

298

"DIGESTIBILIDAD IN VITRO Y CAMBIOS EN LA COMPOSICION DE  
LA PAJA DE TRIGÓ (Triticum aestivum) TRATADA CON SOLU-  
CIONES ALCALINAS"

TESIS

Sometida á la consideración de la  
Escuela de Agricultura y Ganadería

de la

Universidad de Sonora

por

Carlos Eduardo Encinas Fontes

Como requisito parcial para obte-  
ner el título de Ingeniero Agróno-  
mo Zootecnista.

Noviembre de 1976.



EL SABER DE MIS DIAS  
HARA MI GRANDEZA  
BIBLIOTECA DE LA  
ESCUELA DE AGRICULTURA  
Y GANADERIA

# Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess



EL SABER DE MIS DIAS  
HARA MI GRANDEZA  
BIBLIOTECA DE LA  
ESCUELA DE AGRICULTURA  
Y GANADERIA

## INDICE

	Pág.
INTRODUCCION.....	1
LITERATURA REVISADA.....	3
MATERIAL Y METODOS.....	9
RESULTADOS.....	18
DISCUSION.....	32
RESUMEN Y CONCLUSIONES.....	39
BIBLIOGRAFIA.....	41



EL SABER DE MIS HIJOS  
HARA MI GRANDEZA  
BIBLIOTECA DE LA  
ESCUELA DE AGRICULTURA  
Y GANADERIA

## INDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Análisis químicos de los constituyentes de la fibra de paja de trigo tratada con NaOH y Ca(OH) <sub>2</sub> .....	25
Cuadro 2. Digestibilidad in vitro de la materia seca y materia orgánica de la paja de trigo tratada con NaOH y Ca(OH) <sub>2</sub> .....	26
Cuadro 3. Análisis de varianza considerando los compuestos químicos, las concentraciones, la DIVMS y DIVMO.....	27
Cuadro 4. Análisis de varianza considerando los compuestos químicos, las humedades, la DIVMS y DIVMO.....	28
Cuadro 5. Análisis de varianza considerando la concentración de los compuestos químicos, las humedades, la DIVMS y DIVMO.....	29
Cuadro 6. Medias y resultados de la prueba de DUNCAN, considerando compuestos químicos, concentraciones y humedades.....	30
Cuadro 7. Correlaciones entre los constituyentes de la fibra de la paja de trigo.....	31



EL SABER DE MIS HUOS  
HARA MI GRANDEZA  
BIBLIOTECA DE LA  
ESCUELA DE AGRICULTURA  
Y GANADERIA

## INDICE DE ABREVIATURAS UTILIZADAS

MS	=	MATERIA SECA
MO	=	MATERIA ORGANICA
PC	=	PROTEINA CRUDA
FAD	=	FIBRA ACIDO DETERGENTE
FDN	=	FIBRA DETERGENTE NEUTRO
CEL	=	CELULOSA
HEMI	=	HEMICELULOSA
LIG	=	LIGNINA
Si	=	SILICE
C.I.	=	CENIZAS INSOLUBLES
DIVMS	=	DIGESTIBILIDAD IN VITRO DE LA MATERIA SECA
DIVMO	=	DIGESTIBILIDAD IN VITRO DE LA MATERIA ORGANICA

## INTRODUCCION

En la engorda de ganado, actualmente los costos de alimentación representan más del 70% de los costos totales de producción, por esta razón es urgente buscar formas de reducir los costos en la producción de carne por este concepto.

En Sonora, se producen y se desperdician anualmente grandes cantidades de rastrojos de trigo, soya, garbanzo, frijol y cajilla de algodón. En el ciclo de 1974-75, la superficie ocupada por estos cultivos fué de 484,235 Ha., de las cuales 290,103 Ha. fueron de trigo (Triticum aestivum) ó sea el 52% de esa área, y se estima que nada mas las pérdidas de paja de trigo son alrededor de 435,155 Ton., por lo que se calcula que anualmente se desperdician millones de toneladas de estos esquilmos agrícolas. Por lo general estos subproductos de la Agricultura son utilizados muy poco por los ganaderos y agricultores en la alimentación de rumiantes, desperdiciándose en esta forma una fuente de energía barata.

Generalmente, los rastrojos son de bajo contenido de energía metabolizable y de proteína digestible a comparación de los concentrados. Sin embargo, los rastrojos son ricos en celulosa y en hemicelulosa, que son los constituyentes típicos de las paredes de las células vegetales. Estos materiales en forma pura, son de alta digestibilidad y utilización por los rumiantes. Por ejemplo, Nehring

(1965), observó que la celulosa pura alimentada a bovinos, desaparece en un 92.2% en su sistema digestivo y que tiene un valor de energía neta, igual al del almidón y al del azúcar (23). Estos datos nos indican que los rastrojos tienen un mayor potencial alimenticio del que estamos actualmente obteniendo, que es del orden del 40%. Este potencial alimenticio que conocemos existe en los rastrojos y depende de los carbohidratos estructurales que están protegidos, por la inscrustación de lignina y sílice que tienen las mismas paredes celulares. Estos materiales se ha comprobado que son muy resistentes a los procesos digestivos y que pasan por el sistema digestivo de los rumiantes sin aportar nutrientes al animal y más aún protegiendo cierta cantidad de celulosa y hemicelulosa que pasa también sin convertirse en nutrientes para el rumiante.

Con estas investigaciones se está buscando que los carbohidratos estructurales de los rastrojos, celulosa y hemicelulosa sean más expuestos a los procesos digestivos para que resulten aprovechables para el animal.

Estos estudios se justifican, ya que se busca obtener un valor adicional de estos subproductos y también por que se busca la producción de carne y leche, a partir de materiales que no se utilizan en la alimentación humana, dada la tendencia a la disminución del uso de granos en la alimentación animal.

## LITERATURA REVISADA

El término digestibilidad se toma normalmente para indicar que los nutrientes son absorbidos del tracto digestivo una vez que han sido atacados por enzimas digestivas ó desintegrados por la microflora y microfauna. En consecuencia, el término digestión como ordinariamente se emplea, implica digestión y absorción (9).

La digestión de celulosa es una medida que se puede tomar como criterio para medir la digestibilidad total del alimento, pero además se miden otros factores como materia seca, energía digestible, materia orgánica digestible y la digestión de otros constituyentes químicos (6).

Entre los métodos comúnmente empleados en las evaluaciones de aprovechamiento de los forrajes se tienen análisis químicos, técnicas IN VITRO con rumen artificial, técnicas IN VIVO empleando bolsas de nylon ó pruebas de colección total de heces con indicadores (6).

El análisis químico es el punto de partida para determinar el valor nutritivo de los alimentos, pero el valor efectivo de las sustancias ingeridas depende del provecho que de ellos pueda obtener el animal (18).

Son numerosos los estudios que han sido efectuados sobre los procesos digestivos a nivel del rumen; se ha encontrado que la microflora ruminal, interviene en forma preponderante en la degradación de la celulosa de los

forrajes y que los hidratos de carbono finales del metabolismo representan la principal fuente de energía para el rumiante. Dada la importancia de estos fenómenos, muchos investigadores han intentado reproducirlos IN VITRO, en un "Rumen Artificial", para estudiar los mecanismos metabólicos particulares a los rumiantes; así se ha desarrollado y perfeccionado la técnica de digestibilidad IN VITRO. Esta técnica nos permite obtener resultados más rápidos que con el método de digestibilidad IN VIVO, sobre la utilización de un forraje en el rumiante.

La esencia de la técnica IN VITRO radica en simular reacciones que suceden IN VIVO; esta técnica cuando se desarrolla con un alto grado de eficiencia, es un análisis rutinario muy útil para evaluar la calidad de un forraje por medio de la estimación de la digestibilidad (7).

Los residuos agrícolas ó esquilmos están compuestos principalmente por celulosa y hemicelulosa, consideradas como una fuente de energía para rumiantes; sin embargo, estos carbohidratos tienen una baja digestibilidad, por lo que son incompletamente utilizados (12).

