

157.  
24



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA**

**COMPOSICION QUIMICA Y DIGESTIBILIDAD DE LA PAJA  
DE AVENA  
ENSILADA CON SOLUBLES RESIDUALES DE LA  
PRODUCCION ACIDO CITRICO**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:**

**MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA**

**P R E S E N T A :**

**EVELIA YESCAS ORTIZ**

**ASESORES:**

**DRA. MA. ESTHER ORTEGA CERRILLA**

**Q.F.B. MA. ELENA CARRANCO JAUREGUI**

**DR. FERNANDO PEREZ GIL ROMO**



**MEXICO, D.F.**

**1996**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

## DEDICATORIA

A mi **esposo**:

Por todo su amor y apoyo brindado.

A mis **hijos**:

Por los cuales mi esfuerzo siempre será mayor.

A mis **padres**:

Por darme la vida y siempre estar cerca de mí.

A mis **hermanos**:

Por el cariño que siempre me han demostrado.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México

A la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

Al Departamento de Nutrición Animal del Instituto  
Nacional de Nutrición "Salvador Zuvirán"

A mis asesores:

Por todo su apoyo y muy en especial a la Dra.  
**Ma. Esther Ortega Cerrilla**, por todo su tiempo,  
paciencia y por sus conocimientos que compartió  
conmigo, gracias.

A mi jurado:

Por sus consejos y recomendaciones

COMPOSICION QUIMICA Y DUGESTIBILIDAD DE LA PAJA DE AVENA ENSILADA  
CON RESIDUOS SOLUBLES DE LA PRODUCCION  
DE ACIDO CITRICO

Tesis presentada ante la División de Estudios Profesionales de  
la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la  
Universidad Nacional Autónoma de México,  
para la obtención del título de Médico  
Veterinario Zootecnista

Por

EVELIA YESCAS ORTIZ

Asesores:

Dra. Ma. Esther Ortega Cerrilla  
Q.F.B. Ma. Elena Carranco Jaúregui  
Dr. Fernando Pérez Gil Romo

MEXICO, D. F.

1996.

III

## CONTENIDO

	Página
RESUMEN.....	1
INTRODUCCION.....	3
MATERIAL Y METODOS.....	28
RESULTADOS.....	31
DISCUSION.....	35
LITERATURA CITADA.....	41
CUADROS.....	55

## INDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Producción de avena durante el año de 1992.....	55
Cuadro 2. Análisis de los residuos solubles de la producción de ácido cítrico (RSPAC).....	56
Cuadro 3. Contenido de humedad, cenizas, proteína bruta, nitrógeno amoniacal, energía bruta y digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca de la paja de avena y los residuos solubles de la producción de ácido cítrico.....	57
Cuadro 4. Contenido de fibra detergente neutro, fibra detergente ácido, lignina, celulosa y sílice en la paja de avena y en los residuos solubles de la producción de ácido cítrico.....	58
Cuadro 5. Contenido de humedad, cenizas, proteína bruta, energía bruta, y digestibilidad <i>in vitro</i> , de los ensilados de paja de avena con 50% de residuos solubles de la producción de ácido cítrico, con y sin agua, a los cero y 30 días.....	59
Cuadro 6. Contenido de fibra detergente neutro, fibra detergente ácido, lignina, celulosa y sílice en los ensilados de paja de avena con 50% de residuos solubles de la producción de ácido cítrico, con y sin agua, a los cero y 30 días.....	60
Cuadro 7. Valores de pH, nitrógeno amoniacal y ácido láctico, de los ensilados de paja de avena con 50% de residuos solubles de la producción de ácido cítrico, con y sin agua, a los cero y 30 días.....	61

## RESUMEN

Evelia Yescas Ortíz. Composición química y digestibilidad de la paja de avena ensilada con residuos solubles de la producción de ácido cítrico. Bajo la asesoría de: Dra. Ma. Esther Ortega Cerrilla, Q.F.B. Ma. Elena Carranco Jaúregui y Dr. Fernando Pérez Gil Romo.

