NaOH al

10%, primero se molieron los materiales hasta que pasaran por una malla de 1 mm, luego se mezcló una parte del material con una parte de la solución (1:1) y se almacenó en frascos con tapon de rosca durante 24 hrs. posteriormente se lavo y se drenó. Se logró un aumento de digestibilidad de materia seca in vitro de 48.4 a 54.9% en el olate y de 45 a 60% en el rastrojo (38).

Han y Callihan (14), trataron paja de arroz con solución de hidroxido de sodio al 4%, a 100°C durante 15 minutos y lograron que la desaparición de material insoluble por la acción de celulasas aumentara de 20.4 a 70%. También trataron bagazo de caña con solución de NaOH al 1% durante 10 minutos a temperatura ambiente y lograron que la desaparición del material insoluble aumentara en un 60%.

Kandel et al., trataron bagazo de caña con una solución al 2% de NaOH a temperatura ambiente durante 24 hrs. Luego se drenó el recipiente y se lavó el bagazo con agua de la llave durante 20 minutos. El bagazo tratado se suministró, suplementado con maíz 18.45%, melaza, harina de pescado 27%, urea y otros ingredientes 2.5%, a vacas en lactación. Después de 30 días los resultados fueron comparados con los de vacas alimentadas con concentrado. (7, 18, 31) (cuadro No. 3).

Keith y Daniels (citados por Sánchez, J. E. 1971 (35)) sometieron aserrín a la acción de NaOH al 1% durante 24 hrs, neutralizaron con ácido acético y lo secaron con aire del ambiente. Se logró que la digestibilidad in vitro de materia seca aumentara de 6.3 a 14.1%. El producto se suministró en un 25% de las dietas de 8 becerros Holstein y otros 8 con el aserrín sin tratar que sirvieron como grupo testigo. No hubo diferencia en la ganancia de peso: 0.5 kgs por día; en el consumo diario 3.5 kg; ni en la conversión alimenticia.

Feist et al. (19) trataron varios tipos de maderas duras con NaOH. La madera se molio hasta pasar por una malla del número 40; se hicieron suspensiones de 5 gramos de aserrín en 50 ml de solución de NaOH al 0.5% a temperatura ambiente durante 2 hrs. Se lavaron con agua destilada y se secaron al aire. La digestibilidad de materia seca in vitro aumento de 35 a 50%.

Keith y Daniels (citados por Perez, G. 1989 (28)) hicieron un tratamiento de aserrín con  $H_2SO_4$ . Mezclaron el aserrín con solución al 1% de ácido sulfúrico, a temperatura ambiente durante 24 hrs; luego se drenó y se secó al aire, y evaluaron el efecto de incluir 25% de aserrín tratado en dietas para becerros Holstein, con peso promedio de 144 kg, los animales presentaron una ganancia diaria de peso de 0.5 kg/día, un consumo de 3.5 kg/día y una conversión

alimenticia de 7.4, estos resultados no son significativamente diferentes a los obtenidos en dietas con el mismo porcentaje de aserrín sin tratar (30, 43).

#### Tratamiento con Hidróxido de Potasio.

Con este método se busca fracturar las paredes celulares por medio de la solubilización de la hemicelulosa, la hidrólisis de ésteres del ácido urónico y acético, aumentando la tasa de digestión ruminal de la celulosa y hemicelulosa al sufrir un incremento en sus dimensiones (43).

Se sabe que los ruminantes pueden soportar consumos elevados de potasio, ya que este se absorbe con rapidez y la cantidad excedente se excreta en forma inmediata. Normalmente, el 90% de la excreción se produce por la orina, aunque la transpiración profusa puede ocasionar la salida de una buena cantidad por este canal. Las hormonas adrenales hacen que el riñón reabsorba el sodio, pero aumenta la excreción de potasio, los riñones tienen una capacidad limitada para conservar el potasio, aun bajo condiciones de deficiencia alimentaria (11).

En un estudio realizado por Siebert (citado por Zorrilla, R. J.), se observó que los novillos que tuvieron oportunidad de escoger forraje tratado con NaOH ó KOH, prefirieron el segundo de ellos (43).

El uso de cualquiera de las dos sustancias produce un efecto similar en la digestibilidad, por lo que el aspecto económico será el que determine la elección (43).

#### Tratamiento de pajas con Amoniaco anhidro e Hidróxido de Calcio.

Una opción interesante son los tratamientos químicos, con compuestos alcalinos que actúan hidrolizando los enlaces ester del complejo hemicelulósico de las pajas. Entre las sustancias alcalinas de mayor atractivo por su bajo costo y disponibilidad se encuentra el amoniaco anhidro ( $\text{NH}_3$ ) y el hidróxido de calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) (1, 8, 12, 15, 20, 28, 38, 39).

#### Tratamiento con Hidróxido de Calcio.

El Hidróxido de Calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) además de que incrementa la digestibilidad de la celulosa, hemicelulosa y materia seca, es menos corrosivo, más económico y seguro en su manejo que el Hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ ). Su empleo en el tratamiento de esquilmos agrícolas puede ayudar a cubrir las necesidades de calcio, y esto puede ser particularmente beneficioso en el caso de hembras lactantes (12, 20, 38, 39, 43).

Una vez calculada la cantidad de paja, agua y alcali se procede a mezclar el Hidróxido de Calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) con agua.

se extiende la paja y se rocía uniformemente la mezcla con una regadera. El esquimo tiene un elevado porcentaje de paredes celulares, (celulosa, hemicelulosa y lignina), un bajo contenido de proteína, así como pobre digestibilidad. Después del tratamiento alcalino la paja sufre alteraciones físicas, su color cambia de amarillo claro a amarillo cobrizo además se vuelve más quebradiza y no se observa crecimiento de moho (1, 8, 12, 20, 38, 39).

La paja de trigo tratada con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  muestra considerables incrementos en el contenido de cenizas debido a la adición de calcio en el tratamiento (43).

Los incrementos en la desaparición de fracciones de fibra provocados por este tratamiento alcalino, se deben a la hidrólisis de las uniones éster del complejo lignocelulósico incrementando la solubilidad y disponibilidad de la hemicelulosa y celulosa, lo cual provoca que el sustrato sea más disponible para los microorganismos ruminales, mejorando su digestibilidad (1, 34, 35).

Este alcali provoca un decremento en el contenido de la fibra digestible neutra (FDN) y de fibra digestible ácida (FDA) hasta en un 10%. Por otro lado, el contenido de hemicelulosa, celulosa y lignina no sufren cambios significativos. Con el tratamiento con Hidróxido de calcio

(Ca(OH)<sub>2</sub>) el contenido de cenizas de la paja se incrementa hasta en un 59% con respecto a la paja sin tratar (1, 12, 20, 38, 39).

#### Amoniatización. (Método noruego).

NH<sub>3</sub> (Gaseoso) y NH<sub>4</sub>OH (Líquido).

El tratamiento con NH<sub>3</sub> (amoniatización) Además de ser más económico que otros tratamientos incrementa el contenido de nitrógeno total, disminuye el de la fibra e incrementa la digestibilidad de la materia seca y de la fibra, mejorando así el valor nutritivo de los forrajes de mala calidad (1, 2, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 16, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 28, 31, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 42, 43, 44).

En terminos generales, su modo de acción es a través de la ruptura de las paredes celulares por medio de la solubilización de la hemicelulosa, la hidrólisis de esterés del ácido urónico y acético y aumentando la tasa de digestión ruminal de la celulosa y hemicelulosa al sufrir un incremento en sus dimensiones (hinchado) (13, 38, 39).

