

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

FACULTAD DE AGRONOMIA



DIGESTIBILIDAD In Situ E In Vitro DE RASTROJO DE SORGO
TRATADO CON NaOH

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO AGRONOMO ZOOTECNISTA

P R E S E N T A

RAUL CORONADO HERNANDEZ

GUADALAJARA, JAL.

1991



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
FACULTAD DE AGRONOMIA

SECCION ESCOLARIDAD

EXPEDIENTE _____

NUMERO 0569/91

C. PROFESORES:

M.V.Z. DAVID LICEAGA RIVERA, DIRECTOR

M.C. TOMAS LASSO GOMEZ, ASESOR

DR. HUGO MORENO GARCIA, ASESOR

Con toda atención me permito hacer de su conocimiento, que habiendo sido aprobado el Tema de Tesis:

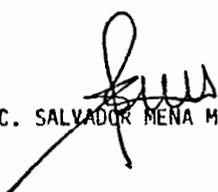
DIGESTIBILIDAD In Situ E In Vitro DE RASTROJO DE SORGO TRATADO CON NaOH

presentado por el (los) PASANTE (ES) RAUL CORONADO HERNANDEZ

han sido ustedes designados Director y Asesores, respectivamente, para el desarrollo de la misma.

Ruego a ustedes se sirvan hacer del conocimiento de esta Dirección su Dictamen en la revisión de la mencionada Tesis. Entre tanto, me es grato reiterarles las seguridades de mi atenta y distinguida consideración.

A T E N T A M E N T E
"PIENSA Y TRABAJA"
"AÑO LIC. JOSE GUADALUPE ZUNO HERNANDEZ"
EL SECRETARIO


ING. M.C. SALVADOR NENA MUNGUÍA

mam



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
FACULTAD DE AGRONOMIA

Sección .. ESCOLARIDAD ..

Expediente

Número0569/91.....

10 de septiembre de 1991

ING. JOSE ANTONIO SANDOVAL MADRIGAL
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA
DE LA UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
PRESENTE

Habiendo sido revisada la Tesis del (los) Pasante (es)

RAUL CORONADO HERNANDEZ

titulada:

DIGESTIBILIDAD In Situ E In Vitro DE RASTROJO DE SORGO TRATADO
CON NaOH

Damos nuestra Aprobación para la Impresión de la misma.

DIRECTOR

M.V.Z. DAVID LICEAGA RIVERA

ASESOR

ASESOR

M.C. TOMAS LASSO GOMEZ
DR. HUGO MORENO GARCIA

srd'

mam

Al contestar este oficio citese fecha y número

BIBLIOTECA ESCUELA DE AGRICULTURA

DEDICATORIAS

A DIOS:

Por haberme dado la capacidad de poder terminar esta carrera la cual espero desarrollar lo mejor posible.

A MI PADRE:

Ing Raúl Coronado Soto

Con todo cariño y respeto por haber respetado mi voluntad, por darme todo su apoyo en el desarrollo de mi vida estudiantil y enseñarme el camino del bien através de todos los días de mi existencia con su ejemplo.

A MI MADRE:

Ma. Concepción Hernández G. de Coronado

Por su buen ejemplo y su gran apoyo incondicional para mi realización personal.

A MIS HERMANOS:

Ely

Arturo

Monica

AGRACEDIMIENTOS

A LA UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

A MI DIRECTOR DE TESIS:

M.V.Z. David Liceaga Rivera

A MIS ASESORES:

M.C. Tomas Lasso Gómez

Dr. Hugo Moreno Garcia

Al M.C. Jorge Garcia Rendon

Gerente de Investigación de Anderson Clayton

A todos los Maestros de la Facultad de Agronomía por su valiosos conocimientos que me transmitieron

A todos mis compañeros y amigos por su gran apoyo y cariño.

BIBLIOTECA ESCUELA DE AGRICULTURA

INDICE GENERAL

| | Página |
|---|--------|
| 1. RESUMEN | 1 |
| 2. INTRODUCCION | 2 |
| 3. REVISION DE LITERATURA | 3 |
| 3.1 Uso de esquilmos en la Alimentación Animal | 3 |
| 3.1.1 Potencial | 5 |
| 3.2 Fisiología Digestiva | 8 |
| 3.3 Técnicas para el mejoramiento de esquilmos vegetales | 7 |
| 3.4 Efecto | 16 |
| 3.4.1 Ventajas del uso de NaOH | 18 |
| 3.4.2 Desventajas del uso de NaOH | 20 |
| 3.5 Técnicas para la aplicación de álcalis | 21 |
| 3.6 Técnica de Digestibilidad <i>In Situ</i> | 24 |
| 3.7 Técnica de Digestibilidad <i>In Vitro</i> | 25 |
| 4. OBJETIVOS E HIPOTESIS | 28 |
| 5. MATERIALES Y METODOS | 29 |
| 5.1 Localización | 29 |
| 5.2 Desarrollo del experimento | 29 |
| 5.2.1 Instalaciones | 29 |
| 5.2.2 Manejo | 30 |
| 5.3 Metodología experimental | 31 |
| 5.4 Diseño experimental | 32 |

| | |
|------------------------------------|----|
| 6. RESULTADOS | 33 |
| 6.1 Digestibilidad <i>In Situ</i> | 33 |
| 6.2 Digestibilidad <i>In Vitro</i> | 39 |
| 7. DISCUSIONES | 43 |
| 8. CONCLUSIONES | 45 |
| 9. LITERATURA CITADA | 46 |

INDICE DE CUADROS

| | Página |
|--|--------|
| Cuadro 1: Digestibilidad <i>In Vitro</i> de la materia orgánica (DMO) de distintos cereales. | 4 |
| Cuadro 2: Producción Nacional de Esquilmos Agrícolas (1976) | 6 |
| Cuadro 3: El destino de los esquilmos agrícolas nacionales se estima de la siguiente forma: | 7 |
| Cuadro 4: % de Digestibilidad de diferentes esquilmos agrícola según varios autores | 7 |
| Cuadro 5: Digestibilidad de la paja no tratada y tratada con el método de inmersión de la paca en una solución de NaOH al 4%/M.S. | 12 |
| Cuadro 6: Comparación de insumos y costos para el tratamiento de la paja con NaOH y NH ₃ | 14 |
| Cuadro 7: Efecto del tratamiento con vapor a diferentes temperaturas y tiempos sobre la tasa de degradabilidad de la materia seca. | 16 |

| | |
|--|----|
| Cuadro 8: Efectos de la molienda y del tratamiento alcalino de la paja de cebada sobre la digestibilidad y la ingestión por las ovejas | 19 |
| Cuadro 9: Análisis garantizado del alimento comercial | 30 |
| Cuadro 10: Resumen de los porcentajes de Digestibilidad de las muestras agrupadas por unidad de tiempo. | 33 |
| Cuadro 11: Análisis de Varianza | 34 |
| Cuadro 12: Digestibilidad <i>In Situ</i> con su respectiva literal según prueba Tukey. | 35 |
| Cuadro 13: Resultados de digestibilidad <i>In vitro</i> y del contenido de NaOH a 24 hrs de incubación | 39 |

INDICE DE GRAFICAS

Página

- Gráfica 1: Efecto típico de tratamiento de hidróxido de sodio en la digestión de materia orgánica *In Vitro*. 17
- Gráfica 2: Digestibilidad *In Situ* de forraje tratado con NaOH. 36
- Gráfica 3: % de digestibilidad *In Situ* a diferentes tiempos de exposición 38
- Gráfica 4: Digestibilidad *In Vitro* con su correspondiente % de NaOH. 41
- Gráfica 5: D.M.O. *In Vitro* vs. % NaOH 42

BIBLIOTECA ESCUELA DE AGRICULTURA

1. RESUMEN

Se realizó un trabajo sobre la digestibilidad *In Situ* e *In Vitro* de rastrojo de sorgo tratado a razón de 4.32% NaOH / 100 kg M.S. y se le tomaron muestras las cuales se corrieron las digestibilidades simple aparente antes mencionadas.

Para la técnica *In Situ* se utilizaron borregos machos enteros de la raza pelibuey, utilizandose la técnica de la bolsa de nylon a diferentes tiempos de exposición, obteniendose a las 12, 24, 36, 48 y 72 horas respectivamente los siguientes promedios de digestibilidad simple aparente 43.40, 51.30, 61.02, 63.93 y 63.86. Resultando que entre los tiempos 12, 24 y 36 existe una diferencia altamente significativa ($P < 0.01$) entre si, pero los tiempos 36, 48 y 72 son iguales estadísticamente, obteniendose una regresión lineal positiva la cual tiene la siguiente ecuación:

$$Y = 0.3568 X + 32.49$$

Para la digestibilidad *In Vitro* se utilizó el método enzimático a 24 horas y se encontró una digestibilidad promedio de 66.88% el cual es un poco superior al encontrado *In Situ*, obteniendose una regresión lineal positiva la cual tiene la siguiente ecuación:

$$Y = 1.991 X + 58.29$$

1 INTRODUCCION

El incrementante uso de los granos para alimentar a la creciente población mundial y a los animales monogástricos, el crecimiento de los centros de población y las zonas productivas que se han transformado improductivas por el fenómeno llamado erosión han reducido la cantidad de granos que podemos destinar al consumo de los rumiantes, los cuales por su anatomía y fisiología tienen la capacidad para poder utilizar los alimentos altamente fibrosos como el rastrojo de sorgo.