Varios autores concluyen que la baja digestibilidad de estos forrajes por los rumiantes, se debe a uno ó más factores: a) La lignina actúa como una barrera inerte entre los carbohidratos y la digestión enzimática; b) la celulosa es altamente cristalina por lo que la acción enzimática es lenta; c) la sílica inhibe la digestibilidad de los carbohidratos (4, 27, 33, 34).

Según Guggolz (1971), para aumentar la baja digesti bilidad de este tipo de carbohidratos es necesario produ cirles una modificación física ó química (11).

Las soluciones alcalinas a base de NaOH, KOH, NH<sub>4</sub>OH, etc., aumentan notablemente la digestibilidad de la mate ria seca (2, 25, 35).

Riquelme, dice que indudablemente la utilización de agua es el método ó proceso más simple para alterar el valor nutricional de materiales lignocelulósicos (28).

Para la acción de las soluciones alcalinas se ha visto que es necesario grandes cantidades de agua; Ander son y Ralston (1973) mencionan que se necesitan 15 ml. de solución alcalina por un gramo de alimento (2); y Saxena (1971) dice que se necesitan 8 partes de solución alcalina por una de alimento (29). Lo anterior podría ser un freno para su utilización masiva en el Estado de Sonora, donde la escasez de agua es un problema.

Otro punto importante es el almacenamiento de las pajas tratadas debido a la producción de hongos, ya que el medio alcalino favorece su crecimiento.\*

Beckman (1921) observó que el tratamiento de paja picada con una solución de NaOH al 1.5% a presión atmos férica por 4 horas resultó un producto compuesto en la mayor parte por extracto libre de nitrógeno y fibra cru da, que fué adecuado para alimentar animales (5).

\* (Shimada Armando, Comunicación personal).

Woodman y Evans (1947) usando un tratamiento similar encontraron que la digestibilidad de la paja de trigo tratada, a la que llamaron celulosa del forraje, era 82% y contenía almidón equivalente a 69.7 para ovejas, lo cual es similar a la avena (36).

Estudios más recientes conducidos por Olalade (1970) Klopfenstein (1972) y Summers y Sherrod (1975) indicaron que el rango de las concentraciones en tratamientos con NaOH es de 2 a 8 gr. NaOH/100 gr. de materia seca y resulta en un incremento de la digestibilidad IN VITRO y IN VIVO de algunos forrajes de baja calidad (tazol de maíz, olote de maíz, etc.). El mejoramiento en el rango de la digestibilidad fué de 2.5 a 19.5% dependiendo de las concentraciones de NaOH y el tiempo de tratamiento. La fibra ácido detergente, celulosa y el contenido de lignina no fueron cambiadas por el tratamiento, sugiriendo que el incremento en la digestibilidad obtenida usando tratamiento con NaOH pudo tener como resultado más carbohidratos disponibles para la fermentación del rumen (26, 16, 32).

Shin et al (1975) con tratamientos de NaOH en la paja de trigo han demostrado un incremento en la digestibilidad IN VITRO de la materia seca de casi 72% (30).

Según Riquelme, Singh y Jackson (1971) observaron que el consumo de la materia orgánica por el ganado fué incrementada de 25 a 63% si se consume paja tratada con

NaOH en comparación con paja no tratada. Además, la digestibilidad IN VIVO de la materia seca de la paja de trigo fué incrementada 10% por tratamiento. Resultados similares fueron obtenidos por Donefer (1969) cuando la paja de tratamientos de NaOH incrementan la digestibilidad de celulosa, materia seca y energía de la paja (28).

Oladade (1970), ha determinado que la digestibilidad de la materia seca que sin tratamiento alguno en la paja de cebada es del 40%, aumenta hasta 80% con un tratamiento de Sosa cáustica (NaOH) al 8% por 90 minutos a 100 C. (26).

El tratamiento de la paja por 24 horas con una solución al 8% de sosa cáustica produce una digestibilidad de la materia seca del orden del 66%. Sin embargo, los rumiantes no admiten los materiales saturados de una solución de 8% de sosa cáustica y por lo tanto ha sido difícil alimentar rumiantes con estos niveles de alcalinidad. No obstante, los rumiantes aceptan bien los rastrojos tratados con solución de sosa cáustica al 4% y con este tratamiento Mowat en Canadá obtuvo con ovejas 54% de digestibilidad de materia seca a comparación de 38% sin tratamiento alguno (21).

Anteriormente se trabajó con soluciones de calhidra. En una revisión de literatura, Clawson (1970), menciona los efectos que registró Iwata en Japón en 1930, quien trató paja de arroz con una solución de hidróxido de cal

cio al 1%. El tratamiento produjo un coeficiente de digestibilidad de 55% en la materia orgánica de la paja, mientras que la no tratada solo tenía digestibilidad de 40.9% (8).

Hay otra serie de investigaciones del Dr. Klopfenstein de Nebraska (1975), en donde demuestra que el olote de maíz tratado con una solución de 3% de sosa cáustica y 1% de hidróxido de calcio, hacen de éste un alimento para becerros y vaquillas de 70 a 80% del valor del forraje del maíz ensilado (15).

Natz (1975), recientemente ha estudiado las ventajas del tratamiento con alcali a la paja de arroz, seguido con subsecuente comprimido, mediante este tratamiento los aumentos de peso de ovejas se incrementaron de 65 a 72%, en comparación con los obtenidos con la paja de arroz no tratada. En este caso se encontró mejor digestibilidad de la celulosa del material tratado y mayor consumo de comprimidos que de paja suelta (22).

El uso de hidróxidos para el mejoramiento de la digestibilidad de lignocelulosas han sido conocidos desde hace muchos años (Beckman, 1921; Archibald, 1924; Kehar, 1953; Wilson y Pigden, 1964; Tarkow y Feist, 1969) pero mucho está aún sin probar respecto a como se lleva a cabo este mejoramiento y qué efectos hay cuando se cambian las condiciones del tratamiento (12).

## MATERIAL Y METODOS

Este trabajo se llevó a cabo durante los meses de junio a diciembre de 1975 en los laboratorios del departamento de Nutrición Animal en el Centro de Investigaciones Pecuarias del Estado de Sonora (C.I.P.E.S.), que se encuentra ubicado en el municipio de Carbó, Sonora, a 80 Km. al Norte de Hermosillo, Sonora, México.

### Ensilaje de la paja de trigo.

A la paja de trigo, cortada a un tamaño de 3 a 4 cm., se le agregaren soluciones alcalinas a base de hidróxido de calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) y de hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ ) en las proporciones del 2%, 4% y 6% del peso en materia seca de la paja de trigo hasta alcanzar una humedad del 20%, 40% y 60% en la paja de trigo. Después se procedió a ensilar.

La paja de trigo tratada se ensiló uniformemente, en capas regulares y homogéneas en bolsas de polietileno (97 X 55 cm.), presionando con el objeto de expulsar el aire, cerrándose las bolsas por un extremo para evitar la entrada de aire.

### Análisis Químicos.

Después de un período de ensilado de 34 días, se hizo un muestreo homogéneo de los silos. Las muestras fueron secadas durante toda la noche en una estufa de aire forzado a  $90^\circ\text{C}$ , y después de secas se molieron usando una criba de 1 mm. de diámetro, en un molino de cuchilla. Las muestras molidas se depositaron en bolsas de polietileno.

Los análisis proximalos se hicieron de acuerdo con los métodos del Association of Official Chemist (1970) (1).

La determinación de paredes celulares, fibra ácido detergente, lignina, celulosa, hemicelulosa, sílice y cenizas insolubles, se hizo por los métodos descritos por Goering y Van Soest (1970) (10).

Para determinar el pH de las muestras se utilizó el método de recomendado por Leask y Daynard (17).

#### DIGESTIBILIDAD IN VIVO DE LA PAJA DE TRIGO (STANDARD)

##### Material:

Se utilizaron 3 evinos machos castrados, 3 jaulas metabólicas equipadas con bolsas de colección de heces, comederos, bebederos y el laboratorio de análisis bromatológico del departamento de Nutrición Animal del CIPES.