Este producto a pesar de tener algunas de las desventajas del NaOH, como toxicidad y corrosividad, además de ser de acción lenta, ofrece la gran ventaja que aporta nitrógeno que es un elemento deficiente en los rastrojos y

que se retiene en el forraje tratado en un 26% del aplicado.

De esta manera, se obtiene un producto más completo nutricionalmente, ya que además de aumentar la energía digestible, contribuye a subsanar la deficiencia de nitrógeno. Sin embargo cuando se utilizan pajas tratadas con amoníaco como única fuente de nutrientes no se ha logrado mantener el peso de los animales, pero si disminuyen el ritmo de pérdida de peso y la cantidad de forraje requerido para obtener una misma respuesta animal (35, 38, 39).

La incorporación del nitrógeno está determinada por el tipo de paja, concentración del alcali, humedad de la paja, el tiempo de reacción y de la temperatura ambiente (38, 44).

Experimentos realizados in vivo, han demostrado un efecto benéfico del tratamiento de pajas con 3.5% de  $NH_3$  en la digestibilidad aparente de la M.S. y el consumo voluntario. (35, 38, 43, 44)

Las condiciones en que deben tratarse las pajas y rastrojos con amoníaco (Gaseoso o Líquido) se pueden resumir en el cuadro No. 4 (38, 39, 43).

Otras características de tomarse en cuenta son las del cerrado hermético de la pila de pacas durante el tiempo de reacción por medio de la sábana de plástico de tamaño adecuado, y la aereación de las mismas por dos o tres días antes de ofrecerlas a los animales. Cuanto más pobre sea el

forraje tratado, mayor será el efecto benéfico de la aplicación de amoniaco sobre el valor nutritivo del mismo (38, 39, 43).

Para lograr que el amoniaco anhidro actúe como alcali es preciso solubilizarlo en agua para formar una reacción  $\text{NH}_4\text{OH}$  (Hidróxido de amonio) (Kellaway 1980 citado por Zorrilla, R. J.) En zonas Aridas en donde el nivel de humedad de las pajas y rastrojos a tratar es inferior a los 150 gr de agua/kg de M.S. será necesario agregar agua al forraje para favorecer la solubilización del  $\text{NH}_3$  y por lo tanto su acción (Figura No.8) (35, 38, 43).

Una de las ventajas del uso de  $\text{NH}_4\text{OH}$  (hidróxido de amonio) sobre el  $\text{NaOH}$ , es que con el primero, si hay un exceso se elimina como urea que retorna al suelo, en cambio el  $\text{NaOH}$  incrementa el consumo de agua por parte de los animales para eliminar por via urinaria el exceso de sodio, lo cual puede ser un problema donde el suministro de agua es una limitante ó en épocas de sequia (33, 38, 39).

Para hacer uso de la amonificación se recomiendan los siguientes pasos (Figura No. 9).

- 1.- Las pajas ó rastrojos que se utilicen deben de tener entre 20 y 30% de humedad, si es menor deberán de hidratarse. Los más comunes son:

La paja de trigo, cebada, avena, arroz, rastrojo de maiz y pata de sorgo.

2.- El material que se vaya a tratar puede estar empacado ó hacinado, se logran mayores beneficios cuando el material es picado aunque esto no es necesario.

3.- Se debe de contar con una sábana de polietileno de tamaño apropiado, de tal manera que cubra en su totalidad la pila ó harcina por construir, debiendo quedar un margen de un metro de plástico en la parte inferior para anclar ó sellar la pila por cada uno de sus lados.

Se deberá colocar en la parte superior y al centro de 6 a 8 pacas étras para hacer un techo de cuatro aguas que permita el escurrimiento de las mismas en caso de que llueva.

Es importante ajustar la cantidad de pacas al tamaño del plástico para tener un buen sellado de la pila, además deberá de hacerse en lugares elevados donde no se acumule el agua.

4.- Se deberá anclar ó sellar perfectamente la sábana de polietileno, ya sea con tierra ó con vigas (ó con material propio de la región), por sus cuatro lados para evitar fugas. Es recomendable hacer una zanja de 20 cm de profundidad alrededor de la pila para poder anclar perfectamente la sábana.

5.- El amoniaco-anhidro está almacenado en un tanque de presión (nodriza) que se inyecta a la pila por medio de una manguera que se introduce a la pila (0.50 mts dentro de esta).

6.- Una vez suministrado el  $NH_3$  se procede a retirar la manguera y se sella perfectamente el orificio por donde fue introducida.

La cantidad que se aplica de amoniaco es de 3 a 4% del peso de la paja que se va a tratar, (esto en materia seca).

7.- El tiempo requerido para que se lleve a cabo la reacción de amoniaco con la paja varia de 4 a 8 semanas dependiendo el clima, ya que en climas cálidos la reacción se acelera, sucediendo lo contrario para los climas frios.

8.- Una vez transcurrido el tiempo requerido para llevarse a cabo la reacción de amoniaco sobre la paja, se procede a retirar la sábana, dejando que se ventile por 2 o 3 días para que desaparezca el exceso de amoniaco, antes de ser suministrado a los animales para su consumo.

9.- Durante la amonificación, la paja tratada cambia de un color amarillento a un color café y la estructura del material es ligeramente más blanda.

10.- Con el tratamiento de amoniaco los esquilmos agrícolas aumentan su valor nutritivo incrementando en un

15% su digestibilidad y la proteína de un 100 a 200%, además de que incrementa su consumo voluntario.

11.- Los esquilmos agrícolas tratados deberán de acompañarse de otros ingredientes para que se complemente la dieta ó ración del animal. (6, 7, 12, 16, 18; 28, 37, 38, 39)

El tratamiento de los esquilmos agrícolas con amoniaco anhidro, tiene las siguientes ventajas sobre las pajas naturales.

A.- Aumenta del 100 al 200% la proteína cruda, obteniendo de un rastrojo del 4 al 8% y hasta un 12% de la misma.

B.- La digestibilidad de los esquilmos agrícolas, mejora 15 puntos porcentuales, de 30 a 43% de digestibilidad, la paja tratada tendrá del 45 al 60% de digestibilidad, calculando que se aumenta de 200 a 300 megacalorías extras por tonelada (Cuadro No. 5).

C.- Debido a la gustosidad de la paja tratada, el ganado aumenta el consumo voluntario entre el 30 y el 50% (35, 37, 38, 39, 43, 44).

Han y Callihan. (14) trataron paja de arroz con solución de amoniaco. Se molió la muestra hasta hacerla pasar por una malla del número 20; se embebió con solución de amoniaco al 5.2% a temperatura ambiente durante 30 días;

se drenó y se secó el material al aire. La digestibilidad in vitro aumento de 29.4 a 57%

Sin embargo, otros investigadores han demostrado decrementos en algunas de estas fracciones de fibra. El aumento de nitrógeno de la paja tratada con  $\text{NH}_3$  concuerda con las investigaciones realizadas por Oji y Mowat, (citados por Aguilera, B. A.) quienes al tratar el rastrojo de maíz con  $\text{NH}_3$  a temperatura ambiente observaron que el contenido total de nitrógeno se incrementaba hasta en un 64% (1, 7, 16, 18, 19).