Uno de los problemas de la industria farmacéutica, es la eliminación de los residuos solubles de la producción de ácido cítrico (RSPAC); por lo que, la utilización de éstos en el tratamiento de la paja de avena, mejora su calidad nutritiva. En el presente trabajo se elaboraron microsilos con paja de avena, la cual fue mezclada homogéneamente con RSPAC en 2 porcentajes distintos por triplicado: 1).- 50% de paja de avena:50% RSPAC sin agua y otro en la misma proporción, pero se le agregó 4 litros de agua. 2).- 25% paja de avena:75% de RSPAC sin agua y otro en igual proporción agregando 2 litros de agua. Estos ensilados, fueron evaluados a los cero y 30 días respectivamente, comparándose los resultados de la siguiente manera: 1) ensilados a los cero días contra ensilados a los 30 días; 2) ensilados con agua contra ensilados sin agua; 3) ensilados con agua a los cero días contra

ensilados con agua a los 30 días; 4) ensilados sin agua a los cero días contra ensilados sin agua a los 30 días. Las bolsas con los tratamientos 25% de paja de avena y 75% de RSPAC, con y sin agua, se deshecharon por error, por lo cual estos tratamientos se eliminaron. Los resultados del estudio comparativo, demostraron que, los porcentajes de humedad, cenizas, proteína bruta, y energía bruta, fueron mayores ( $P < 0.01$ ) en ensilados a los 30 días con y sin agua, mientras que los niveles de fibra detergente neutro, disminuyeron ( $P < 0.01$ ) en ensilados a los 30 días sin agua y con agua, lo mismo que para celulosa en ambos tratamientos. No se observaron cambios ( $P < 0.01$ ), en el contenido de lignina, mientras que el sílice aumentó en ensilados a los 30 días sin agua. Por otro lado, no se observó diferencia en cuanto al pH a los cero y 30 días de fermentación, en tratamientos con y sin agua, mientras que el nitrógeno amoniacal aumentó en ensilados a los 30 días con agua y sin agua. El porcentaje de ácido láctico fue mayor ( $P < 0.01$ ) en el ensilado con agua y sin agua. Los resultados obtenidos indican que al ensilar paja de avena con RSPAC, se mejora la calidad nutritiva de ésta, permitiendo de esta manera utilizar en forma más adecuada los RSPAC.

## 1. INTRODUCCION

Las pajas de cereales, son residuos de cosechas que están constituidos por tallos y hojas secas de gramíneas; su disponibilidad es muy elevada por lo que representan un gran potencial como alimento para el ganado (8).

Para el año de 1992, en México, la Dirección General de Aprovechamientos Forrajeros de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, reportó una producción total de esquilmos agrícolas de diversos cultivos de 58.6 millones de toneladas, de las cuales, 35,481 toneladas correspondieron a la paja de avena (Cuadro 1) (64).

Los esquilmos agrícolas se definen como material vegetal que permanece en el campo después de la cosecha (8), y que en su mayoría son quemados e incorporados al suelo o bien, usados como combustible, abono orgánico en terrenos agrícolas, con fines de cama en granjas, aislantes y rellenos, aprovechándose solamente alrededor de un 25% para la alimentación animal, por lo que el resto representa una cifra muy importante de desperdicio, que puede ser utilizada en la alimentación de los rumiantes, los

cuales tienen la capacidad para transformar los productos fibrosos en alimentos de elevado valor biológico para el hombre (8,14). La limitante para la utilización de los esquilmos agrícolas en la alimentación animal, es su bajo contenido de nutrientes, debido al escaso valor proteico y a su baja digestibilidad atribuido al complejo lignina-celulosa que produce una cubierta protectora que da rigidez y fortaleza a la planta (57, 61).

Los principales componentes de las paredes celulares son: celulosa, hemicelulosa, pectinas, lignina, sílice y pequeñas cantidades de proteína de enlace.

Celulosa.- Es el constituyente más importante de la pared celular, es un polímero de la glucosa de estructura lineal unida por enlaces beta 1-4. Se caracteriza por ser resistente tanto a la acción de compuestos químicos como enzimáticos. Sin embargo, existen numerosas bacterias que poseen celulasas, enzimas que desdoblan a la celulosa por incisión hidrolítica en la unión beta glucosídica hasta el disacárido celobiosa. El ataque a la celulosa frecuentemente se asocia a una segunda enzima (celobiasa) que concluye la desintegración de la celulosa hasta hexosa libre por medio del desdoblamiento hidrolítico del dímero. La celulosa se

encuentra unida al complejo lignina-hemicelulosa, siendo ésta una de las causas principales que afectan la digestibilidad de la celulosa en el rumen (56, 57, 75).

Hemicelulosa.- La constituye un grupo complejo heterogéneo de monosacáridos constituido por glucosa, xilosa, manosa, arabinosa y galactosa, la cual es la fracción de la pared celular que tiene más asociación (física y química) con la lignina, por lo que su disponibilidad para la microflora del rumen es baja(12).