##### Métodos:

Para la determinación de la digestibilidad IN VIVO se utilizó el método descrito por Harris (14), y se desarrolló de la siguiente forma: Se les administró 1 Kg. de paja de trigo por día y agua a libre consumo, durante un período de adaptación de 20 días en las jaulas metabólicas, en los cuales se le colocó a cada animal una bolsa de manta con el fin de que se adaptaran al manejo y el estado de tensión que éste les ocasiona, no influyera durante el período de recolección de heces.

Durante los últimos 5 días se les administró 800 gr.

de paja de trigo por día y el consumo de agua fué libertad. La recolección de heces, se llevó a cabo durante 7 días mediante el uso de bolsas colectoras. La alimentación y la recolección de heces siempre se hizo a la misma hora del día. La materia fecal se posó en forma individual y se secó en una estufa de aire forzado a 80°C durante 24 horas, una vez secas se pesaron nuevamente y se guardaron en bolsas de polietileno, al final de este período, se pasaron a través de un tamiz de 1 mm. de diámetro, se homogenizaron y se tomó una muestra alícuota representativa y se efectuó su análisis bromatológico conforme a lo sugerido por la Association of Official Agricultural Chemist (1).

Metodología de cálculos:

Cálculo de coeficientes de digestibilidad:

Se realizaron en proteína cruda, grasa cruda, fibra cruda, materia seca y en extracto libre de nitrógeno, utilizando las siguientes fórmulas:

(total nutrimento consumido)-(total nutrimento en heces)=  
nutrimento digerido.

Coefficiente de digestión =  $\frac{\text{nutrimento digerido}}{\text{total nutrimento consumido}} \times 100$

Cálculo de total de nutrientes digestibles (T. N. D.)

## DIGESTIBILIDAD IN VITRO

Para la determinación de la digestibilidad IN VITRO se usó la técnica de fermentación ruminal IN VITRO en dos estados, modificados por Barnes y Lynch (3).

### Material:

Molino de laboratorio con cedazo de 1 mm. de abertura.

Baño María.

Tubos centrífuga con capacidad de 50 ml., de plástico.

Tapones de hule con válvula de bunsen.

Papel filtro whatman # 54; y embudo para filtrar.

Bomba de vacío.

### Reactivos:

1. Se usó una solución buffer-nutrientes compuesta por las soluciones A y B:

<u>Solución A</u>	<u>Cantidad gr./litro</u>
$\text{KH}_2\text{PO}_4$	10.0
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.5
$\text{NaCl}$	0.5
$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.1
Urea (grado reactivo)	0.5 (opcional)

<u>Solución B</u>	<u>Cantidad gr./100 ml.</u>
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	15.0
$\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	1.0
Solución amortiguadora ó buffer.	

Las soluciones A y B se hicieron a los volúmenes de scados y se almacenaron. Justo antes de usarse se agregaron 20 ml. de solución B a cada litro de solución A. La cantidad exacta de la solución B agregada a la solución A, varía hasta obtener un pH lo más cercano posible a 6.8. La solución A se calentó a 39°C antes de usarse.

2. HCL 6N, (516 ml. de ácido diluído a un litro de agua destilada).

3. Pepsina en polvo (1-10,000)

4. Cloruro de mercurio ( $H_gCl_2$ ) 5% P/V

(5 gr.  $H_gCl_2$  disueltos en 100 ml. de agua).

PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCION DEL INOCULO.

El líquido ruminal fué obtenido de una vaquilla crio lla, con encaste de Cebú de 250 Kg. de peso con adaptación de una fistula ruminal, se alimentó con una ración balanceada de 12% de proteína cruda.

<u>Ingredientes</u>	<u>% en la ración</u>
Paja de trigo	60.0
Heno de alfalfa	10.0
Harinolina	20.0
Melaza	7.0
Urea	0.5
Sal	1.0
Roca fosfórica	1.0
Minerales trazas	0.5

El consumo de alimento fué de 5 Kg. por día, dándose

le aproximadamente 2.0 Kg. por cada 100 Kg. de peso. La hora de alimentación diaria fué constante. El líquido ruminal se obtuvo por extracción a través de la fistula por medio de sondeo utilizando una bomba de vacío; se uniformizó el manejo del animal previamente al sondeo y el muestreo se realizó a la misma hora del día y con el animal donador dietado 12 horas antes como mínimo, con agua a libre consumo, para obtener menor variabilidad en la capacidad digestiva del líquido ruminal.

El líquido ruminal extraído, se depositó en un termo precalentado a una temperatura de 39 a 40°C, el cual se trasladó al laboratorio donde se procedió a filtrarlo a través de 4 capas de gasa con el objeto de separar las partículas sobre nadantes en el líquido.

El líquido ruminal siempre se mantuvo en baño maría a 39°C, y en atmósfera de CO<sub>2</sub> hasta el momento de usarse, generalmente este tiempo no fué mayor de 1 hora.

Blancos de inóculo.

En este estudio se utilizaron dos tipos de blanco y se designaron blanco reactivo incubado y blanco reactivo no incubado,

a) El blanco reactivo no incubado ó blanco cero horas incluye solución buffer y líquido ruminal, se lo mide el pH y se lo agrega HgCl<sub>2</sub> inmediatamente y se filtra lo más pronto posible sin incubación.

b) El blanco reactivo incubado ó blanco reactivo in-

cluye buffer y líquido ruminal y se procesa junto con las muestras.

Standard ó forraje indicador.

En este trabajo se utilizó como standar la paja de trigo, a la cual se le determinó su digestibilidad IN VI-VO.

Procedimiento para el primer estado de fermentación.

Las muestras previamente molidas se desecaron por 12 horas (toda la noche) a 100°C antes de iniciar los análisis.

Se pesaron simultáneamente muestras de 250 mgr. y se colocaron por duplicado en tubos centrífuga, a continuación se inocularon los tubos que contenían la muestra agregándoles 2 porciones de 7.5 ml. de solución buffer lentamente para lavar las paredes y saturar el sustrato.

Se incubaron los tubos a 39°C por 30 minutos y luego se le agregaron 10 ml. de una mezcla de partes iguales (5 ml. de cada una) de solución buffer y líquido ruminal el cual se le burbujeó CO<sub>2</sub>.

Se cerraron los tubos con tapones provistos de válvula bunsen y se incubaron a 39°C por un período de 48 horas.

Posteriormente se agitaron periódicamente a las 2, 4, 20 y 28 horas después de iniciada la incubación para sumergir las partículas sobre nadantes.

Al blanco no incubado, se le agregó 1 ml. de HgCl<sub>2</sub>

sobre el papel filtro whatman # 54 previamente pesado. Después se filtra y se seca por 24 horas a 100°C y se de termina el residuo de muestra seca.

Segundo estado de fermentación.

Después de las 48 horas de incubación, se acidificó directamente todas las muestras agregando 1 ml. de HCL 6 normal a cada tubo, y se mezcló y agregó .1 gr. de pepsi na en polvo, se agitaron los tubos ligeramente y se vol- vieron a incubar a 39°C por 24 horas sin tapones.

Al final de este período se pasaron a través de pa- pel filtro whatman No. 54 previamente tarado y se lavaron con agua destilada caliente, se depositó el papel filtro y el residuo en crisoles previamente pesados y se secaron en estufa a 100°C durante 24 horas y se determinó el re- siduo de materia seca. Después se quemaron durante 3 ho- ras a 500°C y se determinó el residuo de materia orgánica.