Así mismo, Sundstol et. al. trataron pajas con  $\text{NH}_3$  y encontraron que el contenido de nitrógeno por lo menos se duplica. El incremento de nitrógeno que se observa al amoniatizar un forraje de mala calidad varía de un 28 a 379%. La retención de  $\text{NH}_3$  se debe probablemente a la formación de sales amoniacales solubles, lo que provoca que no se evapore. El Nitrógeno No Proteico que está firmemente asociado con la paja no se pierde significativamente. El tratamiento no deja residuos alcalinos ó de cualquier otra clase que pudiera ocasionar el rechazo por parte del ganado ó causar cualquier tipo de contaminación ambiental (35, 37, 38).

Los resultados disponibles hasta hoy, sugieren el uso del amoniaco anhidro ( $\text{NH}_3$ ) como medio para mejorar el valor

nutritivo de las pajas de cereales, significa una alternativa valiosa para sustituir heno de costo elevado, toda vez que el producto es bien aceptado por el ganado y puede inducirse en las dietas constituyendo en un 50 a 70% del total de la materia seca (1, 6, 35, 38, 39, 43).

De acuerdo a la información generada, los tratamientos mas aconsejables para las pajas son: de 3 a 4% de  $\text{NH}_3$ , 10 a 20% de humedad y 45 días de reacción, así como 3% de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , 35% de humedad y 60 días de reacción respectivamente (38, 43, 44).

Sin embargo, en zonas de escasez de agua y elevada disponibilidad de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  se pueden obtener buenos resultados con 7% de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , 25% de humedad y 60 días de reacción (1, 18, 38, 39).

Las alteraciones en el color y en la consistencia de la paja de trigo tratada con  $\text{NH}_3$  anhidro y  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , presumiblemente son debidas al rompimiento de los enlaces ester que unen los constituyentes de la pared celular, ó a la condensación de azúcares con bases nitrogenadas vía la reacción de Maillard, resultando en un cambio de color, hinchazón e incremento en la flexibilidad de la fibra. La elevada humedad de algunos tratamientos con los dos compuestos alcalinos, no ocasionó problemas de crecimiento

de moho, lo cual es debido a la acción fungicida de estas sustancias (1, 35, 36, 43).

**Desórdenes metabólicos asociados con la amonificación de los esquilmos agrícolas.**

La adición de amoníaco a las dietas de los rumiantes como fuente de nitrógeno fermentable ha sido causa de estudio desde hace tiempo. El gas amoniacal reacciona con los azúcares, aumentando la temperatura provocando aparentemente la formación de compuestos tóxicos como el metilimidazole, el cual produce trastornos nerviosos severos (30).

Hay informes de que el heno amonificado si puede producir la denominada histeria bovina se observa cuando la paja tratada conforma una alta proporción en la dieta (70-80%).

Se puede desarrollar hiperexcitabilidad con los siguientes síntomas: intranquilidad, pestañeo excesivo, dilatación de pupilas y trastorno en la visión, movimientos involuntarios, temblores, pérdida del equilibrio y aumento en la frecuencia de micción y defecación. Además aumenta la tasa respiratoria, una disminución en la frecuencia cardíaca y salivación excesiva, hay sudoración y quejidos lastimeros, el síntoma más aparente y peligroso es el que los animales de repente emprenden en estampida, corren en círculos,

tienden a chocar el uno con el otro y se golpean contra las cercas, muchas veces corren tan rapido que se fracturan las extremidades, puede haber mortalidad. Generalmente los sintomas duran 5 minutos y se repiten a intervalos de 20 a 30 minutos. Los animales afectados aparentan estar normales entre estos ataques y regresan a consumir la paja tratada.

Bajo algunas circunstancias los terneros que consumen leche de vacas alimentadas con heno amonificado pueden morir. Esta observación indica que los efectos tóxicos se transmiten en la leche y no desaparecen en la pasteurización. La transmisión de compuestos tóxicos en la leche procedente de vacas alimentadas con forrajes amonificados sugiere que hay que tener cuidado con el uso de estos alimentos para vacas lactantes (20).

**Tratamientos Químicos Combinados con Tratamientos en vapor.**

Guggolz et al., (13) llevaron a cabo un tratamiento de vapor simultaneo con tratamiento con Hidróxido de sodio (NaOH) sobre varias pajas. Se molio el material hasta pasar por una malla de 1 mm. se sometió a 28 kilogramos por  $cm^2$  de presión de vapor durante 4 minutos de la siguiente manera: Se colocó el material en un recipiente de acero inoxidable con tapa con cuerda y de grosor suficiente para soportar 50 kg por  $cm^2$ . se añadió solución de NaOH al 3%, se cerró

herméticamente y se sumergió en un baño de aceite a 232°C por un tiempo de 4 minutos, se enfrió en un baño de agua; posteriormente el material se puso a secar en un horno al vacío a 60°C. La digestibilidad de la materia seca in vitro aumentó de 35 a 70%.

Klopfestein et al., (citado por Carrillo, M. L. E. (6)) compararon el tratamiento con vapor combinado con el tratamiento con sosa, en forma simultánea y en forma sucesiva sobre olote, sometieron el material a presión de 17.5 kg/cm<sup>2</sup> durante 50 segundos, a una parte se le añadió NaOH al 3%, a la otra se le añadió después el tratamiento. El tratamiento con vapor por sí solo, aumentó la digestibilidad in vitro en un 20%; la adición de sosa no provocó aumento. Se suministró el producto a borregos en crecimiento, en proporción al 79% de su dieta, suplementada con pasta de soya. En comparación del olote sin tratar, suministrado en la misma proporción, la ganancia diaria de peso aumentó de 0.087 kg a 0.165 kg para los tratamientos simultáneos y a 0.215 kg para los tratamientos sucesivos. La conversión alimenticia mejoró de 2.5 a 6.5 y 6.2.

En otro experimento, los mismos autores compararon olote tratado a presión, seguido de tratamiento con Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en concentración de 0.5, 1 y 1.5%, con maíz pelatizado. Encontraron que la digestibilidad in vitro de materia seca

aumentaba en forma lineal conforme aumentaba el nivel de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ . El producto se probó en borregos, formando el 79% de su dieta, suplementada con pasta de soya. Con maiz pelletizado se obtuvo una ganancia de peso de 0.186 kg/día y la conversión fue de 5.7, con olote tratado al 1% de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ , que fue la concentración optima, se logró una ganancia de peso de 0.211 kg/día y la conversión fue de 5.2.

Ololade y Mowat, citados por Sánchez, J. E. (35) estudiaron la influencia del tiempo, la temperatura y la concentración de NaOH sobre la digestibilidad *in vitro* de materia seca de paja de cebada. Se estudiaron concentraciones de 0, 2, 4, 6, 8 y 12% de NaOH a 23°C, durante 0, 1, y 24 hrs y a 60, 80, 100 y 130°C durante 5, 15, 45 y 90 minutos. La digestibilidad varió desde 38% sin NaOH hasta 71% cuando se trató con 12% a 130°C durante 15 minutos. A todas las temperaturas y tiempos de tratamiento, la digestibilidad aumentó linealmente con la concentración de NaOH hasta un nivel de 6%. Arriba de 8% no hubo incremento. A 23°C y 4% de NaOH la digestibilidad fue 49 y 57% para uno y 24 hrs respectivamente. A 10°C y 4% de NaOH, la digestibilidad fue 59 y 65% para 5 y 90 minutos. Con 4% de NaOH durante 90 minutos se obtuvieron digestibilidades de 56, 64 y 65% a 60, 80 y 100°C (35, 38, 39).