La superficie mundial cultivable a seguido creciendo invadiendo zonas marginales áridas y semiáridas donde el cultivo del sorgo se encuentra entre los más apropiados para desarrollarse en esas condiciones, obteniendose de este cultivo como principal objetivo la producción del grano, pero también queda una gran cantidad de rastrojo que puede ser utilizado para la alimentación de rumiantes.

El rastrojo de sorgo como cualquier esquilmo tiene las características de un alto contenido de celulosa y hemicelulosa en sus paredes estructurales por lo cual su contenido energético y proteico son bajos, lo que produce un reducido consumo voluntario del forraje.

Para mejorar la digestibilidad del rastrojo de sorgo existen técnicas dentro de las cuales encontramos el uso de NaOH dentro de una proporción de 4% M.S. lo cual trae consigo un mayor consumo voluntario y una mayor digestión del forraje.

3. REVISION DE LITERATURA

3.1 Uso de Esquilmos en la Alimentación Animal

El uso de residuos de cosecha para alimentar animales seguramente aumentará en un futuro inmediato debido a la incesante demanda del uso de granos para la alimentación de humanos y animales monogástricos. Los rumiantes pueden utilizar residuos de cosechas, pero por el alto contenido de lignina presente en las paredes celulares la digestibilidad es limitada. Algunos compuestos químicos, especialmente hidróxido de sodio, han sido usados para incrementar la digestibilidad de los residuos de las cosechas (Klopfenstein, 1979).

En el proceso de producción de alimentos y fibras vegetales, se obtienen una serie de desechos conocidos genericamente como esquilmos agrícolas (ejemplo: rastrojo de maíz, paja de trigo) y subproductos agroindustriales (ejemplo: bagazo de caña, pulpa de henequén) dependiendo si se localizan en los campos de cultivo o en las plantas industriales, respectivamente. (Cajal, 1986; Castellanos, 1986; citados por Shimada, 1987)

Desde un punto de vista nutrición animal, las pajas y rastrojos en su estado natural se caracterizan por su bajo consumo voluntario, su reducido contenido de energía disponible, niveles deficitarios de nitrógeno y algunos minerales muy en particular fósforo y azúfre (Zorrilla, 1984).

En la mayoría de los países en vía de desarrollo y en especialmente en Asia, los rumiantes se alimentan con pajas de cereales (principalmente de arroz y trigo). A medida que aumenta la población demográfica y se extiende el área dedicada a la producción de cultivos alimenticios, se incrementa el uso de residuos de cosechas y subproductos en alimentación animal.

En los países industrializados donde predominan los sistemas sofisticados de producción animal, la paja se considera de un valor alimenticio tan bajo que se quema; pero en los países en vía de desarrollo donde la ganadería se integra con la producción agrícola, este puede ser un recurso muy valioso. (Preston, 1990).

Cuadro 1: Digestibilidad *In Vitro* de la materia orgánica (DMO) de distintos cereales.

| Paja | DMO % (<i>In vitro</i>) | Contenido N (% MS) |
|---------------|---------------------------|--------------------|
| Trigo | 25 - 58 | 0.4 - 1.0 |
| Avena | 34 - 68 | 0.4 - 1.0 |
| Arroz | 40 - 52 | 0.5 - 1.0 |
| Cebada | 34 - 61 | 0.4 - 1.0 |
| Maiz | 31 - 50 | 0.5 - 1.2 |
| Sorgo (hojas) | 65 - 78 | 0.5 - 0.8 |

Fuente: Nicholson, 1984. (Citado por Preston, 1990).

Como puede observarse en el cuadro 1 aparentemente la digestibilidad de la Materia Orgánica de los cereales en el estudio es variable, sin embargo el contenido de nitrógeno de la M.S. es bajo.

3.1.1 Potencial

El tonelaje anual de los desechos en cuestión es elevado siendo cuando menos equivalente al de la porción comestible o utilizable de las plantas (Cajal, 1986); por lo tanto constituye un recurso potencial que las más de las veces es destruido o subutilizado. (Shimada, 1987)

El inconveniente que se presenta es que el volumen mayor de productos en la producción de alimentos esta constituido por alimentos fibrosos que se caracterizan por su baja digestibilidad y contenido de proteínas. (Cabello, 1988).

En Cuba, millones de toneladas de bagacillo se han predigerido con hidróxido de sodio para incorporarlo en raciones de ganado (Martín, 1986, citado por Preston, 1989). Así mismo en Cuba se trabaja para que se tenga convertida la actual capacidad de producir miel-urea-bagacillo, de casi un millón de toneladas, a bagacillo predigerido; con esto se disminuirá el porcentaje de miel final en el producto; a su vez, la predigestión con sosa elevará la digestibilidad un 25 a un 55 por ciento. (Pérez, 1989).

Al considerarse la gran cantidad de esquilmos agrícolas que se generan en nuestro país derivados de varios cultivos, se ha planteado la necesidad de utilizarlos intensivamente en la alimentación de los rumiantes. Sin embargo, su uso se ve limitado por su bajo valor energético y protéico. La disponibilidad de energía es baja debido al alto contenido de fibra muy lignificada. El tratamiento alcalino de estos forrajes toscos ha mostrado ser un método muy efectivo para mejorarlos (Sánchez, 1976; Jackson, 1977; Klopfenstein, 1978; citados por Llamas, 1986).

Cuadro 2: Producción Nacional de Esquilmos Agrícolas (1976)

| Producto | Producción B.S. miles Toneladas | Aprovechado miles Toneladas | % Aprov. | Excedente miles Toneladas |
|-------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|-------------|---------------------------------|
| Rastrojo de maíz | 16,613 | 9,968 | 60 | 6,645 |
| Paja de sorgo | 2,492 | 124 | 5 | 2,368 |
| Paja de trigo | 1,724 | 86 | 5 | 1,638 |
| Paja de avena | 131 | 13 | 10 | 118 |
| Paja de arroz | 410 | 41 | 10 | 369 |
| Paja de cebada | 534 | 53 | 10 | 481 |
| Tazol de frijol | 1,326 | 66 | 5 | 1,259 |
| Paja de cacahuete | 42 | 1 | 2 | 41 |
| Paja de garbanzo | 121 | 18 | 15 | 103 |
| Paja de soya | 172 | 8 | 5 | 163 |
| Paja de haba | 54 | 2 | 5 | 51 |
| | 23,625 | 10,383 | | 13,242 |

DIGESTIBILIDAD DE LOS FORRAJES

Cuadro 3: El destino de los esquilmos agrícolas nacionales se estima de la siguiente forma:

| Tipo de utilización | Porcentaje |
|----------------------------------|------------|
| Incorporado al terreno o quemado | 88.3 |
| Aprovechado en pastoreo | 10.0 |
| Consumido en pesebre | 1.7 |

(Flores, 1983)

La digestibilidad de los diferentes forrajes de cereales sin tratamiento alguno, la manejan diferentes autores las cuales se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro 4: % de Digestibilidad de diferentes esquilmos agrícolas según varios autores

| Esquilmo | NRC | Feedstuffs | Maynard L. | CIPEJ | Morrison |
|----------|-----|------------|------------|-------|----------|
| Avena | 48 | 48 | 52 | | 44.7 |
| Cebada | 49 | 46 | | | 42.2 |
| Maíz | 59 | 59 | | 52 | 53.9 |
| Sorgo | 48 | | | 34 | 41 |
| Trigo | 46 | 44 | 46 | | 40.6 |

Del cuadro 4 se deduce que los residuos fibrosos se emplean en la alimentación de rumiantes. Para lograr una efectiva utilización de estos materiales es necesario tratarlos para aumentar su digestibilidad, de forma que cubran los requerimientos energéticos de producción. (Cabello, 1988).

3.1 Fisiología Digestiva

Cuantitativamente los carbohidratos son de gran importancia para los rumiantes, ya que los tejidos vegetales contienen casi un 75% de estos principios de una clase u otra. En consecuencia, suponen la principal fuente de energía para los microorganismos del rumen y para el animal que los alberga. Los hidratos de carbono que se encuentran en los tejidos de las plantas son en principio, polisacáridos (hemicelulosa, celulosa, pectinas, fructuosas y almidón). (Church, 1974).

Las bacterias son los organismos simbióticos más importantes que desdoblan los carbohidratos complejos, esta relación simbiótica se ha desarrollado a su más alto nivel en los rumiantes ya que el rumen provee tanto la capacidad como los factores que hacen favorables esta actividad. Los ácidos y gases que se forman por la acción microbiana en el rumen son productos finales de diversas reacciones intermedias. La celulosa, las pentosas y el almidón son hidrolizados en monosacáridos y después fermentados. (Maynard, et al. 1981).