Sustancias pécticas.- Están formadas por un grupo de polisacáridos dentro de los cuales encontramos al ácido poligalacturónico o pectina, que está formado de ácido-D-galacturónico con enlaces alfa 1-4.

Lignina.- Es un compuesto aromático que contiene un núcleo fenólico que protege a las plantas de los ataques bacterianos. La cantidad de lignina aumenta conforme avanza la edad de la planta, reduciéndose la digestibilidad de la celulosa y hemicelulosa, ya que las protege físicamente contra la degradación enzimática, debido a la formación de enlaces covalentes con los carbohidratos, disminuyendo de esta manera la digestibilidad de los esquilmos agrícolas que tienen un elevado contenido de lignina (43,57,66).

Sílice.- Es un mineral que toma la planta a través de la raíz en forma de ácido monosilícico y se deposita en la pared celular, donde tiene la propiedad de endurecer los carbohidratos estructurales, limitando consecuentemente la digestibilidad de éstos en el rumen (61,66).

Debido a la limitación en el uso de las pajas y de otros forrajes de mala calidad en la alimentación animal, desde fines del siglo pasado se han hecho intentos por mejorar el valor nutritivo de éstos. Dentro de las diferentes alternativas que se han desarrollado, destacan los tratamientos: físicos, químicos y biológicos (8,9,23).

## 1.1 TRATAMIENTOS PARA MEJORAR LA CALIDAD DE LOS ESQUILMOS AGRÍCOLAS

### Tratamientos físicos

Los tratamientos físicos de mayor importancia son: molido y picado, estos procedimientos modifican la presentación física de la paja, disminuyendo el tamaño de la partícula (27). Se ha demostrado que las partículas finas disminuyen el tiempo de

retención en el retículo-rumen, aumentando la velocidad de pasaje y disminuyendo la digestibilidad del alimento por el menor tiempo de exposición a la acción de la microflora ruminal (12). Sin embargo, la molienda aumenta el consumo voluntario de las pajas, dando como resultado un aumento de la ingesta de calorías digestibles hasta en un 30% (27), lo cual compensa positivamente esta circunstancia. Además de las ventajas antes mencionadas, este procedimiento facilita el mezclado con otros ingredientes (12,14,27,62).

En un experimento (63) donde se estudió el efecto de suministrar rastrojo de maíz entero, rastrojo de maíz picado (3 a 8 cm) o rastrojo de maíz molido (criba de .85 cm), ofrecidos cada uno a un nivel de 2% del peso vivo, se observó en los animales que recibieron rastrojo de maíz molido a nivel de 2% que no hubo rechazo; sin embargo, cuando recibieron rastrojo de maíz picado y rastrojo de maíz entero en la misma proporción, rechazaron 14 y 23% del forraje ofrecido, respectivamente.

Chaturvedi y col. (10), demostraron que con el remojo previo de la paja de trigo durante 1-2 h con un litro de agua por kilogramo de paja, aumentó notablemente el consumo voluntario en terneros de

raza cebú y de búfalo, en comparación con la paja sin remojar. La digestibilidad de la proteína bruta y de la fibra bruta disminuyeron, mientras que la digestibilidad de la energía digestible y metabolizable, así como la tasa de producción de ácidos grasos volátiles totales fueron superiores en los terreros de cebú y búfalo, alimentados con paja remojada en agua, que en la no tratada. Estos resultados indican que el remojo previo de la paja por 1 - 2 h tienen efectos benéficos generales para los animales que la consumen.

#### Tratamientos químicos

En estos tratamientos se utilizan ácidos y álcalis fuertes para mejorar la calidad de los esquilmos agrícolas, siendo los últimos los más comúnmente utilizados, entre éstos se encuentran el hidróxido de sodio, hidróxido de calcio, hidróxido de amonio, hidróxido de potasio, amoníaco anhidro y urea (27,38).

La acción de estos productos sobre la fibra consiste en la solubilización de la hemicelulosa debido al rompimiento de enlaces entre la lignina, celulosa y hemicelulosa, además de un cambio en su morfología mediante un abultamiento, que permite un mayor

acceso de las enzimas producidas por los microorganismos ruminales a la matriz estructural de la pared celular (8,38,40,72).