### Tratamientos Enzimáticos:

Autrey et al. (3) determinaron la digestibilidad in vivo de la celulosa, en el ensilaje de maiz mezclado con diferentes proporciones de celulasa producida por Trichoderma viride. La enzima se añadió al maiz en 4 porcentajes (con base a materia seca): 0, 0.05, 0.1 y 0.2%. Identicos porcentajes se añadieron a una mezcla de 2 partes de ensilaje de maiz y una parte de estiércol de res. Las mezclas se colocaron en bolsas de plástico, se cerraron herméticamente, se colocaron en el silo a diferentes alturas. Las bolsas se abrieron al cabo de un año y a las mezclas se les determinó la digestibilidad in vivo en vacas fistuladas.

Se obtuvieron diferentes resultados y se muestran en el cuadro No. 6 :

Henderson y McDonald, (4) estudiaron la desaparición de celulosa en los ensilajes de varios tipos de pastos adicionados con celulasa producida por Aspegillus niger. Una mezcla de varios pastos, en su mayor parte constituida por la especie Lolium perenne, con 11.5% de materia seca y 25% de celulosa (en base seca), se cortó en septiembre de 1974, se sometió a secado hasta alcanzar un 25% de materia seca y se ensiló en tubos de ensaye (100 ml de capacidad), con válvulas Bunsen. Antes de ensilarlo se le añadió la enzima.

fabricada por Sigma Chemical Co. en proporción de 4 gr por kg de pasto fresco. Los silos se mantuvieron en un rango de 22 a 26°C, y se abrieron al cabo de 133 días para analizar el contenido. Se encontró que la desaparición de celulosa fue del 24.9%. Se hizo el mismo tratamiento sobre pasto sin someterlo al secado y se obtuvo una desaparición de celulosa del 36.1%.

Autrey et al (3), estudiaron el efecto del pretratamiento con NaOH al 2%, seguido con un lavado con agua, sobre el ensilaje de heno de pasto Bermuda adicionado con enzima producida por la viridige. El material se remojó durante 24 hrs en la solución alcalina, luego se acidificó con ácido acético hasta un pH de 5.2 se lavó y se drenó, luego se añadió la enzima en 2 diferentes proporciones: 0.72 y 1.44%. Se ensiló durante 5 días. Se obtuvieron digestibilidades de celulosa in vivo de 60.7 y 61% respectivamente. Sin el pretratamiento alcalino se obtienen digestibilidades de 39 y 32% y prescindiendo solamente del lavado se obtiene 58.7% para 0.72% de enzima.

Henderson y McDonald, (15) evaluaron el efecto de pretratamientos con diversas sustancias químicas, sobre los resultados de ensilaje de pasto adicionado con enzima. Probaron: Ácido fórmico, Formalina, Ácido caproico, Metabisulfito de sodio y Bacitracina. La mayor desaparición

de celulosa se obtuvo con el pretratamiento con ácido fórmico, en proporción de 5.4 gr por kg de pasto fresco. Se ensiló el pasto durante 133 días. Se logró una desaparición de celulosa de 41.9%. Se usó una concentración de enzima de 4 gr por kg de pasto fresco.

Los mismos autores compararon el efecto de cambiar la concentración de enzima. El material, con 15.3% de materia seca y 27.9% de celulosa (en base seca), se trató con ácido fórmico (5 gr por kg de pasto fresco), antes de la aplicación de 1 gr y 4 gr de enzima.

Se obtuvieron disminuciones de celulosa, en el ensilaje de 61 días de 28 y 36% para 1 y 4 gr de enzima, respectivamente (15, 29).

#### Tratamiento Microbiológico.

El tratamiento microbiológico ha sido propuesto por Neri y Gavilan (27). Consiste básicamente en la predigestión del rastrojo de maíz por medio de las bacterias del contenido ruminal. Rastrojo molido, bacterias ruminales y solución buffer de fosfatos mezclados en proporciones de 40, 52.2, y 7.8% respectivamente y ensiladas por 45 días producen una predigestión del rastrojo de maíz de la mezcla de 40%. Obteniéndose una digestibilidad *in vitro* de 59.67 +- 6.7 para el rastrojo predigerido y de 61.27 +- 5.1 para el nativo. (27, 28, 29)

**RESUMEN:**

México con una producción de esquilmos agrícolas, estimada en 56 millones de toneladas y con una gran producción de derivados del petróleo, está en posibilidades y obligado sobre todo a utilizar estos recursos, dirigidos a mejorar la productividad pecuaria en el país, con éxito y a costos sumamente accesibles.

En los sistemas de alimentación animal, la incorporación de pajas y esquilmos agrícolas químicamente tratadas, pueden tener gran relevancia en el futuro.

Diferentes técnicas han sido empleadas con éxito tendientes a mejorar el valor nutricional de subproductos agrícolas mejorando la digestibilidad y proporcionando una fuente nitrogenada adicional.

Los aumentos promedio de digestibilidad son variables según el método que se le aplique a la paja. con el Método Beckmann se obtiene un incremento de 21 puntos porcentuales, usando 6% de NaOH. Por el Método Beckmann modificado utilizando 4% de NaOH, aumentamos 25 puntos porcentuales en la digestibilidad. El Método por Vía Seca con el 5% de NaOH, 16 puntos porcentuales. Por el Método Boliden aplicando 4.5% de NaOH y 4.5% de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  se obtienen 11 puntos porcentuales de incremento. Y por el Método Noruego dosificando al 3.5% de  $\text{NH}_3$  se logran 15 puntos porcentuales.

#### ANALISIS DE LA INFORMACION:

Por lo anteriormente expuesto, y de acuerdo a la literatura consultada que consta de entre los años 1963 a 1991, estas son las técnicas que han llevado a cabo para un mejor aprovechamiento de los esquilmos agrícolas, se puede llegar a concluir sobre algunos aspectos acerca de su utilización para la alimentación de rumiantes:

1.- Los esquilmos son forrajes, pajas, rastrojos, cascarrillas o sobrantes de la producción agrícola, destinados a la alimentación animal, pero que requieren de procesamientos para un mejor aprovechamiento.

2.- En virtud de que la producción agrícola en primer término se destina al consumo humano y esta produce una gran cantidad de esquilmos, se deriva la necesidad de utilizar estos para consumo animal.

3.- Los forrajes, pajas, rastrojos y cascarrillas o sobrantes agrícolas, por sí solos resultan insuficientes para una adecuada alimentación animal, por lo que es necesario mejorar sus propiedades nutricionales.

4.- Su potencial de producción es limitado, aunque puede llegar a ser definitivo en casos de sobrevivencia durante periodos prolongados de sequía en las que el recurso forrajero del pastizal nativo ha sido agotado. En estas

condiciones puede reducir las pérdidas de peso y condición corporal del ganado.

5.- Para el mejoramiento de los esquilmos agrícolas existen diversos tratamientos como son: Químicos, Físicos y biológicos.

6.- Los esquilmos agrícolas son utilizados fundamentalmente como alimento de rumiantes, que a su vez constituyen una fuente de proteína animal para consumo humano, por lo cual es conveniente mejorar la alimentación de los animales para una mejor producción, por ser uno de los productos que forman parte importante de la dieta alimenticia humana.

7.- Acorde a las zonas geográficas del país las técnicas de mejoramiento de los esquilmos agrícolas no son recomendables en todas ellas, por ejemplo: En las zonas áridas no es recomendable el tratamiento con Hidroxido de sodio por los efectos que produce como son, sed ó incremento en el consumo de agua.