Las principales fuentes de carbohidratos renovables en el mundo son celulosa, hemicelulosa y pectina las cuales se encuentran asociadas a la lignina en la pared celular de todas las plantas. La lignina fortalece la estructura de la planta, pero en muchas ocasiones esta presente en concentraciones altas, protegiendo físicamente la pared celular de la degradación bacteriana.

Los microorganismos en el rumen degradan la lignina lentamente y en general el alimento no permanece suficiente tiempo en el tracto digestivo como para que haya una contribución de nutrientes para el animal. (Preston, 1990).

3.3 Técnicas para el mejoramiento de esquilmos vegetales

La digestibilidad de las pajas tratadas depende del procedimiento utilizado, de su contenido de humedad, la variedad del producto y de la especie animal que la va a consumir y se asume que por lo general la digestibilidad se encuentra entre 35 y 55%, cualquiera de los tratamientos mencionados a continuación la van a incrementar de un 10 a 12% sin embargo, en términos generales dicho aumento es hasta cierto punto independiente de la digestibilidad inicial.

Antes de realizar estas investigaciones, los alimentos fibrosos fueron considerados como recursos de poco valor, adecuados solamente para sostener el animal a nivel de mantenimiento y universalmente fueron considerados como alimentos fibrosos de "baja calidad". Generalmente se creía que la única posibilidad era mejorando su digestibilidad, específicamente con el tratamiento a base de álcalis (Jackson, 1977, 1978; citado por Preston, 1990)

Se pueden utilizar diferentes tratamientos químicos y físicos para aumentar el potencial y la tasa de degradabilidad de los alimentos fibrosos. Los métodos químicos principalmente utilizan álcalis, de los cuales el más utilizado ha sido el hidróxido de sodio, al cual desde hace algún tiempo se sabe que es muy efectivo para aumentar la digestibilidad. (Preston, 1990).

El bagazo de caña de azúcar después de ser predigerido con hidróxido de sodio, soporta niveles de comportamiento en rumiantes que son iguales a aquellos logrados con tamos de cereales, sometidos a sistemas de predigestión similares. (Preston, 1989).

En Cuba se ha generalizado el tratamiento con hidróxido de sodio en el caso del bagacillo de caña. Este tipo de tratamiento aunque muy eficaz y de acción muy rápida presenta limitaciones económicas por el alto costo de la sosa. Una alternativa interesante de sustitución de este tratamiento la constituyen los tratamientos térmicos con vapor.

La paja tratada con álcali puede substituir al heno o al ensilaje siempre y cuando se complete con un buen ingrediente proteico. Si en la alimentación se está utilizando más del 30% de concentrados, la digestibilidad de las pajas generalmente disminuye y en este caso prácticamente resulta lo mismo paja tratada o no; solamente con un tratamiento de 8 kg de sosa por 100 kg de paja, se sigue manteniendo un pH más bien alto que no inhibe a los microorganismos celulolíticos.

El método más usado para incrementar la digestibilidad de los subproductos de la caña y de otros forrajes fibrosos es mediante el uso de NaOH. (Castellanos, 1987).

Cuadro 5: Digestibilidad de la paja no tratada y tratada con el método de inmersión de la paca en una solución de NaOH al 4%/M.S.

| País | Tipo de paja | Digestibilidad de la materia orgánica (%) | | Fuente |
|-------------|--------------|---|---------|---------------------------------|
| | | No tratada | Tratada | |
| Noruega | | 42 | 60 | Homb (1956) |
| Alemania | | 46 | 71 | Fingerling y Schmidt (1919) |
| | | 46 | 73 | Fingerling (1923) |
| Reino Unido | Avena | 53 | 68 | Watson (1941) |
| | Trigo | 47 | 65 | " |
| | Cebada | 46 | 60 | " |
| | Cebada | 45 | 71 | Fernández C. y Greenhalg (1972) |
| | Avena | | 68 | Ferguson (1943) |
| | Cebada | | 65 | " |
| | Trigo | | 22 | " |
| México | Sorgo | 48 | 64 | Esta Tesis |

Fuente: Flores, 1983.

Por otro lado los ácidos clorhídrico (especialmente en forma gaseosa) y sulfúrico (usualmente dióxido de azufre) han probado ser efectivos en el tratamiento de pajas y otros

residuos fibrosos. El tratamiento con dióxido de azúfre combinado con amoniaco parece tener el mayor potencial para aumentar la digestibilidad. Sin embargo el consumo alimenticio se ve disminuido por un excesivo contenido de azúfre.

El amoniaco ha tenido mayor aceptación; al compararlo con otros compuestos químicos, como agente en el tratamiento de la paja con alto contenido de humedad. Este se puede utilizar como gas, solución de hidróxido de amonio o por generación con urea al ensilar la paja con altos contenidos de humedad. Para que el ensilaje de la paja con urea sea tan eficiente como la utilización de amoniaco gaseoso se debe usar temperaturas altas. (Preston, 1990)

En lo referente a los residuos agrícolas la situación es diferente por cuanto el lugar de acumulación de los mismos no hay posibilidades de uso del vapor. Por otra parte estos residuos contienen 5-7% de azúcares base seca (BS) que se perderían con las altas temperaturas. Tomando en cuenta, además, la digestibilidad de estos residuos que es algo mayor que la del bagacillo (aprox. 30% vs 18%) y la disponibilidad de área en sus lugares de acumulación es razonable pensar que el tratamiento con amoniaco es el camino que debe seguirse. La dosis de amoniaco anhidro a utilizar es de 30 kg/ton de residuos base húmeda (BH) y la digestibilidad que se logra es del orden de 40-45% de la materia seca en un tiempo de tratamiento caústico (4% NaOH / BS) tomando los precios del

mercado mundial para los diferentes productos y balanceando el nitrógeno aportado por el tratamiento con NH_3 para el caso de la sosa se puede concluir que el tratamiento con NaOH es aprox. 2.5 veces más costoso que el amoníaco.

Cuadro 6: Comparación de insumos y costos para el tratamiento de la paja con NaOH y NH_3

| | Dosis Kg/ton BS* | Precio mundial (Dic/87)\$ Ton | Costo \$ Ton BS |
|---------------|---------------------|----------------------------------|--------------------|
| NH_3 | 75** | 107 | 8.03 |
| NaOH | 40 | 407 | 16.28 |
| Urea | 45*** | 110 | 4.95 |

* Se considera 40% de MS en los residuos

** Se considera 30% de fijación del nitrógeno

*** Cantidad de urea equivalente al nitrógeno del amoníaco que se fija.

Adicionalmente hay que mencionar que la propia concepción tecnológica del tratamiento con NH_3 implica la formación de un silo en una atmósfera inerte lo cual brinda la posibilidad de conservación del material que es una de las limitaciones que existen actualmente para un uso más racional de estos residuos. (Cabello, 1988).

Un método físico de tratamiento para aumentar la digestibilidad de los alimentos fibrosos que aparentemente puede tener aplicación a nivel industrial es el uso del vapor a altas presiones. Esto puede ser factible en lugares donde esta fuente de energía este disponible y sea de bajo costo por ejemplo en los ingenios azucareros entre otros.

La forma de actuar de el vapor a altas temperaturas es la de liberar el ácido acético, el cual hidroliza los enlaces entre la lignina y los carbohidratos. (Preston, 1990)

El tratamiento con vapor, que ha probado ser eficaz para el bagazo del ingenio, no puede aplicarse a nivel de granja. En cambio, el hidróxido de sodio si puede usarse a ese nivel, siempre que se tengan las precauciones necesarias, en vista de su naturaleza corrosiva y contaminante. (Preston, 1989)

Los primeros trabajos dirigidos al mejoramiento del valor nutritivo del bagazo se realizaron en Mauricio (Wong, et al. 1974, citado por Preston, 1990), donde se demostró un mejoramiento dramático en la digestibilidad del bagazo al someterlo a un tratamiento con vapor de presión a una temperatura de 200° C.

Cuadro 7: Efecto del tratamiento con vapor a diferentes temperaturas y tiempos sobre la tasa de degradabilidad de la materia seca.

| Tiempo minutos | % Degradabilidad de la M.S. | | |
|-------------------|-----------------------------|-------|-------|
| | 130°C | 175°C | 198°C |
| 15 | 23 | 46 | 68 |
| 30 | 28 | 45 | 65 |
| 60 | 25 | 55 | 67 |

Wong, et al. 1974, citado por Preston, 1989.