Cáloulos:

1. Digestibilidad IN VITRO de la materia seca.

$$\% \text{ DIVMS} = \frac{100 \times \left( \frac{\text{peso muestra}}{\text{peso muestra} \times \text{MS}} \times \text{MS} \right) - \left( \frac{\text{residuo MS}}{\text{peso MS}} - \text{blanco incubado} \right)}{\left( \frac{\text{peso muestra}}{\text{peso muestra} \times \text{MS}} \times \text{MS} \right)}$$

2. Digestibilidad IN VITRO de la materia orgánica.

$$\% \text{ DIVMO} = \frac{100 \times \left( \frac{\text{peso muestra}}{\text{peso muestra} \times \text{MO}} \times \text{MO} \right) - \left( \frac{\text{residuo MO}}{\text{peso MO}} - \text{blanco incubado} \right)}{\left( \frac{\text{peso muestra}}{\text{peso muestra} \times \text{MO}} \times \text{MO} \right)}$$

DIVMS = Digestibilidad IN VITRO de la materia seca.

MS = Materia seca.

DIVMO = Digestibilidad IN VITRO de la materia orgánica.

MO = Materia orgánica.

El diseño experimental fué un factorial 2 X 3 X 3 X 6, y los análisis estadísticos se programaron de acuerdo con las indicaciones de Nie (24) y se realizaron a través de computadora en el Departamento de Estadística en la Universidad de Arizena, Tucson, Arizena, E. E. U. A.

## RESULTADOS

## ENSILAJE DE LA PAJA DE TRIGO.

La paja de trigo tratada con hidróxidos tiene buen comportamiento al ser ensilada, ya que presenta buen aspecto y es atacada muy poco por hongos.

## ANALISIS QUIMICOS.

Los resultados globales de los análisis realizados se muestran en el Cuadro 1, observándose que en el tratamiento del 20% de humedad, el porcentaje de FDN fué mayor con la aplicación de  $\text{Ca(OH)}_2$  que con NaOH, encontrándose que el mayor porcentaje fué con la concentración del 4% de  $\text{Ca(OH)}_2$  y el menor con 6% de NaOH.

En el tratamiento con el 40% de humedad, Los resultados fueron en forma similar. Pero con el tratamiento del 60% de humedad se obtuvo una cantidad mayor de FDN con la aplicación de NaOH que con el  $\text{Ca(OH)}_2$ .

El mayor porcentaje de FAD se obtuvo en el tratamiento del 60% de humedad para las aplicaciones de NaOH con el 2% de concentración. En general, en todas las humedades y todas las concentraciones, se obtuvo mayor cantidad de FAD con las aplicaciones de NaOH que con  $\text{Ca(OH)}_2$ . En cambio, el contenido de celulosa se mantuvo en general, casi uniforme en todos los tratamientos de las diferentes humedades y concentraciones; pero se observó que los porcentajes de celulosa fueron un poco mayor con la aplicación de  $\text{Ca(OH)}_2$ .

La hemicelulosa se encontró en forma general, similar en su contenido, en cuanto a las diferentes humedades y concentraciones, pero se observó que hubo diferencia en el contenido de hemicelulosa con las aplicaciones de los compuestos químicos, encontrándose más elevado el porcentaje de hemicelulosa en los tratamientos con  $\text{Ca(OH)}_2$  que con  $\text{NaOH}$ .

El contenido de lignina que se encontró en la fibra, fué casi uniforme en las diferentes humedades y concentraciones, no siendo así en cuanto a la aplicación de los compuestos químicos, ya que se observó un porcentaje ligeramente mayor de lignina en las aplicaciones de  $\text{Ca(OH)}_2$  en el 20% y 60% de humedad; y con el 40% de humedad fué mayor el contenido de lignina al aplicar  $\text{NaOH}$ .

En forma general el contenido de sílice es casi uniforme en todas las humedades y concentraciones, encontrándose unas pequeñas diferencias en cuanto a compuestos químicos, ya que es ligeramente mayor el porcentaje de sílice en las aplicaciones de  $\text{Ca(OH)}_2$  comparado con el  $\text{NaOH}$ .

Las cenizas insolubles de la fibra, se encuentran en una proporción ligeramente mayor en las aplicaciones de  $\text{Ca(OH)}_2$  cuando se tienen las humedades del 20% y 40% en comparación con el  $\text{NaOH}$ ; pero con la humedad al 60% el porcentaje de cenizas insolubles es ligeramente mayor con las aplicaciones de  $\text{NaOH}$  que con  $\text{Ca(OH)}_2$ .

## DIGESTIBILIDAD IN VITRO DE LA MATERIA SECA Y LA MATERIA ORGANICA.

Los resultados obtenidos mediante la DIVMS y DIVMO, se encuentran en el Cuadro 2, y nos indican que hubo una marcada diferencia entre los compuestos químicos y las diferentes humedades en los tratamientos, ya que se encontró que la mejor humedad fué del 40% y el mejor compuesto químico fué el NaOH. También se observó que la concentración que mayor efecto tuvo sobre la digestibilidad de la materia seca fué del 6% con NaOH, pero no así con el Ca(OH)<sub>2</sub>, ya que con la humedad del 20% se obtuvo una mayor digestibilidad de la materia seca; y con el 40% de humedad la mejor concentración del Ca(OH)<sub>2</sub> fué del 4%; y cuando se aumentó la humedad al 60%, la digestibilidad de la materia seca fué mayor con la concentración del 6% de Ca(OH)<sub>2</sub>.

La DIVMO fué mayor con las aplicaciones de NaOH que con Ca(OH)<sub>2</sub>; y se encontró que el mejor aprovechamiento de la materia orgánica ocurre cuando se aplica el 40% de humedad a la paja de trigo con una concentración al 6% de NaOH. Pero con las aplicaciones de Ca(OH)<sub>2</sub> se observó que el mayor aprovechamiento de la digestibilidad de la materia orgánica, ocurrió con el 20% de humedad y con el 2% de concentración; encontrándose también que con la humedad al 40% la mejor digestibilidad de la materia orgánica fué con la concentración al 4%; y con el 60% de humedad la digestibilidad de la materia orgánica fué mejor

con la concentración al 6%.

Las diferencias que hubo entre la DIVMS y DIVMO fueron pocas en cuanto a las concentraciones y humedades, no siendo así entre los compuestos químicos ya que fue mayor el aprovechamiento con las aplicaciones de NaOH que con  $\text{Ca(OH)}_2$ .

#### ANÁLISIS ESTADÍSTICOS.

Los resultados de los análisis estadísticos, se encuentran en los cuadros 3, 4, 5, 6 y 7.

Los resultados del análisis de varianza en donde se consideraron los compuestos químicos y las concentraciones se encuentran en el cuadro 3, y nos indican que hay diferencias altamente significativas ( $P < 0.01$ ) entre los compuestos químicos sobre los parámetros observados, y que hay diferencia altamente significativa ( $P < 0.01$ ) entre las concentraciones sobre la DMS, DMO, FDN, FAD, y hemicelulosa y diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) sobre lignina, no habiendo diferencia significativa sobre la celulosa.

Entre las repeticiones no se encontró diferencia significativa; y se encontró interacciones altamente significativas ( $P < 0.01$ ) entre compuestos químicos y concentraciones para los siguientes parámetros: DMS, DMO, FDN, FAD, y no se encontró diferencia en los demás parámetros.

De el análisis de varianza donde se consideran los compuestos químicos y la humedad, los resultados se en-

cuentran en el Cuadro 4, los cuales nos dicen que se encontró diferencia altamente significativa ( $P < 0.01$ ) entre los compuestos químicos sobre los parámetros observados. Notándose que hay diferencias altamente significativas ( $P < 0.01$ ) entre las humedades sobre todos los parámetros observados, con excepción de FAD y CELULOSA: habiendo interacciones altamente significativas ( $P < 0.01$ ) entre compuestos químicos y humedades sobre los parámetros DMS, DMO, HEMICELULOSA, LIGNINA, SILICE, CENIZAS INSOLUBLES y diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) sobre FDN, FAD: sobre celulosa no hubo diferencia significativa.

En el Cuadro 5 se encuentran los resultados del análisis de varianza considerando las concentraciones y humedades, encontrándose que hubo diferencia altamente significativa ( $P < 0.01$ ) entre las concentraciones sobre DMS, DMO, FDN, lignina y diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) sobre sílice, cenizas insolubles, y no se encontró significancia sobre FAD, celulosa y hemicelulosa. Se observaron diferencias altamente significativas ( $P < 0.01$ ) entre las humedades sobre DMS, DMO, FDN, lignina, diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) sobre sílice, cenizas insolubles y no se encontró significancia sobre FAD, celulosa y hemicelulosa.