8.- El tratamiento con Amoniaco-anhidro ( $\text{NH}_3$ ), resulta ser de los más prácticos y económicos por no requerir más que de una sábana plástica de polietileno para su aplicación.

9.- El tratamiento de amoniaco-anhidro reporta mayores ventajas en cuanto al aprovechamiento y rendimiento de los

esquilmos agrícolas, por cuanto a la gran aceptación de los animales para su consumo y por los rendimientos que produce al repercutir en un mejor peso y consecuentemente en una mayor producción de carne y leche.

10.- Es recomendable que se desarrolle una política de promoción y concientización en la utilización de estos tratamientos para mejorar la producción de carne, leche y derivados animales que resuelven el problema alimenticio humano.

## I. LITERATURA CITADA.

- 1.-Aguilera, E. A., Jurado, A. J., Juarez, S. M. E., Perez, G. R. F. y Alcántara, S. E.: Condiciones optimas para incrementar la digestibilidad de la paja de trigo en ovinos mediante tratamientos con amoniaco anhidro e hidroxido de calcio. Vet-Mex.:XXI (1):9-15 (1990)
- 2.-Arriola, I. L., Shimada, S. A., y Martínez, R. L.: Características composicionales de ensilajes de planta de maiz, completa y sin mazorca, sin y con NaOH, de cinco edades al corte. Rec. Fed. Ag.:44:53-56 (1987).
- 3.-Autrey, K. P., de Castej, T. H. and Little, J. A.: Cellulose digestibility of fibrous material treated with Trichocere viride cellulase. J. Dairy Sci. 58:67-71 (1975).
- 4.-Calhoun, M. C., Shelton, M. and Linderman, W. W.: Alkali supplementation of lambs diets.. J. Anim. Sci. 39:234-235 (1974).
- 5.-Cameron, M. G., Cameron, M. R., Fahey, G. C., Clark, J. H., Berger, L. L. and Merchen, W. R.: Effects of treating oat hulls with alkaline hydrogen peroxide on intake and digestion by midlactation dairy cows. J. Dairy Sci 74:177-189 (1991).

- 6.-Carrillo, M. L. E.: Tratamiento de pajas con amoníaco anhidro para la alimentación de ganado. INSITUTO Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Mexico 1988.
- 7.-Carrillo, M. L. E.-Tratamiento de pajas con amoníaco anhidro para alimento de ganado. COORD. DEL PROGRAMA DE FORRAJES ZONA NORTE DEL INIA., 1980.
- 8.-Chandra, S. and Jackson, M. G.: A study of various chemical treatments to remove lignin from coarse roughages and increase their digestibility., J. Agric. Sci., 77:11-17 (1971).
- 9.-Feret, W.D., Baker, H.W. and Tarrow, H.: Alkali requirements for improving digestibility of hard woods by rumen microorganisms. J. Anim. Sci., 30:832-835 (1970).
- 10.-Fernández, C. J. and Greenhalgh, J. F. D.: The digestibility and acceptability to sheep of chopped or milled barley straw soaked or sprayed with alkali. J. Agric. Sci., Camb., 78:477-485 (1972).
- 11.-Flores, M. J. A.: Bromatología Animal. 3a. ed Limusa Mexico 1983.
- 12.-Gamboa, M. J. R., Moreno, G. A.: Primer simposium sobre esquimos agrícolas para consumo animal. C.A.E.R.I.B. S.A.R.H. F.I.R.A. (Banco de Mexico S.A.). M 1-13 1981.

- 13.-Guggolz, J., Kolher, G.D., and Klopfenstein, T.J.:  
Composition and improvement of grass straw for ruminant  
nutrition. J. Anim. Sci. 53:151-156 (1971).
- 14.-Han, Y. W. and Callihan, C. D.: Cellulose fermentation  
effect of substrate pretreatment on microbial growth.  
Applied Microbiology 33:159-163 (1974).
- 15.-Henderson, A. R. and McDonald, P.: The effect of  
cellulase preparations on the chemical changes during  
the ensilage of grass in laboratory silos. J. Sci. Fg.  
Agr. 28:486-491 (1977).
- 16.-Herrera, F. y Balderas, L. S.: Efecto del rastrojo de  
sorgo tratado con amoníaco anhídrido en la engorda de  
toros. I Symposium sobre aprovechamiento de esquilmos  
agrícolas y subproductos agroindustriales. Instituto  
Nacional de Investigaciones Agrícolas-S.A.R.H. pp: 1-10  
1982.
- 17.-Hughes, H.D. Heath, M.E. and Metcalfe, D.S.: Forrajes  
ed. Continental Mexico 1976.
- 18.-Instituto Nacional de Investigaciones Pecuarias:  
Recomendaciones prácticas para el uso de pajas y  
rastrojos en la alimentación de rumiantes. Programa  
PLANAT-SARH 1989.

- 19.-Kung, L., Craig, W. M. and Satter, L. D.: Ammonia-treated alfalfa silage for lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 72:2565-2572. (1989).
- 20.-Levy, Z. Holzer, H. N. and Folman, Y.: Chemical processing of wheat and cotton by-products for fattening cattle. Anim. Prod 25:27-37 (1977).
- 21.-Llamas, L. G., Cañes, C. M., Gomez, A. M., Diaz, N. T. y Romero, G. H.: Uso de caja de trigo tratada con amoníaco en la alimentación de novillos en crecimiento en corral de engorda. Iec. Pec. 48:43-50 de: (1985).
- 22.-Llamas, L. G., Iracema, S. M. y Gomez, A. M.: Respuesta de esquimos de cereales y leguminosas, y de subproductos del algodón al tratamiento alcalino con amonio ( $NH_3$ ) o hidroxido de sodio (NaOH). Iec. 51:68-74 Mexico (1986).
- 23.-Martin, P. C., Cabello, A y Elias, A.: Efecto de la combinación de NaOH-Presión sobre la digestibilidad y la composición química del bagazo y bagacillo. Rev. Cubana Cienc. Agric. 8:23-31 (1974).
- 24.-Martin, P. C., Cabello, A., y Elias, A.: Utilización de subproductos fibrosos de la caña de azúcar por los rumiantes. Rev. Cubana Cienc. Agric. 11:165-171 (1977).

- 25.-Martín, P.C., Cribeiro, T.C., Cabello, A. y Elias, A.: Efecto del NaOH y la presión sobre la digestibilidad de la materia seca del bagazo y bagacillo de caña. Rev. Cubana Cienc. Agric. 8:23-31 (1974).
- 26.-Neese, N., Wallick, J., Harper, J. M.: Pretreatment of cellulosic wastes to increase enzyme reactivity. Biotech. and Bioeng. 1:323-330 (1977)
- 27.-Perez, G. P., Neri, T. J. and Unzueta, M. J.: Utilization of the ruminal bacteria for the predigestion of corn stube. Instituto de Investigaciones Biomedicas Mexico (1989).
- 28.-Perez, G.: Tratamiento de esquilmos agrícolas para la alimentación de rumiantes. Instituto de Investigaciones biomedicas. U.N.H.M., Mexico. 1989.
- 29.-Petterson, G. and Forath, J.: A cellulolytic enzyme from Penicillium notatum. Methods enzymology Vol B:603-607 (1966)
- 30.-Preston, T.R and Leng, R.A.: Adecuando los sistemas de producción pecuaria a los recursos disponibles. Consultorias para el desarrollo rural integrado en el tropico (CONDRAFIT) Ltda. Cali, Colombia. (1990)