Los tratamientos alcalino y de vapor del bagazo han resultado en un aumento de la digestibilidad del mismo y se puede modificar algunas de sus restricciones por medio de la suplementación. (Leng, 1989)

3.4 Efecto

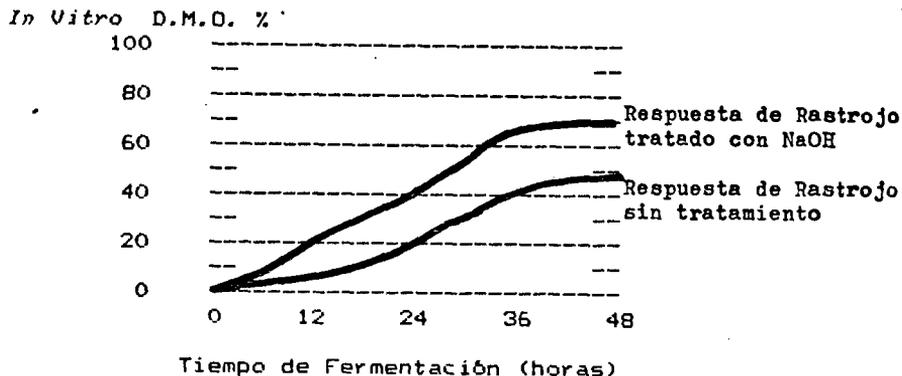
La forma de actuar de la sosa sobre las estructuras de la pared celular, es de saponificar la unión ester entre los polimeros del ácido fenilpropáico (lignina) y las cadenas de xilan (hemicelulosa) Por lo tanto, la acción de la sosa no es la de disminuir la cantidad de lignina, sino de hacer más disponibles las fracciones de la pared celular para ser atacadas por los microorganismos celulares.

El incremento en la disponibilidad ruminal de la fibra, se traduce en una mayor fermentación de la misma y una mayor producción de ácidos grasos volátiles totales en el rumen, (Martin, et al. 1977, citados por Castellanos); y una mayor

digestibilidad de la materia seca (Martin, et al. 1974; Oskov, Hovell y Mould 1980, citados por Castellanos, 1987).

Los álcalis actúan rompiendo los enlaces álcali lábiles existentes entre la hemicelulosa y los grupos fenólicos de la lignina, lo cual solubiliza la primera y hace más disponible la pared celular (Evans, 1979; citado por Llamas, 1986). Este fenómeno aumenta principalmente la cantidad de fibra disponible para ser digerida, pero no aumenta claramente la tasa de digestión, sin embargo se mejora la digestibilidad y aumenta el consumo voluntario (Llamas, et al. 1982; Llamas, Ward y Klofenstein 1982; citados por Llamas, 1989). Debido a este mecanismo de respuesta de diferentes tipos de esquilmos al tratamiento, lo que sin duda determinara en gran parte la costeabilidad del tratamiento a mayor escala. (Llamas, et al. 1989).

Gráfica 1. Efecto típico de tratamiento de hidróxido de sodio en la digestión de materia orgánica *In Vitro*.



Anderson Clayton comunicación personal, 1991.

3.4.1 Ventajas del uso de NaOH

Los forrajes tratados con NaOH pueden ser ofrecidos a las 24 hrs despues de la aplicacion del químico, o bien pueden ser almacenados para su empleo posterior teniendo en este caso la ventaja de que la presencia del álcali funciona como preservativo y evita el crecimiento de hongos y bacterias.

La acción del hidróxido de sodio consiste en incrementar la susceptibilidad de las paredes celulares al proceso hidrolítico en el rumen es decir en aumentar la digestibilidad de las estructuras vegetales hasta en un 50%. Por otra parte incrementa el consumo y con ello la velocidad de tránsito de la ingesta a través del tubo digestivo, por lo que la ingestión, tanto de materia seca como de material digestible se ve aumentada en beneficio del animal. (Shimada, 1986).

Cuadro 8: Efectos de la molienda y del tratamiento alcalino de la paja de cebada sobre la digestibilidad y la ingestión por las ovejas*

| Paja desmenuzada ** | Paja sin tratar | Paja tratada+ |
|---|-----------------|---------------|
| Digestibilidad de la M.O. (%) | 45 | 61 |
| Ingestión de M.S. (g/kg Pw 0.75) | 27 | 48 |
| Ingestión de energía digestible (Kgcal/kg Pw 0.75) | 46 | 114 |

| Paja molida *** | | |
|----------------------------------|----|-----|
| Digestibilidad de la M.O. (%) | 45 | 64 |
| Ingestión de M.S. (g/kg Pw 0.75) | 36 | 54 |
| Ingestión de energía digestible | 60 | 132 |

* Se complementó la paja con proteínas de soya purificada en la proporción de 8g/100 g de paja. Se supuso que la digestibilidad de este complemento era de un 100 % : datos relativos a la paja exclusivamente.

** Paja desmenuzada en fragmentos de 2-3 mm.

*** Paja molida en un molino de martillos, con un tamiz de 2 mm
+ Paja rociada con 8 kg de NaOH/100 kg y neutralizada con 7.4 kg de ácido propiónico.

Fuente: Fernández Carmona y Greenhalgh (1972) citados por Flores, 1983

Se subraya que el valor nutritivo de los esquilmos de los cereales se ve aumentado con el empleo de sustancias alcalinas. (Klopfenstein, 1978, citado por Shimada, 1987).

El tratamiento químico, especialmente el hidróxido de sodio incrementa la velocidad de digestión de ambos: celulosa y hemicelulosa. El hidróxido de sodio parece mucho más efectivo que cualquiera, calcio o hidróxido de amonio (Klopfenstein, 1979).

Thiago, et al. (1979), demostro que el tratamiento de forraje con NaOH aumenta la proporción de paredes celulares potencialmente digeribles asi como su tasa de desaparición del rumen, tanto por digestión como por velocidad de paso. (Zorrilla, 1984).

3.4.2 Desventaja del uso de NaOH

El tratamiento de la paja con hidróxido de sodio es poco económica, su aplicacion difícil y peligrosa para la gente y los animales involucrados en el proceso. Por lo tanto, el tratamiento químico de los residuos fibrosos en los países en vía de desarrollo es poco confiable. Las desventajas que presenta (costo elevado, polución por contaminación con iones

de sodio y daño ocasionado a las personas y los animales debido a su naturaleza corrosiva) han limitado su utilización, particularmente en los países poco industrializados. (Preston, 1990)

De hecho todos aquellos sistemas que impliquen la inmersión del material en soluciones químicas, para su posterior lavado y secado, tienen pocas posibilidades de ser adaptados por los productores, y que involucran altos costos por concepto de agua, maquinaria y mano de obra, que no se justifican con el aumento esperado en digestibilidad y/o crecimiento de los animales. (Shimada, 1987).

3.5 Técnicas para la aplicación de alcalis

El método de inmersión implica remojar el forraje en una solución de NaOH durante 18 a 20 hrs, para después enjuagarlo con agua corriente para eliminar el exceso de NaOH.

El método seco se aplica generalmente como aspersión de una solución concentrada de NaOH, sin necesidad de un subsecuente lavado del material. (Wilson y Pidgen, 1964, citados por Zorrilla, 1984). Con este método se requiere de mucha menos agua, el producto final es más fácil de manejar, la acción del álcali sobre el forraje es más rápida y no se pierden nutrientes solubles arrastrados durante el lavado.

Sistema industrial de aspersión: el forraje tosco es picado, asperjado con una solución de álcali y empastillado bajo presión y altas temperaturas (Rexen y Thomsen 1976; Wilson y Brigstocke, 1977; citados por Zorrilla, 1984). Este producto es incorporado en mezclas de concentrados comerciales en niveles de 5-20%. (Zorrilla, 1984).

Un sistema propuesto podría ser la base de un programa comercial que consistiría en los siguientes pasos: después de moler la caña en el trapiche, el bagazo se reparte sobre el suelo en una capa de 5-10 cm de profundidad. Posteriormente, se rocía sobre este una solución acuosa de hidróxido de sodio (10 g de sustancia reactiva en un litro de agua) a nivel de 10 litros sobre 100 kg de bagazo fresco. El material se deja amontonado en una pila abierta. (Preston, 1989)

La paja deberá permanecer empapada por 24 hrs, al día siguiente aún está húmeda, toma un bonito color amarillo y un olor a sosa; los animales la consumen sin problemas en un 10 a 20% más que la paja sin tratar. Cuando se utiliza una solución al 4% de sosa la alcalinidad valorada es de un 0.5% y un pH de 10 o más. (Flores, 1983)

"Tratamiento Químico Seco de Straw"

El tratamiento de pajas con un concentrado de sosa en solución con un consumo de agua mínimo. El método se basa en el uso de alta presión y temperatura, por lo cual hay un demanda baja de hidróxido de sodio, junto con esto el tiempo de reacción es muy corto.

La alta presión es obtenida con el uso de una convencional cámara cúbica. Durante la presión, el calor de fricción es generado, con lo cual se incrementa la velocidad de reacción. La paja es cortada y en un aparato especial la solución de sosa concentrada es aplicada. El tratamiento es efectivo solamente si la sosa es dispersada igualmente en la paja. La paja impregnada de sosa es llevada a la cámara, donde es sometida a una alta presión y temperatura. Por esto el enlace entre la celulosa y la indigestible lignina es desunido y la digestibilidad de la paja es incrementada. El producto final aparece en una forma compacta (forma redondeada aglomerada) suficientemente seca para almacenarse. (Rexen, 1974).