La interacción concentración-humedad fué altamente significativa ( $P < 0.01$ ) para lignina, no habiendo significancia sobre los demás parámetros.

En el Cuadro 6, se encuentran las medias de los resultados de la prueba de Duncan, encontrándose que según los resultados obtenidos en el cuadro 6(a), el NaOH tiene mejor acción que el  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  sobre la DMS, DMO, FDN, lignina, sílice y cenizas insolubles.

En el cuadro 6(b) donde se considera únicamente la concentración de los compuestos químicos (sin considerar los compuestos químicos ni las humedades utilizadas), se observa que la concentración del 6% es el que tuvo mejor efecto sobre todos los parámetros observados, en comparación con las otras concentraciones.

Los resultados obtenidos en el cuadro 6(c) considerando únicamente la humedad nos indica que la humedad al 40% tuvo mejores efectos sobre los principales y la mayoría de los parámetros observados.

#### CORRELACIONES.

Los resultados del análisis de correlaciones se encuentran en el Cuadro 7.

La digestibilidad de la M.S. y M.O. estén igualmente correlacionadas con todos los parámetros determinados, observándose que los contenidos de FDN, celulosa, hemicelulosa, lignina, sílice, cenizas insolubles, presentan una correlación **negativa** y altamente significativa ( $P < 0.01$ ), con excepción del contenido de FAD que está correlacionada positiva y altamente significativa ( $P < 0.01$ ).

La FDN está correlacionada negativa y altamente sig-

nificativa ( $F < 0.01$ ) con FAD; positiva y significativamente ( $P < 0.05$ ) con lignina, positiva y altamente significativa con celulosa, hemicelulosa, sílice y cenizas insolubles.

La FAD está correlacionada negativa y significativamente ( $P < 0.05$ ) con lignina y cenizas insolubles; encontrándose negativa y altamente significativa ( $P < 0.01$ ) con celulosa, hemicelulosa y sílice.

La celulosa se encuentra correlacionada positiva y significativamente ( $P < 0.05$ ) con lignina y altamente significativa ( $P < 0.01$ ) con hemicelulosa y tuvo una correlación negativa y altamente significativa ( $P < 0.01$ ) con cenizas insolubles, encontrándose que para sílice tuvo una correlación negativa pero no significativa.

La hemicelulosa está correlacionada positiva y altamente significativa ( $P < 0.01$ ) con lignina, sílice y cenizas insolubles; y la lignina se encuentra correlacionada negativa y significativamente ( $P < 0.05$ ) con sílice y cenizas insolubles; y el sílice está correlacionada positiva y altamente significativa ( $P < 0.01$ ) con las cenizas insolubles.

Cuadro 1. Análisis químicos de los constituyentes de la fibra de paja de trigo tratada con NaOH y Ca(OH)<sub>2</sub>.

Tratamientos Comp. Quím.	Conc.	FDN	FAD	CEL	HEMI	LIC	Si	CI
		0 % H U M E D A D						
Testigo	0 %	80.37	56.40	41.00	23.90	8.49	7.05	7.10
		27 % H U M E D A D						
NaOH	2 %	74.33	54.84	39.47	19.48	8.86	6.30	6.50
NaOH	4 %	70.27	54.14	37.62	16.13	9.44	6.75	7.19
NaOH	6 %	67.74	51.69	37.52	16.05	8.31	5.69	5.84
Ca(OH) <sub>2</sub>	2 %	77.93	44.39	39.56	33.54	9.53	6.12	6.50
Ca(OH) <sub>2</sub>	4 %	79.12	42.89	40.21	36.22	10.42	6.05	6.33
Ca(OH) <sub>2</sub>	6 %	78.17	43.77	40.63	34.39	8.89	6.18	6.29
		40 % H U M E D A D						
NaOH	2 %	74.20	54.34	38.72	19.86	9.16	6.26	6.45
NaOH	4 %	69.70	54.28	38.58	15.41	9.27	6.43	6.74
NaOH	6 %	64.67	53.14	38.60	11.53	9.07	5.24	5.50
Ca(OH) <sub>2</sub>	2 %	78.45	41.77	41.03	36.67	8.90	7.69	7.83
Ca(OH) <sub>2</sub>	4 %	73.12	43.53	39.28	29.58	8.48	8.59	8.79
Ca(OH) <sub>2</sub>	6 %	71.97	42.65	40.84	29.31	8.65	7.16	7.51
		60 % H U M E D A D						
NaOH	2 %	74.05	55.14	38.67	18.91	8.81	7.07	7.65
NaOH	4 %	70.07	54.25	39.06	15.81	9.12	5.84	6.07
NaOH	6 %	62.30	46.23	39.12	16.07	9.04	5.32	5.66
Ca(OH) <sub>2</sub>	2 %	75.70	42.94	40.54	32.76	9.46	6.78	6.76
Ca(OH) <sub>2</sub>	4 %	68.24	43.63	39.83	24.61	9.63	6.66	6.84
Ca(OH) <sub>2</sub>	6 %	69.69	43.26	39.20	26.42	10.00	7.14	7.37

Cuadro 2. Digestibilidad IN VITRO de la materia seca y materia orgánica de la paja de trigo tratada con NaOH y Ca(OH)2.

Conc.	% D I V M S		% D I V M O	
	NaOH	Ca(OH)2	NaOH	Ca(OH)2
20 % HUMEDAD				
2 %	46.25	44.90	44.56	44.37
4 %	46.90	35.97	44.10	33.57
6 %	60.59	41.52	58.58	39.30
40 % HUMEDAD				
2 %	52.27	37.81	50.74	37.33
4 %	63.06	42.57	61.77	41.94
6 %	68.14	39.55	66.80	37.40
60 % HUMEDAD				
2 %	39.65	34.51	38.37	32.31
4 %	48.23	40.86	47.64	38.35
6 %	55.54	42.81	54.57	41.10

Cuadro 3. Análisis de varianza considerando los compuestos químicos, las concentraciones, la DIVMS y DIVMO.

	DMS	DMO	FDN	FAD	CEL	HEMI	LIG	Si	CI
Comp. Quím.	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Concs.	**	**	**	**	NS	**	*	*	*
Repets.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**	**

#### INTERACCIONES

Comp. Quím.									
X									
Concs.	**	**	**	**	NS	NS	NS	NS	*
Comp. Quím.									
X									
Repets.	NS								
Concs.									
X									
Repets.	NS								

\*\* Altamente significativo  $P < 0.01$

\* Significativo  $P < 0.05$

NS No Significativo  $P > 0.05$

Cuadro 4. Análisis de varianza considerando los compuestos químicos, las humedades, la DIVMS y DIVMO.

	DMS	DMO	FDN	FAD	CEL	HEMI	LIG	Si	CI
Comp. Quím.	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Humedad	**	**	**	NS	NS	**	**	**	**
Repeticiones	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	**	**

#### INTERACCIONES

Comp. Quím. X Humedad	**	**	*	*	NS	**	**	**	**
Comp. Quím. X Repets.	NS								
Humedad X Repets.	NS								

\*\* Altamente significativo P < 0.01

\* Significativo P < 0.05

NS No Significativo P > 0.05

Cuadro 5. Análisis de varianza considerando la concentración de los compuestos químicos, las humedades, la DIVMS y DIVMO.

	DMS	DMO	FDN	FAD	CEL	HEMI	LIG	Si	CI
Concentración	**	**	**	NS	NS	NS	**	*	*
Humedad	**	**	**	NS	NS	NS	**	*	*
Repeticiones	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**	**
INTERACCIONES									
Concs. X Hum.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**	NS	NS
Concs. X Rep.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Hum. X Rep.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
**	Altamente significativo			$P < 0.01$					
*	Significativo			$P < 0.05$					
NS	No Significativo			$P > 0.05$					

Cuadro 6. Medias y resultados de la prueba de Duncan, considerando compuestos químicos, concentración y humedad.