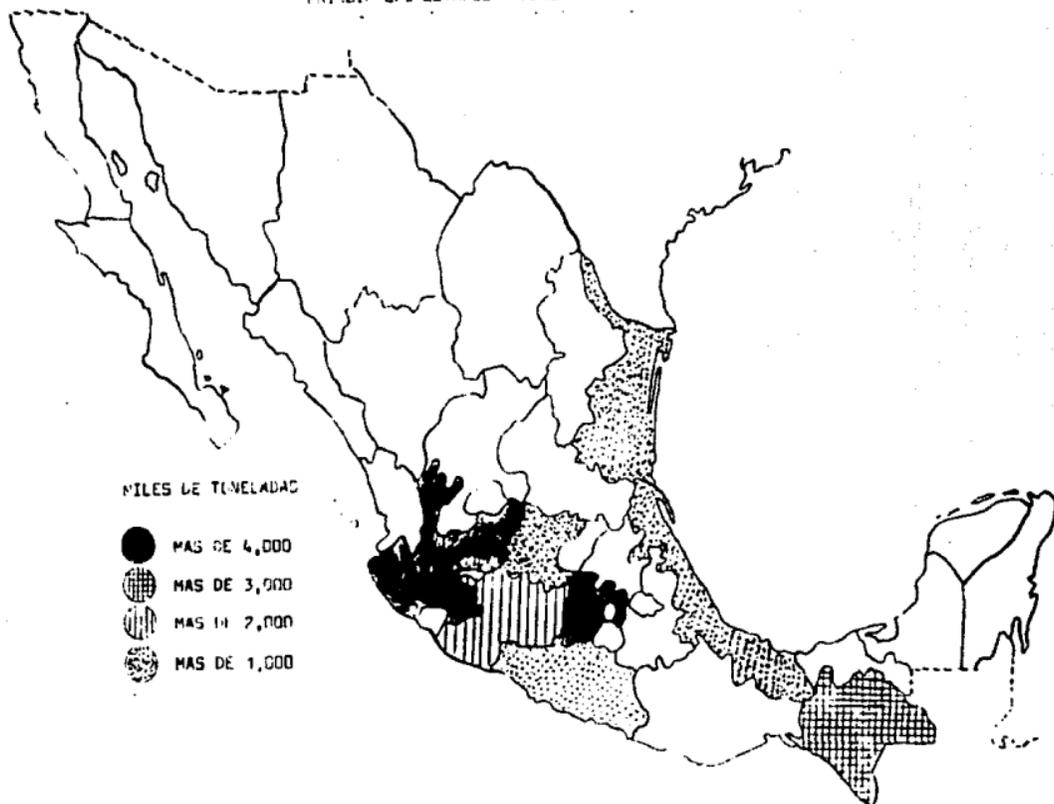
- 31.-Randel, P. F., Ramirez, A., Carrero, R. and Valencia, I.: Alkali treated and Raw Sugarcane Bagasse Roughages in Complete Rations For Lactating Cows. J. Dairy Sci. 55:1492-1495 (1972).
- 32.-Ray, M.P.: La planta viviente. Ed. CECSA, Mexico, D.F.1985.
- 33.-Rodriguez, G. F., Zorrilla, R. J., Muñoz, N. C. y Arellano, M. L.: Efectos de tratamiento con hidróxido de amonio y urea, humedad y tiempo en la composición de la paja de frijol. Tec. Pec. 49:42-46 Mex (1985).
- 34.-Rojas, F. R., Shimada, A. S. y Peraza, C.: Alimentación de becerros con rastrojo de maiz tratado con alcali. REV VET. 6:92-95 (1975).
- 35.-Sanchez, J. E.: Cambios en la composición química y digestibilidad de forrajes de baja calidad nutritiva, mediante el uso de diversos compuestos químicos. Instituto Nacional de Investigaciones Pecuarias, S.A.G. México 1971.

- 36.-Saxena, S.K. Otterby, D.E. Donker J.D. and Good A.L.: Effects of feeding alkali treated oat straw supplemented with soybean meal or non protein nitrogen on growth of lambs and on certain blood and rumen liquor parameters. J. Anim Sci. 33:485-490 (1971).
- 37.-S.A.R.H.: La plasticultura para el fomento de la ganaderia. convenio PEMEX-SARH Dirección General de Normatividad Pecuaría. Dirección de Alimentación Animal y Recursos Forrajeros. Programa 1988.
- 38.-S.A.R.H.: Programa de tratamiento de esquilmos agrícolas con amoniaco anhidro. Dirección general de fomento y protección pecuaría. Dirección de alimentación animal y recursos forrajeros. 1989-1990.
- 39.-S.A.R.H.: Uso de plasticos en la ganaderia, tratamiento de esquilmos agrícolas. Subsecretaria de Desarrollo y Fomento Agropecuario y Forestal. Dirección de Alimentación Animal y Recursos Forrajeros. 1989.
- 40.-Tassinary, T., Macy, Ch.: Differential speed two roll mill pretreatment of cellulosic materials for enzymatic hydrolysis. Biotech and bioeng. 19:1321-1327 (1977).
- 41.- Van Soest, P. J.: Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. II. A rapid method for the determination of fiber and lignin. J. Ass. Official Agr. Chem. 46:829 (1963).

- 42.-Voyles, N. and Ward, J.: Ammonia treated cornstalks for lactating beef cows. Beef Cattle Report 48-50 (1984).
- 43.-Zorrilla, R. J.: Avances en la nutrición y manejo de bovinos de carne en confinamiento. Valor nutritivo de pajas y rastrojos para rumiantes. Toluca, Méx. 1981.
- 44.-Zorrilla, R. J., Horn, G. W. and McNew, R.W. Effect of Ammoniation and energy supplementation on the utilization of wheat straw by sheep. Anim. Feed Sci and Technology, 22:305-329 (1989).