El proceso a nivel industrial que se aplica en la planta de Anderson Clayton es la siguiente:

La reducción del tamaño del forraje en la fase inicial es requerida para convertir la paca de rastrojo a una forma en la cual pueda ser transportada, ya sea mecánicamente o neumáticamente dentro de las cuales existen transportadoras diseñadas para manejar pacas de diferentes dimensiones y

densidades. El material gruesamente picado pasa de las picadoras a un molino de martillos donde el tamaño de la partícula es todavía reducido. anterior a esta operación, puede ser secado parcialmente, para reducir la potencia requerida por el molino de martillos.

Inmediatamente antes del peletizado, el rastrojo molido es pasado con una solución de hidróxido de sodio en una mezcladora tan uniforme como sea posible.

El extruder o peletizadora hace más efectiva la distribución de la solución de hidróxido de sodio, mejora el promedio de penetración de la solución en la estructura fibrosa de las partículas del rastrojo y provee las condiciones requeridas para provocar una reacción rápida entre el hidróxido de sodio y la estructura de la pared celular y sus componentes. (Anderson Clayton, comunicación personal, 1991)

3.6 Técnica de Digestibilidad *In Situ*

Se pesan 5 gr de forraje molido y seco, y se colocan dentro de una bolsa de nylon, se cierra y se coloca en el rumen de los animales fistulados cogiendola con el tapón de manera que quede dentro del rumen. Se colocan de 3-5 bolsas por muestra. Incubar durante 72 horas, al cabo de ese tiempo se lava la muestra con agua corriente y se seca el forraje en una estufa a 100° C durante 48 horas. La diferencia entre el peso de la muestra antes de la digestión y después nos indicará la digestibilidad de la muestra. (Tejeda, 1985)

| | | | |
|--------------------------------|--------------------|-------|--------------------|
| | Peso de la muestra | _____ | Peso de la muestra |
| | antes de la | _____ | después de la |
| Cálculos | incubación | | incubación |
| % Digestibilidad = ----- X 100 | | | |
| | Peso de la muestra | | |

La digestibilidad *in situ* presentará algunas importantes ventajas sobre la técnica *in vitro*, en ellas que la digestión se lleva a cabo en el rumen con la participación de microorganismos ruminales en su ecosistema natural. Además la técnica resulta más barata que la digestibilidad *in vitro*.

Una de las principales virtudes del método *in situ* consiste en que nos proporciona una amplia visión de la degradación de los componentes nutricionales a través del tiempo.

Su uso para predecir el valor nutritivo de un alimento se ve limitado por una mayor variabilidad y a la dificultad para realizar una estandarización adecuada que permitiera llevarla a cabo en forma similar para la Digestibilidad *in vitro* de la Materia Seca (DIVMS). (Castellanos, et al. 1990).

3.7 Técnica de Digestibilidad *In Vitro*

Se pesa 1 gr de la muestra y se pone en un matrás aforado y a continuación se le pone el ácido clorhídrico (HCl) (0.195 N) necesario para que se estandarize a un pH de 4.8, a

continuación se le agrega la cantidad de agua destilada necesaria para completar 15 ml.

Se pone 0.1 gr de celulasa disuelta en una solución buffer con un pH de 4.8 a la muestra.

Se pone la muestra durante 24 hrs en baño maría a 40° C en agitación constante, se saca la muestra a las 24 hrs y se lava. Se mete a desecar a una estufa con aire forzado durante 2 hrs a 130° C. Se pesa la muestra y a continuación se mete a incinerar a la mufla y se pesan las cenizas. (Anderson Clayton 1991, comunicación personal).

"Efecto de la tasa de adición de hidróxido de sodio en la digestibilidad *In Vitro*"

Durante los últimos 20 años, un gran número de muestras han sido evaluadas para determinar el efecto al variar el nivel de NaOH agregado sobre la digestibilidad de la materia orgánica. Una ilustración semi-diagráfica de la relación completa se muestra en la gráfica 1.

Aunque hay muchos factores que tienen efectos menores en la respuesta a un nivel de NaOH dado, un interesante efecto estacional ha sido observado. Para ilustrar este fenómeno, los datos han sido analizados con respecto a diferentes periodos de tiempo:

1970-74; 1975-76; y 1977. Las ecuaciones cuadráticas que fueron derivadas son las siguientes:

$$1970 - 74: \quad Y = 43.9 + 5.28 X - 0.23 X^2$$
$$r = 0.81$$

$$1975 - 76 \quad Y = 49.2 + 4.21 X - 0.11 X^2$$
$$r = 0.55$$

$$1977 \quad Y = 39.8 + 7.87 X - 0.60 X^2$$
$$r = 0.87$$

donde: Y = D.M.D. (%) *In Vitro*

X = NaOH agregado (g/100 gr producto MS)

La diferencia más marcada entre las tres relaciones es la alta digestibilidad del rastrojo no tratado durante dos cortas y secas temporadas.

La diferencia es tentativamente a las características químicas del rastrojo menos maduro, al grado de lignificación y el desplazamiento incompleto de los nutrientes de tallo y hojas a la semilla del grano.

Ya que los niveles de NaOH agregados en las muestras de 1977 no excedieron 6 grs de NaOH/100 grs de producto en base seca, una extrapolación más allá de este nivel es probable que de resultados no muy confiables.

La relación lineal derivada de las mismas muestras fué como sigue:

$$Y = 39.9 + 4.92 X$$
$$r = 0.861$$

Sobre el rango de interés práctico, la función lineal describe adecuadamente la relación.

4. OBJETIVOS E HIPOTESIS

Evaluar el efecto del tratamiento con Hidróxido de Sodio sobre la digestibilidad aparente simple utilizando la técnica de la bolsa de Nylon, (*In Situ*) con diferentes tiempos de exposición a la digestión ruminal, del rastrojo de sorgo utilizando borregos fistulados.

Comparar la digestibilidad simple de los tratamientos *in situ* con el método enzimático realizado en el laboratorio *in vitro*.

El forraje tratado con Sosa tiene una mayor digestibilidad debido a la forma de actuar del NaOH al saponificar la unión ester que existe entre la lignina y la hemicelulosa, haciendo más disponibles las fracciones de la pared celular para los microorganismos celulares, por lo cual tiene una fermentación mayor el forraje tratado que el forraje no tratado.

5. MATERIALES Y METODOS

5.1 Localización

El presente trabajo se efectuó en el predio "Bugambilias" del Campo Experimental Zapopan dependiente del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias del Estado de Jalisco (INIFAP) la cual esta ubicada en el Km. 4.5 de la carretera Guadalajara-Morelia en el municipio de Tlajomulco de Zuñiga, Jalisco, con una altura de 1550 M.S.N.M. y con una temperatura media anual de 18° C, siendo su máxima de 30° C y su mínima de 5° C.

5.2 Desarrollo del Experimento

5.2.1 Instalaciones

Los borregos se encontraban en completa estabulación en un corral con paredes de mampostería, terminadas con enjarre de cemento tipo liso, con un piso completamente encementado. El agua se les proporcionaba limpia y a libre acceso ya que tenían un bebedero de fierro con forma de medio círculo con su flotador automático.

El alimento consistió en una mezcla de 80% de un alimento comercial (cuadro 9) más 20% del forraje tratado con NaOH al 4%/M.S. el cual se les suministraba a libre acceso.

Cuadro 9: Análisis garantizado del alimento comercial

| | |
|-----------------|-------|
| Humedad máx. : | 12.0% |
| Proteína mín. : | 11.0% |
| Fibra máx. : | 18.0% |
| Grasa mín. : | 1.5% |
| E.L.N. mín. : | 52.5% |
| Cenizas máx. : | 5.0% |

5.2.2 Manejo

Los animales fueron sometidos a una serie de prácticas las cuales se mencionan a continuación:

Vacunación

Desparasitación: Endoparasitos y Ectoparasito

Complemento Vitaminico con: Vitaminas A, D, E, y complejo B

Como los borregos venían de una explotación extensiva se les adaptó a la nueva dieta que consistió en un 30% de alimento comercial, 20% del forraje tratado con NaOH y 50% rastrojo; y el rastrojo se fué eliminando hasta quedar los porcentajes ya mencionados.

Los borregos entre prueba y prueba tenían un periodo de descanso de 21 días para evitar el sobre manejo y con ello el stress permanente el cual va en detrimento de la función ruminal.

5.3 Metodología experimental

Se utilizaron para el experimento 4 borregos machos enteros adultos, los cuales fueron sometidos a una operación quirúrgica según técnica descrita en el Manual de Técnicas de Investigación en Ruminología, (1990). Y se les colocó una cánula ruminal de tipo rígida para poder tener acceso al rumen y poder dejar las bolsas de nylon el tiempo requerido.

El forraje tratado con NaOH se muele en un molino de martillos con una malla de 2 mm, a continuación se mete el forraje molido y las bolsas a desecar a una estufa a 100° C durante 12 hrs (según técnica descrita en el Manual de Laboratorio para Análisis de Ingredientes Utilizados en la Alimentación Animal, 1985).