	DMS	DMO	FDN	FAD	CEL	HEMI	LIG	Si	CI
(a)									
NaOH	53.4 <sup>a*</sup>	51.9 <sup>a</sup>	69.7 <sup>a</sup>	53.1 <sup>b</sup>	38.6 <sup>b</sup>	16.6 <sup>b</sup>	9.0 <sup>a</sup>	6.1 <sup>a</sup>	6.4 <sup>a</sup>
Ca(OH) <sub>2</sub>	40.0 <sup>b</sup>	38.4 <sup>b</sup>	74.7 <sup>b</sup>	43.2 <sup>a</sup>	40.1 <sup>a</sup>	31.5 <sup>a</sup>	9.3 <sup>b</sup>	6.9 <sup>b</sup>	7.1 <sup>b</sup>
(b)									
2%	42.6 <sup>b</sup>	41.3 <sup>b</sup>	75.8 <sup>b</sup>	48.9 <sup>a</sup>	39.7 <sup>a</sup>	26.9 <sup>a</sup>	9.1 <sup>a</sup>	6.7 <sup>b</sup>	6.9 <sup>b</sup>
4%	46.3 <sup>b</sup>	44.6 <sup>b</sup>	71.7 <sup>b</sup>	48.8 <sup>a</sup>	39.1 <sup>a</sup>	22.9 <sup>b</sup>	9.4 <sup>b</sup>	6.7 <sup>b</sup>	7.0 <sup>b</sup>
6%	51.4 <sup>a</sup>	49.7 <sup>a</sup>	69.1 <sup>a</sup>	46.8 <sup>a</sup>	39.3 <sup>a</sup>	22.3 <sup>b</sup>	9.0 <sup>a</sup>	6.2 <sup>a</sup>	6.4 <sup>a</sup>
(c)									
20%	46.0 <sup>b</sup>	44.1 <sup>b</sup>	74.6 <sup>b</sup>	48.6 <sup>a</sup>	39.2 <sup>a</sup>	26.0 <sup>a</sup>	9.2 <sup>b</sup>	6.2 <sup>a</sup>	6.4 <sup>a</sup>
40%	50.6 <sup>a</sup>	49.3 <sup>a</sup>	72.0 <sup>a</sup>	48.3 <sup>a</sup>	39.5 <sup>a</sup>	23.7 <sup>a</sup>	8.9 <sup>a</sup>	6.9 <sup>b</sup>	7.1 <sup>b</sup>
60%	43.6 <sup>b</sup>	42.1 <sup>b</sup>	70.0 <sup>a</sup>	47.6 <sup>a</sup>	39.4 <sup>a</sup>	22.4 <sup>a</sup>	9.3 <sup>b</sup>	6.5 <sup>ab</sup>	6.7 <sup>ab</sup>

\* Cifras con diferente lateral son significativas ( $P < 0.05$ )

a) Compuestos químicos.

b) Concentración.

c) Humedades.

Cuadro 7. Correlaciones entre los constituyentes de la fibra de la paja de trigo.

	DMS	DMC	FDN	FAD	CEL	HEMI	LIG	Sl	CI
LMS	—	.99**	(-).67**	.58**	(-).51**	(-).77**	(-).24**	(-).44**	(-).40**
DMO	—	—	(-).66**	.57**	(-).50**	(-).76**	(-).25**	(-).42**	(-).38**
FDN	—	—	—	(-).33**	.47**	.79**	.17*	.24**	.24**
FAD	—	—	—	—	(-).59**	(-).84**	(-).22*	(-).29**	(-).22*
CEL	—	—	—	—	—	.65**	.17*	(-).14 <sup>MS</sup>	(-).24**
HEMI	—	—	—	—	—	—	.24**	.33**	.29**
LIG	—	—	—	—	—	—	—	(-).18*	(-).18*
Sl	—	—	—	—	—	—	—	—	.94**
CI	—	—	—	—	—	—	—	—	—

\*\* Altamente significativa P &lt; 0.01

\* Significativa P &lt; 0.05

NS No Significativa P &gt; 0.05

## DISCUSION

En Sonora, la paja de trigo es uno de los esquilmos que mas se desperdician y que es poco utilizada por los productores; esta falta de utilización es una de las razones que se tomaron en cuenta para hacer el presente estudio, y debido a las pérdidas de este forraje al dejarse amontonado al aire, se utilizó el ensilado de la paja de trigo a la cual se le añadieron soluciones alcalinas, porque según Leask (1973) al contacto con el agua se efectúa una hidratación en las paredes de la fibra (17) y ésto tal vez permite un mayor contacto de las sustancias químicas con los componentes de la fibra y probablemente el efecto del tratamiento sea mayor. Además Guyer (1976) recomienda ensilar los residuos de cosechas tratadas con líquidos cáusticos e indica que estos materiales están listos para utilizarse después de 48 horas en el silo (13).

Según Goering y Van Soest (1970) (10), un método in directo para la determinación de la lignina por medio del permanganato, permite la determinación de la celulosa y cenizas insolubles también. La determinación de ce nizas insolubles es una manera de estimar el contenido de sílice que en muchos forrajes, es factor sobresaliente en la reducción de la digestibilidad. Para estas determinaciones se prefirió el método del permanganato sobre el del ácido sulfúrico al 72% debido a que presenta

algunas ventajas que pueden resumirse en los siguientes puntos (10):

- 1) El procedimiento es más corto.
- 2) Los reactivos son menos corrosivos y no exigen normalización.
- 3) Los resultados son menos afectados por el daño que sufre la muestra debido al calor de los aparatos empleados y por consiguiente, se aproximan más al verdadero valor de contenido de lignina.

Según Goering y Van Soest (1970) (10), el procedimiento detergente neutro para determinar los componentes de la pared celular es un método rápido para fibra total en alimentos fibrosos vegetales, y aparentemente divide la materia seca al punto de que separa los constituyentes nutricionales solubles y accesibles, de aquellos que no son totalmente aprovechables ó que dependen de la fermentación microbiológica para su aprovechamiento; y que el procedimiento ácido-detergente permite una rápida determinación de la lignocelulosa en los alimentos.

La realización de éstos análisis químicos se hizo porque son los que mejor evalúan el valor nutritivo de un forraje tosco según Goering y Van Soest (10).

Para la determinación de las digestibilidades IN VI-TRO se seleccionó el método descrito por Barnes y Lynch (3) debido a que se logra con él una gran generalización del análisis, además de que se simplifica considerablemente.

Para la determinación de la digestibilidad, se prefirió el tamaño de las partículas de paja de 1 mm. ya que el uso de fracciones mayores disminuye los valores de la digestibilidad IN VITRO. Así mismo se seleccionó el uso de muestras de 0.25 gr. de peso ya que cantidades mayores de 0.5 gr. bajan los valores de la digestibilidad IN VITRO (19).

La exposición del líquido ruminal al aire libre y a la temperatura ambiente dentro de un límite de 2 horas no afecta su poder celulolítico (7), sin embargo, en nuestro caso, el líquido ruminal extraído, se depositó en un termo precalentado a una temperatura de 39 a 40°C, y se tuvo la precaución de mantenerlo siempre en baño maría a 39°C y en atmósfera de CO<sub>2</sub> hasta el momento de usarse, y generalmente este tiempo no fué mayor de una hora.

Para la incubación de las muestras en el baño maría no es esencial un control estricto de la temperatura, ya que la máxima digestibilidad se obtiene en un rango comprendido entre 38 y 43°C, y se usó la temperatura de 39°C porque la desviación estandar es menor en este punto (20).

Los resultados de este estudio indican que la digestibilidad de la paja de trigo fué incrementada por los tratamientos químicos a base de soluciones alcalinas como NaOH y Ca(OH)<sub>2</sub>. Esto coincide con la opinión de algunos investigadores; en que las soluciones alcalinas a base de NaOH, KOH, NH<sub>4</sub>OH, etc., aumentan notablemente la digestibilidad de la materia seca (2, 25, 35).