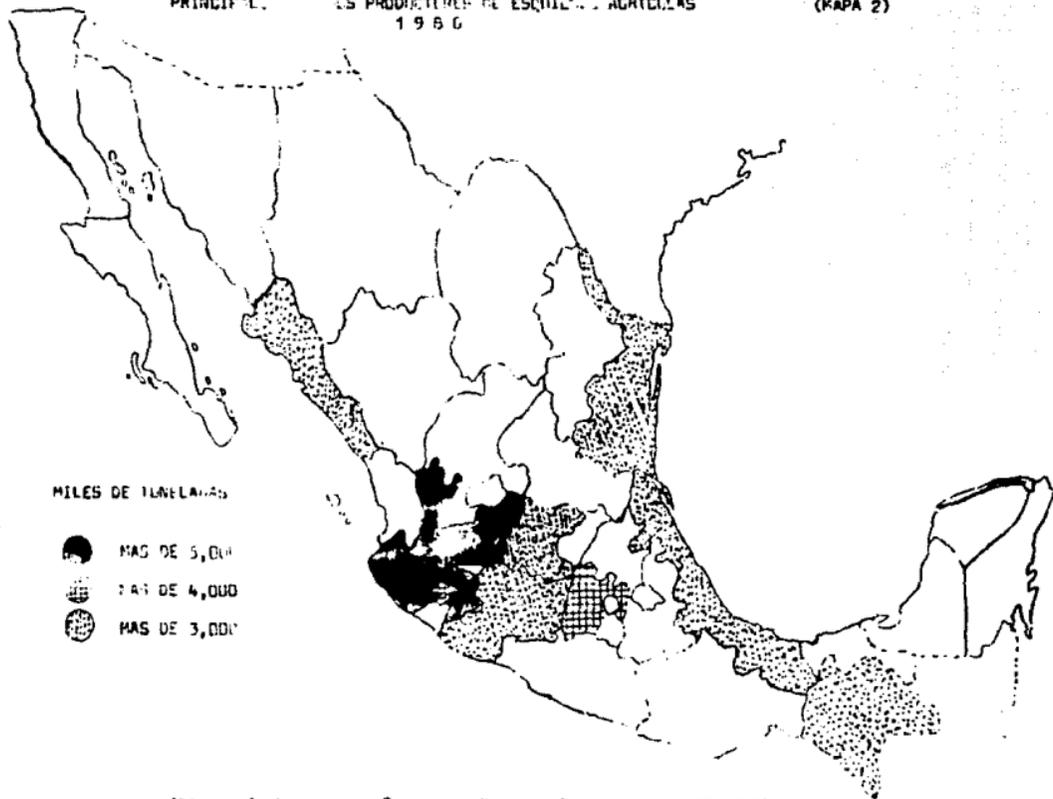
PRINCIPALES ESTADOS PRODUCTORES DE CEREAL DE MAIZ

(MAPA 1)



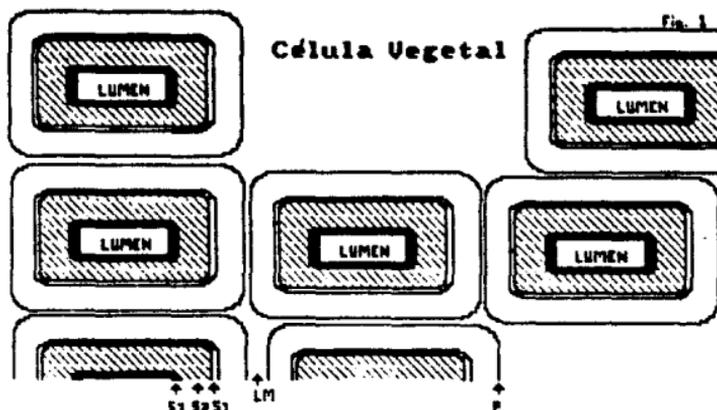
PRINCIPALES PRODUCTORES DE ESQUILAS AGRICOLAS  
1966

(MAPA 2)



(Dirección General de Fomento y Protección Pecuaria 1969-1970)

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA



Parad celular típica de tejido vegetal con lamilla media (LM); pared primaria (p) y pared secundaria constituida por capa exterior (S1), capa central (S2) u capa interior (S3).  
May 1985

Fig. 2 PROTEÍNA Y ENERGÍA METABOLIZABLE EN ALIMENTOS

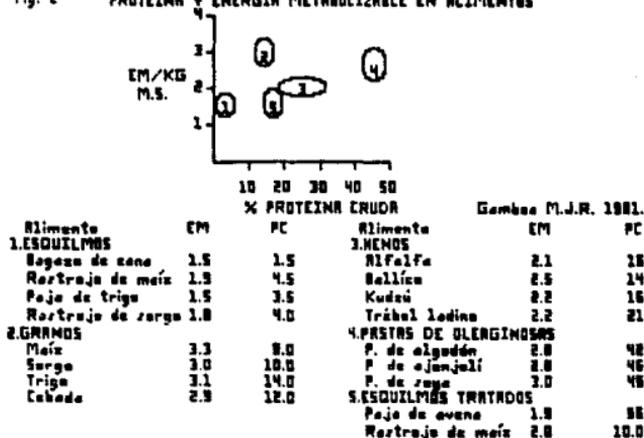
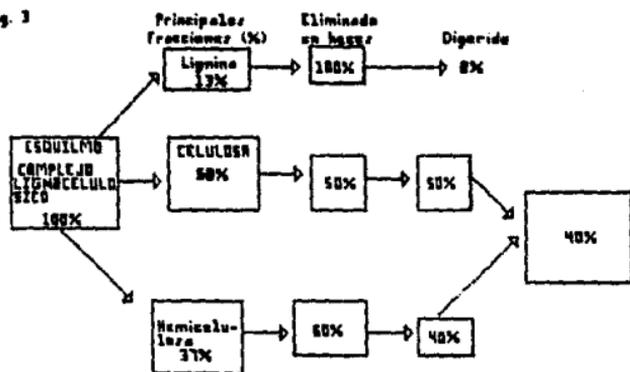


Fig. 3



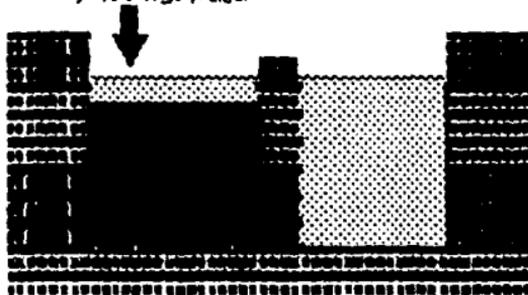
Utilización por el animal del complejo lignocelulósico de los arzuquiles agrícolas. D.G.F.P.P. S.R.M.H. 1988-1990.

Fig. 4 a

METODO RECKMANN.

1000 Lts. agua  
y 100 Kg. paja

PRSD No. 1



1.5% NaOH  
REPOS 10 A 20 MMS.

Fig. 4 b

AGUA FRESCA 100 LT.

METODO BECKMANN.

PASO No. 2

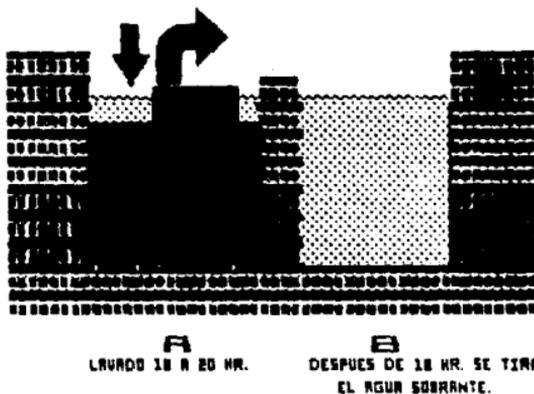
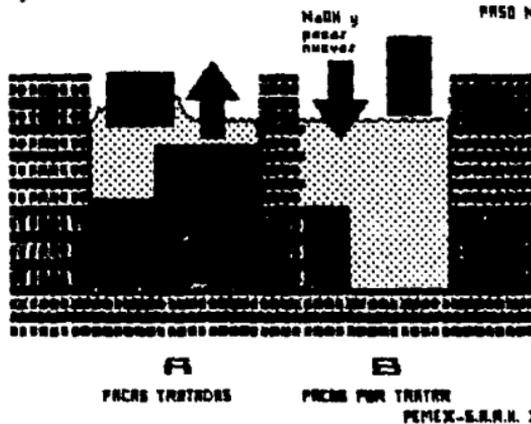


Fig. 4 c

METODO BECKMANN.