El tratamiento con hidróxido de sodio ha sido el más estudiado, ya que se ha utilizado desde principios de siglo (27). Existen varios métodos, como el de Beckman simple y modificado, por aspersion con solución concentrada, ensilaje en solución concentrada y tratamiento industrial (27,63).

Se ha demostrado que el tratamiento de pajas con NaOH incrementa la digestibilidad de la materia seca, en dicho procedimiento debe enjuagarse con agua una vez que el material ha sido tratado con el álcali, ocasionando con ello la pérdida de carbohidratos y proteínas solubles, que deterioran el valor nutritivo del forraje, sin embargo otras investigaciones han simplificado los primeros procedimientos, reduciendo la cantidad de agua, eliminando el lavado y neutralizando el álcali con solución de un ácido débil (20,27,63).

Summers y Sherrad, citado por Sánchez (63), determinaron la digestibilidad *in vitro* y la composición química de la cáscara de cacahuete, cascarilla de algodón, olote de maíz, rastrojo de sorgo, alfalfa, y zacate alicia después de ser tratados con

hidróxido de sodio al 5%, con un contenido 50% de humedad, observaron una reducción de los componentes fibrosos, lignina y hemicelulosa, en todos los forrajes.

El tratamiento con hidróxido de calcio, es tan eficaz como el tratamiento con hidróxido de sodio, pero por ser menos soluble y reaccionar más lentamente, la paja tratada con hidróxido de calcio tiene que ensilarse por un período de 5 meses (27); sin embargo, en comparación con el hidróxido de sodio, el hidróxido de calcio es menos corrosivo y más seguro de manejar, además de que contribuye en la suplementación de calcio al ganado, por lo que puede ser usado en vacas productoras de leche (30).

Las respuestas de estos tratamientos dependen del tipo de material procesado, temperatura ambiente, tamaño de la partícula utilizada y del tiempo de reacción(5,27). Otra opción de combinación que se ha estudiado, es con amoníaco anhidro y urea; pero se obtienen mejores resultados cuando se utilizan combinaciones de hidróxido de calcio e hidróxido de sodio, que por sí solos.

Waller y Klopfenstein (79), encontraron que una mezcla de 3% de hidróxido de calcio con 1% de hidróxido de sodio, resultó más

efectiva que el tratamiento únicamente con 4% de hidróxido de calcio, en términos de ganancia de peso y eficiencia alimenticia en novillos.

El tratamiento de la paja con hidróxido de potasio, tiene un efecto sobre la digestibilidad similar a la lograda con hidróxido de sodio (63).

Meléndez y col. (49), encontraron que el hidróxido de potasio aumentó la digestibilidad de la paja de trigo hasta en 61%, seguido por el hidróxido de sodio, que la incremento 60%.

Shultz y Ralston (67), realizaron estudios de metabolismo y engorda de corderos, utilizaron una ración a base de ensilado de paja de trigo tratada con 4.5% de hidróxido de sodio:hidróxido de potasio (50:50), más 20% de melaza y 1% de urea; obtuvieron ganancias de peso diario de 454 g, mientras que los animales testigo ganaron 398 g.

También se ha empleado el amoníaco anhidro en el tratamiento de los esquilmos agrícolas, para aumentar la digestibilidad de la materia seca y la fibra, observándose que su uso incrementa el contenido de nitrógeno y mejora el valor nutritivo de forrajes de mala calidad (73).

En un trabajo realizado por Meléndez (48) en el cual se utilizaron novillos con un peso inicial de 150 kg, que consumieron una dieta con 60% de paja de trigo, para evaluar los siguientes tratamientos: paja con 2% de amoníaco; paja con 4% de amoníaco y grupo testigo que consumió paja sin tratar. Encontró que el peso diario aumentó en un 20% más en los novillos que consumieron paja de trigo tratada con 4% de amoníaco, en relación a los grupos de novillos a los que se les administró paja con 2% de amoníaco y los grupos testigo; sin que hubiera diferencia en el consumo de alimento.

El tratamiento de pajas y esquilmos agrícolas con urea, mejora la digestibilidad en forma semejante a la que se logra con otras sustancias como hidróxido de sodio, hidróxido de calcio o amoníaco. También se han empleado métodos basados en el uso de amoníaco liberado a partir de la urea por medio de calor y presión, o por medio de la acción de la enzima ureasa (52).

Gupta y col. (19), demostraron que la combinación de 1.5-2.0% de urea, 10% de melaza y 0.5% de mezcla mineral, mejoró la digestibilidad de los nutrientes orgánicos y aumentó la ingesta voluntaria en bovinos y búfalos.