En los resultados del tratamiento con el 20% de humedad, la DIVMS y DIVMO fueron mayores con NaOH que con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , y se encontró que con la aplicación de la solución al 6% de NaOH la digestibilidad de la paja de trigo tratada fué de 60.59% en comparación de la paja no tratada que fué de 43.6%; con la solución al 4% de NaOH se tuvo una DIVMS de 46.9% y con el 2% de NaOH una DIVMS de 46.25%.

Oladade (1970) reporta que el tratamiento de la paja de cebada por 24 horas con una solución al 8% de NaOH produce una digestibilidad de la materia seca del orden del 66% (26).

Con las aplicaciones de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , se obtuvo con la solución al 2% una digestibilidad de la materia seca de 44.9% Clawson (1970) menciona que se obtuvo una digestibilidad de la paja de arroz de 55% cuando se trató con 1% de hidróxido de calcio (8). Con el 4% de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  se tuvo una DIVMS de 35.97% y 41.52% con 6% de hidróxido de calcio.

En el tratamiento con 40% de humedad, la concentración de NaOH que mayor efecto tuvo sobre la digestibilidad fué de 6%, ya que se obtuvo una DIVMS de 68.14% mientras que la no tratada tenía una digestibilidad de 43.6% con el 4% de NaOH se obtuvo una DIVMS de 63.06%; y con el 2% de NaOH una DIVMS de 52.27%. Estos son resultados que se pueden comparar con los reportados por Shin (1975) el cual con tratamientos de NaOH en la paja de trigo obtuvo incrementos en la DIVMS casi de 72% (30).

En el tratamiento con hidróxido de calcio se obtuvo una mayor digestibilidad con el 4% ya que se encontró una

DIVMS de 42.57%; con el 6% una DIVMS de 39.55%; y con 2% una DIVMS de 37.81%, comparadas con 43.6% de DIVMS de la paja no tratada.

En el tratamiento con 60% de humedad, la solución al 6% de NaOH fué la que tuvo mayor influencia sobre la digestibilidad de la paja de trigo, obteniéndose una DIVMS de 55.54%; con 4% de NaOH una DIVMS de 48.23%, comparadas con 43.6% de la DIVMS de la paja no tratada.

Estos resultados son similares a los obtenidos por Mowat en Canadá, donde trató paja de cebada con una solución al 4% de NaOH y obtuvo con ovejas 54% de digestibilidad de la materia seca (21).

Con las aplicaciones de hidróxido de calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) se observaron las mejores digestibilidades de la paja con la concentración del 6%, obteniéndose 42.81% de DIVMS; con el 4% una DIVMS de 40.86% y de 34.51% de DIVMS con el 2% de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , comparada con la paja no tratada que tuvo una DIVMS de 43.6%.

El rango en el mejoramiento de la digestibilidad de la paja de trigo fué de 1.30 a 24.54% dependiendo de las concentraciones de NaOH,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  y de las humedades. El rango de las concentraciones en los tratamientos es de 2 a 6 gr. NaOH/100 gr., de materia seca y 2 a 6 gr. de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  por 100 gr. de materia seca.

Estos resultados son comparables con los indicados por Olalade (1970), Klopfenstein (1972), Summers y Sherrod (1975), en los que el aumento de la digestibilidad va

rió de 2.5 a 19.5%; y el rango de las concentraciones en tratamientos con NaOH es de 2 a 8 gr. NaOH/100 gr. de materia seca (26, 16, 32).

El NaOH tuvo un mejor efecto sobre la FDN porque según Van Soest (10) al bajar el contenido de FDN aumenta la cantidad de sustancias aprovechables por los microorganismos del rumen, y este efecto está relacionado directamente proporcional con la humedad. Hubo una reducción de aproximadamente **20% en el contenido de FDN** en la paja tratada (62%) al compararla con la paja no tratada (80.3%); estos resultados son similares a los obtenidos por Yu Yu (1975) (37).

La variación y el contenido de FAD se debió principalmente a la clase ó tipo de compuesto químico utilizado, porque no se notó diferencia en las concentraciones ni en las diferentes humedades utilizadas, observándose que el  $\text{Ca(OH)}_2$  tiene un mejor efecto sobre este constituyente, ya que lo reduce aproximadamente en un 10% al compararla con el resultado obtenido con la paja original.

Yu Yu (1975) al aplicar 2% y 6% de NaOH obtuvo 58.8% y 59.1% respectivamente en el contenido de FAD (37) siendo estos resultados similares a los obtenidos en este trabajo.

El contenido de Celulosa permanece casi constante en todos los tratamientos, y la única diferencia encontrada en los resultados fué entre los compuestos químicos, y el contenido de hemicelulosa decrece al aumentar la concentración de los compuestos químicos utilizados; pero se encon-

tró que tuvo mejor efecto el NaOH sobre la hemicelulosa háciéndola más soluble, incrementando así el contenido celular soluble y por lo tanto se aumenta la digestibilidad de la materia seca.

Resultados similares fueron encontrados por Yu Yu (1975) (37). Riquelme, menciona que Gharib (1975) usando diferentes temperaturas y concentraciones de NaOH en corteza de álamo, el contenido de celulosa no cambia y el contenido de hemicelulosa tiende a decrecer con altas concentraciones de NaOH (28).

En los diferentes factores que se estudiaron en este trabajo, no se encontró decremento en el contenido de lignina, pero en sílice, sí se observó un decremento en su contenido, lo que llevó a obtener mayor digestibilidad de la materia seca de la paja de trigo.

## RESUMEN Y CONCLUSIONES

El presente trabajo se realizó en el Centro de Investigaciones Pecuarías del Estado de Sonora (CIPES), en Car**á**, Sonora, con el objeto de determinar los cambios en la composición química de la paja de trigo, tratada con diferentes soluciones alcalinas y posteriormente ensilada, y los efectos sobre la digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS). El diseño fué un arreglo factorial 2 X 3 X 3 X 6, considerando dos compuestos alcalinos (NaOH y Ca(OH)<sub>2</sub>); a tres niveles de concentración (2, 4 y 6%) en base al peso de materia seca y tres porcentajes de humedad de paja (20, 40 y 60%). La paja se cortó en fracciones de aproximadamente 3 cm. se hicieron las soluciones alcalinas y se rociaron sobre la paja hasta alcanzar 20, 40 y 60% de humedad; posteriormente se ensiló en bolsas de polietileno (97 X 55 cm.). A los 30 días de haberse ensilado, se muestreó para la determinación de materia seca. Las determinaciones de fibra detergente neutro (FDN), fibra ácido detergente (FAD), celulosa (Cel), lignina (Lig) y sílice (Si), se hicieron por los métodos descritos por Goering y Van Soest; la digestibilidad in vitro por la técnica de Barnes y Lynch. Todos los tratamientos tuvieron su mayor efecto sobre la DIVMS y fibra detergente neutro (FDN), la fibra ácido detergente, celulosa, lignina y sílice permanecieron casi constantes. Al comparar los porcentajes obtenidos de 63.06 y 68.14 de la DIVMS los tratamientos con NaOH al 4 y 6% de concentración y 40%

de humedad, con los mismos tratamientos de  $\text{Ca(OH)}_2$  de 42.57 y 39.55 y la paja de trigo sin tratar de 43.6, se logró un aumento de 20% ( $P < 0.05$ ) aproximadamente. Los resultados obtenidos para la  $\text{TDN}$  con los tratamientos de  $\text{NaOH}$  al 6% y niveles de humedad de 40 y 60% fueron 64.67 y 62.30 respectivamente, siendo menores ( $P < 0.05$ ) que los obtenidos para la paja sin tratar (80.3%) así como también a los obtenidos con  $\text{Ca(OH)}_2$  al 4% y 6% de concentración y 60% de humedad, de 68.24 y 69.69, respectivamente.

Tomando en cuenta los resultados obtenidos en el presente estudio, se concluye:

1. Los compuestos químicos tienen un efecto diferente sobre la digestibilidad de la materia seca y la composición química de la paja de trigo.