Se pesaron las bolsitas vacías y se les agregaron 5 gr de forraje y a continuación se cierran las bolsas con una liga.

Por medio de la cánula rígida se introducen las bolsas dentro del rumen del animal y en su respectivo tiempo 12, 24, 36, 48, o 72 hrs se retira al azar una bolsa de cada borrego.

Las bolsas se lavan con agua corriente y después se desecan a 100° C durante 12 hrs y a continuación se pesan. Para conocer la digestibilidad aparente simple se aplica la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{Peso de la muestra} - \text{Peso muestra digerida}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

5.4 Diseño Experimental

Los valores correspondientes a los porcentajes de digestibilidad *In Vitro* e *In Situ*, fueron evaluadas estadísticamente mediante análisis de varianza, así mismo fueron corridos análisis de regresión, correlación y prueba de Tukey, se utilizó un diseño completamente al azar con diferente número de repeticiones, cuyo modelo matemático es el siguiente:

Donde: $Y_{ij} = u + T_i + E_{ij}$

Y_{ij} : Observación j esima dentro del tratamiento i esimo

u : Media General

T_i : Tratamiento i esimo

E_{ij} : Error experimental

6. RESULTADOS

6.1 Digestibilidad *In Situ*.

En el siguiente cuadro se presentan las digestibilidades *In Situ* por unidad de tiempo con sus respectivos promedios y su desviación estandar.

Cuadro 10: Resumen de los porcentajes de Digestibilidad de las muestras agrupadas por unidad de tiempo.

| Tiempo (hr) | 12 | 24 | 36 | 48 | 72 |
|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 28.81 | 48.32 | 67.37 | 39.03 | 57.39 |
| | 51.89 | 55.54 | 66.41 | 61.20 | 49.55 |
| | 40.27 | 47.51 | 64.41 | 73.39 | 64.38 |
| | 50.37 | 52.65 | 65.65 | 69.72 | 70.12 |
| | 52.13 | 49.89 | 53.17 | 74.33 | 72.21 |
| | 30.77 | 59.92 | 57.23 | 62.35 | 65.09 |
| | 42.52 | 51.94 | 59.24 | 66.44 | 68.06 |
| | 48.00 | 48.33 | 54.69 | 58.59 | 61.25 |
| | 40.74 | 52.24 | | 59.35 | 66.69 |
| | 43.61 | 47.07 | | 74.12 | |
| | 48.27 | 51.11 | | 64.74 | |
| Sumatoria | 477.38 | 564.52 | 488.17 | 703.19 | 574.74 |
| Media | 43.40 | 51.32 | 61.02 | 63.93 | 63.86 |
| Desv Std | 7.95 | 3.84 | 5.63 | 10.11 | 6.98 |

El contenido promedio de NaOH fue de 4.317 %/100 kg M.S.

Nota: Se corrió la primera prueba hasta las 72 horas para conocer el comportamiento del fenómeno hasta ese tiempo teniendo el conocimiento que ningún forraje puede permanecer ese tiempo dentro del rumen.

De acuerdo al análisis de varianza, cuadro 11, se obtuvo una $F_c = 16.01$ que resultó ser mayor que la F_t al 0.01 = 3.780. Lo que nos indica que existe diferencia altamente significativa entre tratamientos según el tiempo de digestión a nivel ruminal.

Cuadro 11: Análisis de Varianza

| F.V. | G.L. | S.C. | C.M. | F_c | $F_t(0.05)$ | $F_t(0.01)$ |
|-------------|------|---------|--------|---------|-------------|-------------|
| Tratamiento | 4 | 1188.95 | 297.24 | 16.01** | 2.580 | 3.780 |
| Error | 45 | 835.49 | 18.57 | | | |
| Total | 49 | 2024.44 | | | | |

**($P < 0.01$) Diferencia altamente significativa

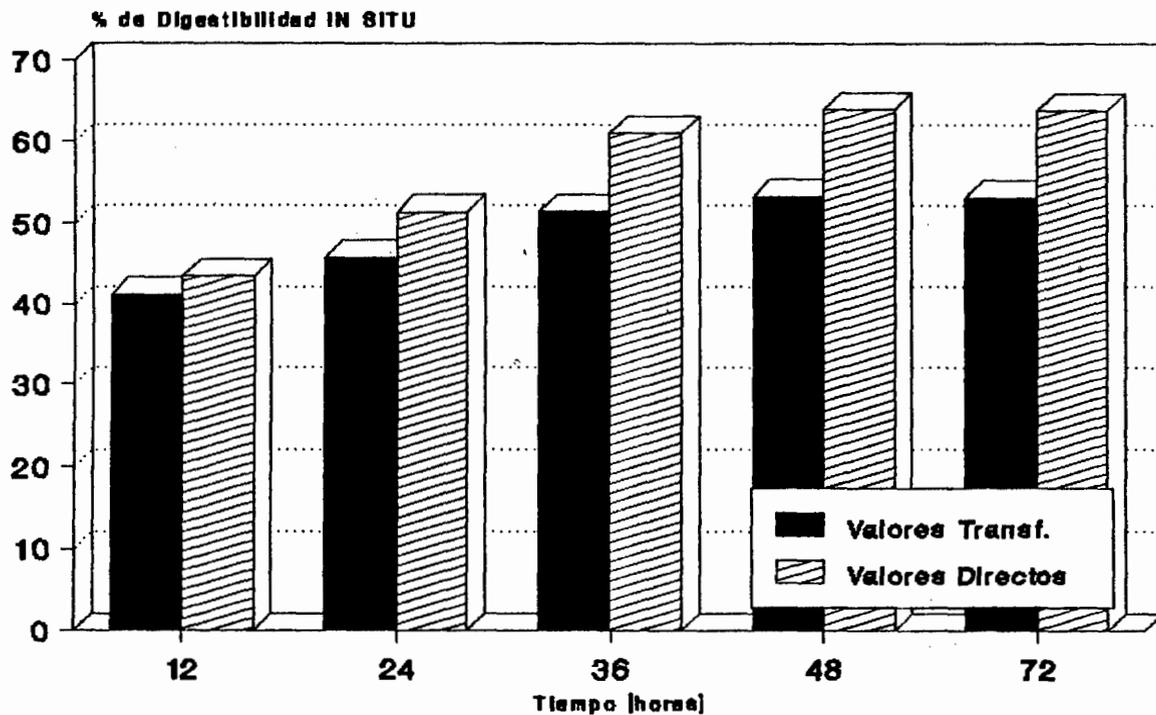
Posteriormente se procedió a realizar la prueba de Tukey para los valores transformados por su arco seno percentage, resultando que entre los tiempos 12 y 24 horas no existe diferencia significativa. Entre los tiempos 24 y 36 encontramos una diferencia altamente significativa ($P < 0.01$) entre ellos, encontrándose a 36, 48 y 72 hrs. iguales entre ellos, con una diferencia no significativa, como se puede observar en el cuadro 12.

Se realizó la prueba de Tukey para valores directos resultando que entre los tiempos 12 y 24 horas existe una diferencia altamente significativa ($P < 0.01$) encontrándose también está entre los tiempos 24 y 36 horas y a partir de 36 horas son iguales a 48 y 72 horas, estadísticamente.

Cuadro 12: % de Digestibilidad *In Situ* con su respectiva literal según prueba Tukey.

| Tiempo de exposición (hrs) | 12 | 24 | 36 | 48 | 72 |
|---------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| \bar{X} arco seno <u>percentage</u> | 41.13a | 45.75a | 51.40b | 53.26b | 53.12b |
| \bar{X} valores directos | 43.40a | 51.32b | 61.02c | 63.93c | 63.86c |

Medias con diferentes literales son diferentes ($P < 0.01$)



Gráfica 2: Digestibilidad IN SITU de forraje tratado con NaOH

BIBLIOTECA NACIONAL DE AGRICULTURA

En la gráfica 2 se muestran los resultados del cuadro 12.