PASO No. 3



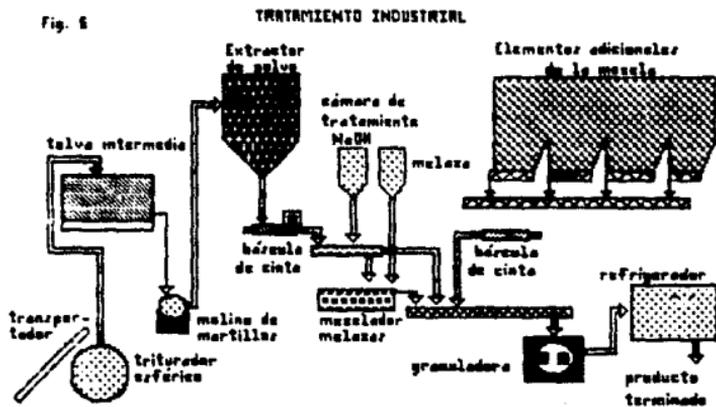
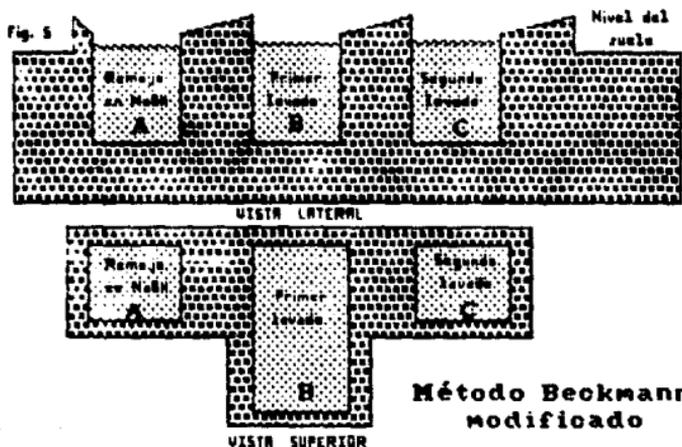


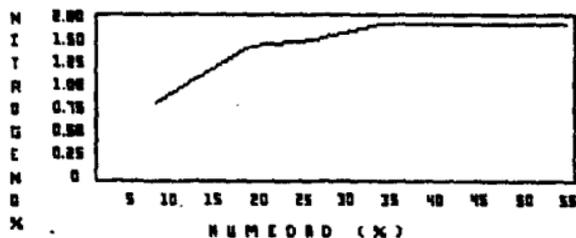
Diagrama de las aparatos de tratamiento de la paja según el tratamiento Industrial. S.R.N. 1988

Fig. 1



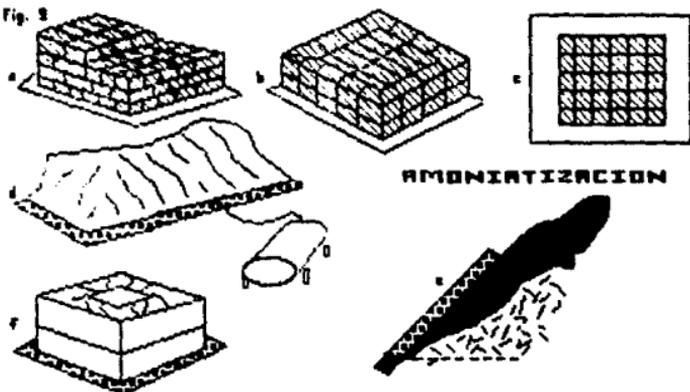
Cámara de tratamiento según el método Boliden S.A.R.N. 1988

Fig. 2 % de humedad en la amoniatización



Efecto del nivel de humedad en el contenido total de nitrógeno de paja de trigo amoniada.

Fig. 2



a) Construcción de la arcina b) Arcina terminada c) Vista superior de la arcina  
d) Tendido de la sábana e) Anclaje de la sábana f) Arcina tratada E.A.M.H. 1988.

Cuadro No. 1

Composición nutritiva y digestibilidad *in vitro* de la materia seca de 8 arquilmas agrícolas.

Arquilma	MS	MG	PC	DIUMS	FDN	FOR	NEMSI	LIG	CELU
	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Paja de trigo	84.7	87.7	5.6	80.9	76.3	68.0	26.3	7.8	38.8
Restrojo maíz	91.8	90.7	5.5	83.0	73.4	43.0	30.4	6.7	31.2
Pato zargo	93.2	85.7	4.3	43.8	72.4	50.6	21.7	7.4	37.9
Paja chícharo	91.3	88.0	6.2	65.9	83.4	83.4	10.0	14.8	36.9
Paja garbanzo	91.8	92.1	3.7	90.5	87.5	84.1	13.4	15.3	38.9
Paja frijón	92.7	91.7	6.0	86.3	86.6	85.6	11.0	14.8	39.5
Paja zaya	88.3	94.3	4.3	39.0	78.3	84.9	13.4	16.4	46.0
Corillo alga.	90.5	82.2	8.3	39.1	78.0	62.8	7.2	22.2	27.1
Coza algodón	93.9	92.8	6.2	27.3	87.2	72.5	14.7	22.7	46.0

S.A.R.N. 1988 CIPES 1982

Cuadro No. 2

Efectos de la cantidad de NaOH utilizada sobre la digestibilidad de la paja tratada con el método Burkman.

DIGESTIBILIDAD DE LA MATERIA ORGANICA	
%	
Paja sin tratar	46
Paja tratada (2 kg NaOH/100 kg)	46
(4 kg NaOH/100 kg)	50
(6 kg NaOH/100 kg)	51
(8 kg NaOH/100 kg)	55
(10 kg NaOH/100 kg)	59
(12 kg NaOH/100 kg)	71

Citado por Jackson, 1978.  
S.A.R.N. 1982.

Cuadro No. 3

Efectos sobre la producción de leche en vacas alimentadas con heno tratado con el 2% MoS<sub>2</sub>.

CONCEPTO	VACAS CON HENO TRATADO	VACAS SIN TRATAMIENTO
PRODUCCION DIARIA (LT)	17.2	16.5
GRASA DE LECHE (%)	3.13	3.68
SOLIDOS DE LECHE (%)	11.78	12.39

Randal et al, 1978

Cuadro No. 4

## CONDICIONES OPTIMAS PARA LA AMONIAZACION

DBSIS	30-40 g NH <sub>4</sub> N/kg. de PLS.
TEMPERATURA DE REACCION	28 - 40°
TIEMPO DE EXPOSICION	4 - 6 SEMANAS
HUMEDAD DEL FARRAJE	30 - 40 %

(Zorrillo, R. J. 1981)

Cuadro No. 5

INCREMENTOS DEL EQUIVALENTE DE PROTEINA CRUDA Y DE LA DIGESTIBILIDAD POR  
EFECTO DEL TRATAMIENTO CON H<sub>2</sub>O EN PAJA DE CEREALES

PAJA	PROTEINA CRUDA		DIGESTIBILIDAD IN VITRO %	
	SIN TRATAR	TRATADA	SIN TRATAR	TRATADA
Trigo	3.3	11.5	37.1	48.4
Cebada	3.5	9.5	38.8	46.6
Avena	3.7	8.7	42.3	46.1

(Kernan et al, 1977 citado por Carrillo, E. 1983)

Cuadro No. 6

DIGESTIBILIDAD DE LA CELULOSA PRODUCIDA POR TRIEDDERMA VIRIDE

ENSILAJE DE PASTO		ENSILAJE DE PASTO : ESTIERCOL	
% DE ENZIMA	DIGESTIBILIDAD	% DE ENZIMA	DIGESTIBILIDAD
0	49	0	45
0.05	48	0.05	51
0.10	46	0.10	43
0.20	45	0.20	44

(PEREZ E. 1984)