2. Al incrementar la concentración de los compuestos químicos, se aumenta la digestibilidad de la materia seca de la paja.

3. La humedad ayuda a la acción de los compuestos químicos sobre la materia seca de la paja.

4. El compuesto químico que mejor efecto tuvo sobre la composición química y digestibilidad de la paja de trigo fué el  $\text{NaOH}$ .

5. El mejor tratamiento sobre la digestibilidad y componentes de la fibra, fué al utilizar  $\text{NaOH}$  a la concentración de 6% y a 40% de humedad.

## BIBLIOGRAFIA

- 1) ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMIST. Official methods of analysis. 11a. edition. Washington, D. C. 1970.
- 2) ANDERSON, D. C. and A. T. RALSTON. Chemicals treatment of Rye grass straw. Journal of Animal Sci. Vol. 37:1. p. 148-152. 1973.
- 3) BARNES, R. F. and W. G. LYNCH. Two-stage IN VITRO rumen fermentation technique. U.S. Regional Pasture Research Laboratory. University Park, Pennsylvania. 1967.
- 4) BAKER, T. C., G. V. WUICKES, D. G. BENTLEY, R. R. JOHNSON and A. L. MOXON. The influence of certain physical properties of purified celluloses and forage celluloses on their digestibility by rumen microorganisms in vitro. Journal Animal Sci. 18:655. 1959.
- 5) BECKMAN, E. Conversion of grain straw and lupins into feeds of high nutritive value. Chem abstr. 16:765. 1921.
- 6) BRINGAS, G. H. M. Digestibilidad IN VITRO de la grama China (*Cathestecum erectum*), paja de trigo y heno de alfalfa. Hermosillo, Son. México. Universidad de Sonora. 1964. (Tesis Profesional).
- 7) CASTELLANOS RUELAS, A. F. Evaluación de la digestibilidad IN VITRO y Composición Química de dos pastos tropicales en cuatro etapas de madurez. México, D. F. U.N.A.M. 1974. (Tesis Profesional).
- 8) CLAWSON, W. J. A review of rice straw utilization by livestock. Agricultural Extension and Department of Animal Science. University of California. 1970.
- 9) CRAMPTON, E. W. Nutrición Animal Aplicada. Andrés Marcos Barrado y Miguel Abad Gavin. Zaragoza, España. Editorial Acribia. p. 415. 1962.
- 10) GOERING, H. K. and P. J. VAN SOEST. Forage Fiber analysis. (apparatus, reagents, procedures and some application). Agricultural Handbook 379. USDA. ARS. 1970.

- 11) GUGGOLZ, J. R., M. SAUNDERS, T. KLOPFENSTEIN and G. O. KOHLER. Enzymatic evaluation of processes for improving agricultural wastes for ruminant feeds. *J. Anim. Sci.* 33:167. 1971.
- 12) GUGGOLZ, J. G., O. KOHLER and T. J. KLOPFENSTEIN. Composition and improvement of grass straw for ruminant nutrition. *J. Anim. Sci.* 33:1. 1971.
- 13) GUYER, P. Q. Low quality feedstuffs-alternatives to grain for beef rations. *J. Anim. Sci.* 42:3. 1976.
- 14) HARRIS, C. E. Compilación de datos analíticos y biológicos en la preparación de cuadros de composición de alimentos para el uso en los trópicos de América Latina. Institute of food and Agricultural Sciences, Center of Tropical Agricultural. Departament of Animal Sciences, University of Florida. 1974.
- 15) KLOPFENSTEIN, T. Increase in feed value seen for crop residues. Reviewed by J. D. Kensall. *Feedstuffs* Minneapolis, Minn. 47(4): 72. 1975.
- 16) KLOPFENSTEIN, T. J., V. E. KRAUSE, M. J. JONES and W. WOODS. Chemical treatmentt of low quality forages. *J. Anim. Sci.* 35:418. 1972.
- 17) LEASK, W. C. and T. B. DAYNARD. Effects of percent moisture and compaction preasure on the ensiling of corn stover in laboratory silos. *Can. J. Plant. Sci.* 53:523. 1973.
- 18) MAYNARD, L. A. Nutrición Animal. Eduardo Escalona. 3a. Edición. México, UTEHA. 1955.
- 19) MC LEOD, M. N. and D. J. MINSON. Sources of variation in the IN VITRO digestibility of tropical grasses. *J. Bri. Grassld. Soc.* 24:244. 1969.
- 20) MINSON, D. J. and M. N. MC LEOD, The IN VITRO Technique. Its modification for estimating digestibility of large numbers of tropical pastures samples. Division of tropical pastures. Technical papes No. 8. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Australia. 1972.
- 21) MOWAT, D. N. Increasing the availshility of the energy in roughages by sodium hydroxide treatment. *Proc. Univ. of Gulph Nutr. Con. Ontario, Canadá.* 1970.

- 22) NATZ, D. Straw value for beef gets more attention. Feedstuffs. Minneapolis, Minn. 47(7):4. 1975.
- 23) NEHRING, K. Utilization of the energy of cellulose and sucrose by cattle, sheep and pigs. Third Symposium of Energy Metabolism, Academic Press. p. 249. (1965).
- 24) NIE, N. H., C. HADLAI H., G. JENKINS, K. STEINBRENNER and D. H. BENT. Statistical Package for the Social Sciences. Second edition (SPSS). McGraw-Hill Book Company, New York. p. 398-430. 1975.
- 25) OLALADE, S. G. and D. N. MOWAT. In Vitro digestibility of sodium hydroxide treated straw. J. Anim. Sci. 29:167. (Abstr.). 1969.
- 26) OLALADE, G. G. Effect of processing methods on the in vitro digestibility of sodium hydroxide treated roughages. Can. J. A. S. 50:657. 1970.
- 27) PIGDEN, W. J. and D. P. HEANEY. Lignocellulose in ruminant nutrition. Amer. Chem. Soc. Adv. in Chem. Ser. 95:245. 1969.
- 28) RIQUELME, E. Use of wood cellulose as an energy source in ruminant rations. Washington State University. 1976. (Tesis Ph.D.).
- 29) SAXENA, S. K., D. E. OTTERLEY, J. D. DONKER and A. L. GOOD. Effects of feeding alkali-treated oat straw supplemented with soybean meal or nonprotein nitrogen on growth of lambs and on certain bloods and rumen liquor parameters. J. Anim. Sci. 33:485. 1971.
- 30) SHIN, H. T., U. S. GARRIGUS and F. N. OWENS. Nylon bag studies of NaOH treated wheat straw. J. Anim. Sci. 41:339. (Abstr.). 1975.
- 31) SINGH, M. and M. G. JACKSON. The effect of different levels of sodium hydroxide spray treatment of wheat straw and digestibility by cattle. J. Agric. Sci. Camb. 77:5. 1971.
- 32) SUMMERS, C. B. and L. B. SHERROD. Sodium hydroxide treatment of different roughages. J. Anim. Sci. 41:420 (Abstr.). 1975.
- 33) TOMLIN, D. C., R. R. JOHNSON and B. A. DEHORITY. Relationship of lignification to in vitro cellulose digestibility of grasses and legumes. J. Anim. Sci. 24:161. 1965.

- 34) VAN SOEST, P. J. and P. H. JONES. Effect of silica in forages upon digestibility. J. Dairy. Sci. 51:1644. 1968.
- 35) WILSON, R. K. and W. J. PIGDEN. Effect of a sodium hydroxide treatment on the utilization of wheat straw and poplar wood by rumen microorganisms. Can. J. Anim. Sci. 44:122. 1964.
- 36) WOODMAN, H. E. and R. E. EVANS. The nutritive value of fodder cellulose from wheat straw. I. Its digestibility and feeding value when fed to ruminants and pigs. J. Anim. Sci. 37:202. 1947.
- 37) YUYU, J. W., THOMAS and R. S. EMERY. Estimate nutritive value of treated forages for ruminants. J. Anim. Sci. 41:6. 1975.