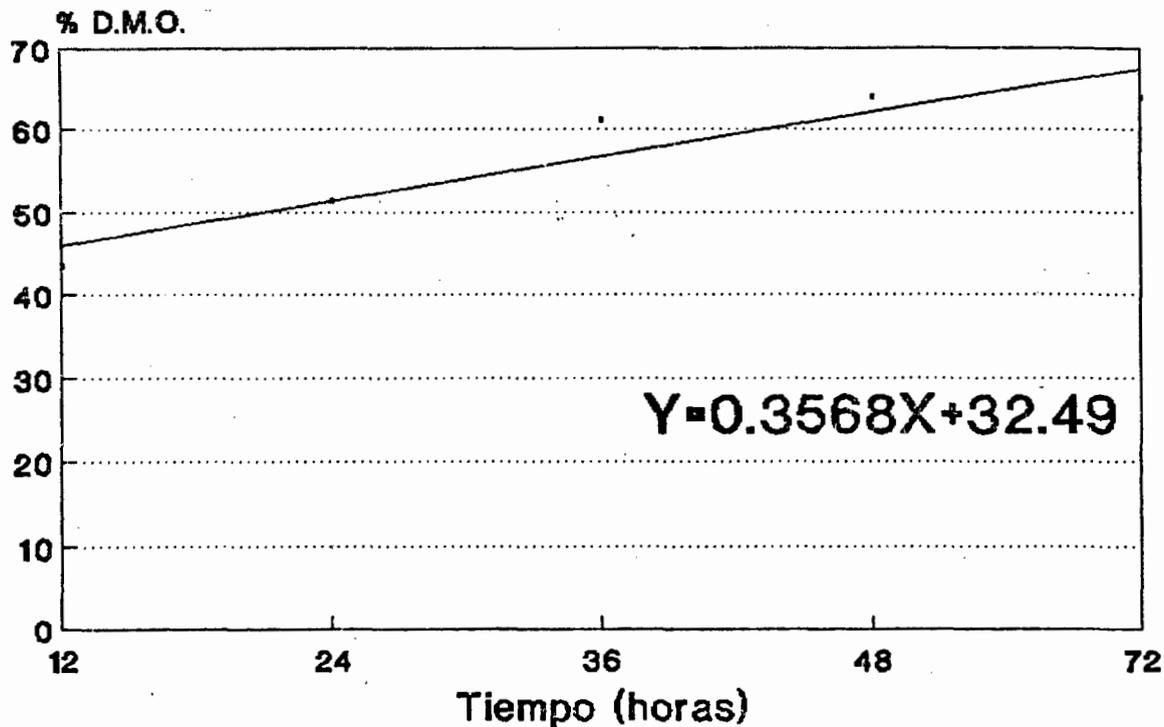
Los promedios fueron transformados por su valor arco seno porcentaje para poder aplicar el análisis de varianza sin romper los fundamentos de está.

Los datos que se obtuvieron de la digestibilidad directa se estudiaron estadísticamente y a continuación se transformaron a su arco seno porcentaje por las razones antes mencionadas. No encontrándose diferencias en su análisis.

Así mismo se puede observar en la gráfica 3 la regresión lineal, teniendo un incremento en la digestibilidad simple aparente conforme aumenta el tiempo de permanencia del forraje en el rumen en los tratamientos de 12 a 72 horas.

$$\text{ECUACION DE REGRESION } Y = 0.3568 X + 32.49$$

El aumento en la digestibilidad en relación al tiempo de estancia en el rumen se debe a la acción de los microorganismos del rumen. Es decir, existe una relación directa entre el tiempo de estancia del producto en el rumen y su digestibilidad, pero al llegar a 36 horas de incubación la degradación de los nutrientes se estabiliza.



Gráfica 3: % de Digestibilidad IN SITU a diferentes tiempos de exposición

6.2 Digestibilidad *In Vitro*

Se hicieron las digestibilidades *In Vitro* para las mismas muestras del forraje tratado con NaOH utilizando la técnica que se describe dentro de la revisión de literatura. Se corrieron 10 muestras para medir su digestibilidad y también se les midió el porcentaje de NaOH para así dar una relación de digestibilidad con respecto al % de NaOH.

Cuadro 13: Resultados de digestibilidad *In vitro* y del contenido de NaOH a 24 hrs de incubación

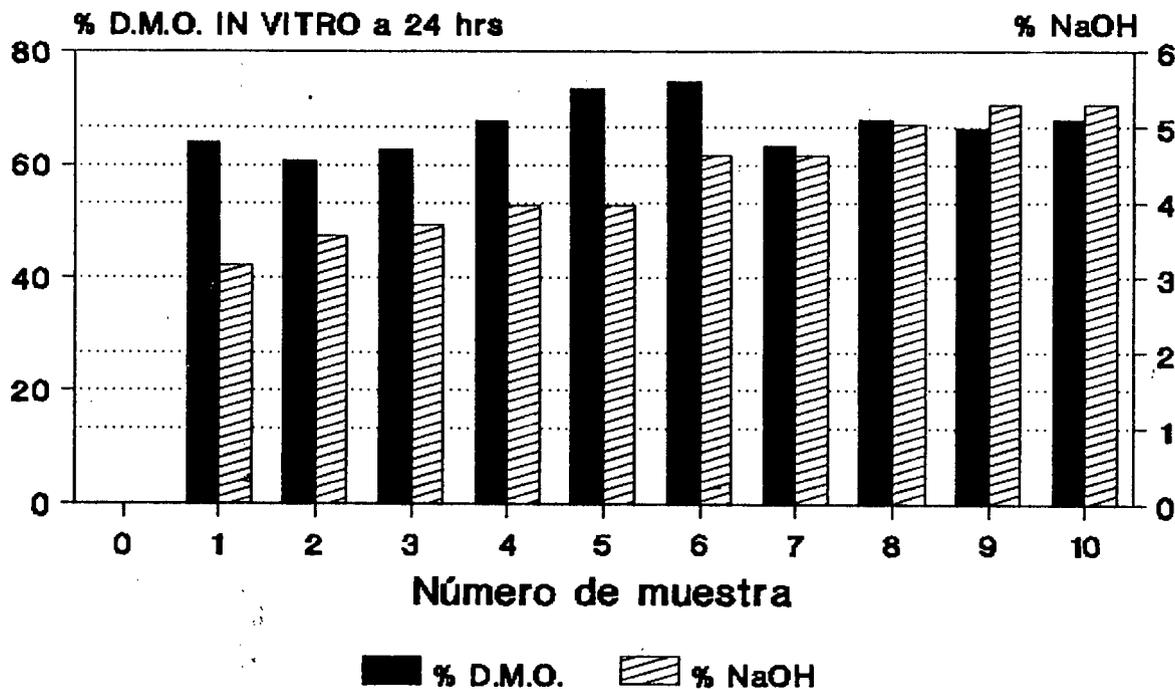
| Número de muestra | % NaOH | % Digestibilidad |
|-------------------|--------|------------------|
| 1 | 5.28 | 66.44 |
| 2 | 5.02 | 67.88 |
| 3 | 5.28 | 67.88 |
| 4 | 3.7 | 62.72 |
| 5 | 3.96 | 67.6 |
| 6 | 4.62 | 63.4 |
| 7 | 3.17 | 64.1 |
| 8 | 3.96 | 73.36 |
| 9 | 4.62 | 74.62 |
| 10 | 3.56 | 60.88 |

| | | |
|------------|-------|--------|
| Sumatoria | 43.17 | 668.88 |
| Media | 4.317 | 66.888 |
| Desv. Std. | 4.44 | 0.75 |

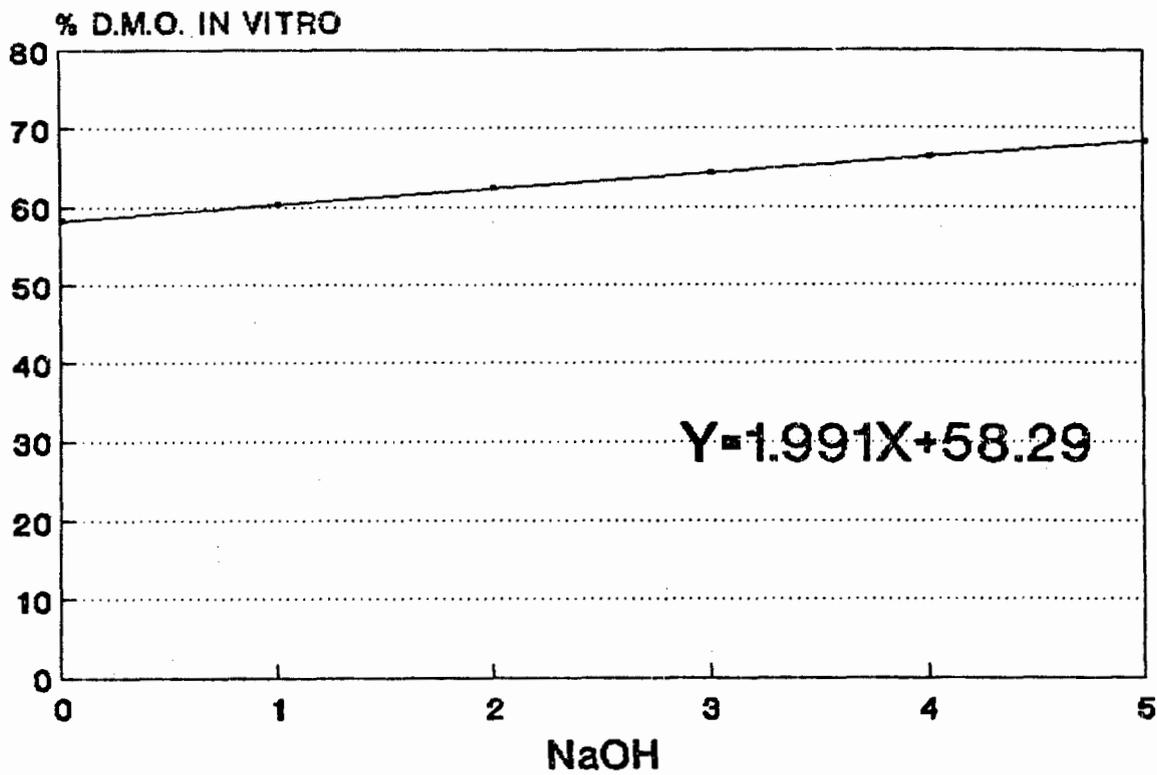
Nota: El forraje utilizado fue Rastrojo de Sorgo.

El cuadro anterior se explica en la gráfica 4, y en la gráfica 5, se presentan los mismos dentro de una regresión lineal teniendo un incremento de la digestibilidad *In Vitro* conforme se va incrementando el contenido de NaOH.

$$\text{EQUACION DE REGRESION } Y = 1.991 X + 58.288$$



Gráfica 4: Digestibilidad IN VITRO con su correspondiente % de NaOH



Gráfica 5: D.M.O. IN VITRO vs. % NaOH

7. DISCUSIONES

Llamas en 1986 al realizar trabajos con esquilmos tratados con NH_3 y NaOH menciona que aun cuando los dos álcalis mejoran la digestibilidad *in vitro* de materia seca (DIVMS) de cuatro esquilmos ($P < .01$), la respuesta fue mayor para los esquilmos de trigo y sorgo ($P < .01$). La paja de soya y la cascarilla de algodón respondieron en más de 10 unidades de por ciento solo cuando se utilizó un 9% de NaOH . Resultados similares se presentaron con la fibra detergente neutra (FDN) y hemicelulosa y mostraron que la mayor solubilización de esta se presentó con la paja de trigo y el rastrojo de sorgo. En el presente trabajo se encontro que la digestibilidad *In vitro* con tratamiento de 4.317% de NaOH sobre M.S. fue de 66.88% (cuadro 13) utilizando paja de sorgo y dentro de la prueba *In Situ* se encontro con la misma paja y con la misma concentración una digestibilidad de 63.93% (cuadro 10). La respuesta a los dos álcalis presentó una interacción interesante con el nivel de álcali utilizado ya que al nivel de 3% el incremento en DIVMS y la solubilización de hemicelulosa fue mayor con el NH_3 pero a los niveles de 6 y 9%, el NaOH produjo una mayor respuesta.

Esta interacción parece deberse a la mayor fuerza alcalina de la sosa, sin embargo, esto muestra que a niveles bajos como los utilizados a mayor escala (3 a 4% Alkali), el tratamiento con NH_3 compete adecuadamente con el NaOH , teniendo la ventaja adicional de incorporar nitrógeno no protéico al esquilmo.

Debido a esto se recomienda reservar el tratamiento alcalino para los esquilmos de cereales, ya que al considerar el costo de tratamiento a mayor escala, parece difícil justificar el tratamiento de los esquilmos de leguminosas y subproductos del algodón. (Llamas, et al. 1986).

En el presente trabajo se encontro que la digestibilidad del rastrojo de sorgo sin tratar fue de 48% y en la paja tratada se evaluo por medio de dos métodos los cuales fueron *In Vitro* dentro del cual se encontró una digestibilidad a las 24 horas de 66.88% y el contenido de NaOH fue de 4.317% sobre M.S. el contenido de NaOH es el mismo para las pruebas *In Situ* porque se utilizó la misma muestra para ambas pruebas.

La digestibilidad *In Situ* que se encontró a las 48 horas, fue de 64% la cual es muy superior a las reportadas por los diferentes autores que se mencionan en el cuadro 4 ya que estos resultados son de pajas sin tratar; y muy parecida a las mencionadas en el cuadro 5.

8. CONCLUSIONES

El tratamiento de los esquilmos agrícolas con métodos alcalinos incrementa en buen porcentaje la digestibilidad de los forrajes, siendo importante las demás ventajas que trae consigo como un incremento en el consumo de materia seca al existir un mayor flujo de material a nivel ruminal.

Se nota la importancia de buscar y perfeccionar los métodos para aplicar el NaOH a nivel rural para poder mejorar los esquilmos y evitar las desventajas del método como son uso excesivo del agua, contaminación, etc.

Se recomienda hacer un estudio económico minucioso para determinar si económicamente es conveniente el tratamiento, porque digestivamente se demostró con las técnicas *In Vitro* e *In Situ* si se mejora la digestibilidad de las pajas.

9. LITERATURA CITADA

- Cabello A. 1988. Hacia una estrategia del uso de la caña para la alimentación animal. Subproductos y derivados de la agroindustria azucarera. Colección GEPLACEA. México D.F.
- Castellanos R. A., Llamas L. G. y Shimada S. A. 1990 Manual de Técnicas de Investigación y Experimentación Pecuaria en México A.C. México.
- Castellanos R. A. 1987. Utilización de Subproductos Agroindustriales en alimentación de Rumiantes. INIPEC-SARH. Artículo no publicado.
- Church D. C. 1974. Fisiología digestiva y nutrición de los rumiantes. Volumen 1 Fisiología Digestiva. Edit. Acribia. Zaragoza España, pag. 226.
- Feedstuffs, Octubre 17, 1988. Composición típica de alimento para bovinos y borregos. 1988-1989.
- Flores M.J.A. 1983. Bromatología animal, Tercera edición Edit. Limusa. México.
- Klopfenstein T., Berger and Peterson J., April 1979. Performance on animals fed crop residues. Federation Proc. 38:No. 5 Pag. 1939.

Leng R.A. 1989 Restricciones Metabólicas para la utilización de Caña de Azúcar y sus Subproductos para el crecimiento y Producción de Leche en Rumiantes Mayores Sistemas de Alimentación Animal en el Trópico Basados en la Caña de Azúcar. Colección GEPLACEA. México D.F.

Little T. M. y Jackson H.F. 1976. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. Ed. Trillas. 1a. edición. México D.F.

Llamas L. G., Iracema S.M. y Gómez A.R., 1986. Respuesta de esquilmos de cereales y leguminosas y de subproductos del algodón al tratamiento alcalino con amonio (NH₃) o Hidróxido de sodio (NaOH). Téc. Pec. Méx. 51:68-79

Males R.J. 1987. Optimizing the utilization of cereal crop residues for beef cattle. Washington State University Pulman. J. Animal Sci 65:1124-1130

Maynard A. L., Loosli J.K., Hintz H.F. y Warner R.G. 1981. Nutrición Animal. Ed. Mc. Graw Hill, pag. 28

Morrison F. B. 1956. Apendice. Compendio de alimentación del Ganado. Edit. UTEHA México.

NRC, National Academy of Sciences, 1984, Requerimientos Nutricionales de Bovinos de Carne. National Research Council, Washinton D.C. U.S.A.

Pérez Rena 1989. El uso de los Derivados de la Caña de Azúcar en la Producción Animal en Cuba. Sistemas de Alimentación Animal en el Trópico Basados en la caña de Azúcar. Colección GEPLACEA. México D.F.

Preston T.R. 1989. La Caña de Azúcar como Base de la Producción Pecuaria en el Trópico. Sistemas de Alimentación Animal en el Trópico Basados en la Caña de Azúcar. Colección GEPLACEA México D.F.

Preston T.R. y Leng R.A. 1990. Adecuando los sistemas de producción pecuaria a los sistemas disponibles. Aspectos básicos y aplicados del nuevo enfoque sobre la nutrición de los rumiantes en el Trópico. Consultorias para el Desarrollo Rural Integrado en el Trópico. (CONDRIT) Ltda. Cali Colombia.

Preston T.R. y Murgueitio E. 1989. La Caña como base de la Producción Pecuaria en el Trópico. Subproductos y Derivados de la Agroindustria Azucarera. Colección GEPLACEA, México D.F.

Rexen F. and Moller M. 1974. Use of Chemical Methods to Improve the Nutrition Value of Straw Crops. Feedstuffs Feb 25, 1974.

Rodriguez R. M. R., Martinez P.R., Rodriguez G.F. y Zorilla R.J.M. 1990. Bromatología de Forrajes e Ingredientes para la alimentación Animal, CIPEJ, SARH, Folleto técnico Num.4

Shimada A. 1987. Pretratamientos alcalinos de residuos fibrosos y su valor nutritivo para rumiantes. III Congreso Nacional de la Asociación Mexicana de Especialistas en Nutrición Animal A.C., Cocoyoc, Edo. de Morelos.

Shimada A. 1986. Engorda de Ganado Bovino en Corrales. Edit. Consultores en Producción Animal, A.C. México D. F.

Steel y Torrie 1988, Bioestadística, Segunda edición, Ed. Mc. Graw Hill.

Tejeda de Hernández I. 1985. Manual de Laboratorio para Análisis de Ingredientes Utilizados en la Alimentación animal. Patronato de Apoyo a la Investigación y Experimentación Pecuaria en México A. México D. F.

Zorrilla R.J. 1984. Valor nutritivo de Pajas y Rastrojos para rumiantes INIP- SARH. Articulo no publicado.

BIBLIOTECA ESCUELA DE AGRICULTORES