### Tratamientos biológicos

Existen algunos organismos, como es el caso de los hongos, especialmente los de la pudrición blanca y oscura, denominados así por los cambios físicos causados a la madera, debido a la capacidad de estos para atacar la lignina. Los hongos principalmente los de la pudrición blanca la degradan completamente, debido a la presencia de las enzimas fenoloxidasas (35). Estos hongos pueden crecer sobre diversos sustratos como pajas, madera, aserrín, pulpa de café, etc. (21,41,42).

Dentro de los hongos de la pudrición blanca se encuentran los del género: *Pleurotus*, *Volvariella*, *Stropharia*, *Lentinus*, *Auricularia*, *Pholiota* y *Armillariella*, entre otros. Estos hongos tienen la característica de ser comestibles, con un alto contenido de proteína bruta en base seca (20-40%), una cantidad adecuada de aminoácidos esenciales de acuerdo al patrón FAO, además de contener vitaminas como la B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>12</sub>, C, D, niacina y ácido pantoténico, así como ácidos grasos insaturados y un bajo contenido calórico (41).

De estos hongos, los del género *Pleurotus* son los que más se han estudiado con la finalidad de disminuir el contenido de lignina en las pajas.

En estudios realizados *in vitro*, se ha observado que la digestibilidad de las pajas tratadas con este hongo es mayor que en las no tratadas (6,36,70,71,83,84).

En trabajos realizados *in vivo*, se ha evaluado la aceptación y digestibilidad de las pajas tratadas con hongos. Calzada y col. (7), observaron que la digestibilidad *in vivo* de la materia seca, materia orgánica, celulosa y fibra detergente ácida, fue mayor en borregos alimentados con paja de trigo cultivada con *Pleurotus sajor caju*, que con paja de trigo sin cultivar. Bakshi y col. (2) también encontraron que la digestibilidad de la paja de trigo fue de 54.50% cuando se alimentó a búfalos con paja cultivada con *Pleurotus*, que con paja sin cultivar (42.20%). Henics (25), señaló que al alimentar novillos con raciones en las que se sustituyó heno de pasto, por paja cultivada con *Pleurotus ostreatus* en diferentes niveles, el consumo de alimento, ganancia diaria de peso, peso final y características de la canal fueron similares.

Yamakawa y col. (83), alimentaron borregos con paja de arroz cultivada por 100 a 140 días con *Pleurotus ostreatus*, observaron una disminución de la digestibilidad *in vivo* de la paja tratada en relación a la no tratada. Sin embargo el consumo de materia seca y orgánica fue mayor en la paja tratada, por lo cual el cultivo de estos hongos parece ser una buena alternativa para mejorar la calidad de esquilmos agrícolas que se emplean en alimentación animal (21)

## 1.2 METODOS DE CONSERVACION DE FORRAJES

Existen principalmente dos métodos de conservación de forrajes, el ensilado y el henificado.

### Proceso de henificación

Los forrajes verdes son cortados con un alto contenido de humedad (75-80%), posteriormente son secados por medio de exposición al sol sobre el terreno o caballetes, hasta reducir la humedad del cultivo verde a un nivel lo suficientemente bajo que inhiba la actividad de las enzimas vegetales y microbianas (47). La velocidad del proceso depende de las condiciones atmosféricas

(temperatura, humedad relativa y presencia de viento), que varía según la época del año y de un año al siguiente. Es necesario que la temperatura sea de 15°C o más y la humedad relativa no mayor a 70%. El forraje debe ser volteado durante el día para que pierda humedad y recogerlo por la noche, tratando de que la absorción de la humedad sea mínima (29,50). Durante el proceso de desecación es inevitable que se produzcan cambios químicos que traen como consecuencia la pérdida de nutrientes valiosos, debido a la degradación enzimática microbiana propia de la planta, así como por la oxidación química y la lixiviación (47,68).

Con éste método de conservación se tiene la ventaja de obtener forraje de alta calidad, cuando ha sido bien preparado, además que es sencillo de manejar y suministrar al ganado; enfardado, es fácil de comercializar. Puede usarse en forma continua a medida que sea necesario, ya sea que se suministre en el campo, o preferiblemente en bateas o comederos en cantidad suficiente para varios días, además que una vez que se almacena, necesita ser protegido únicamente contra el agua.

Entre las desventajas que presenta se tiene que su preparación está sujeta en alto grado a variaciones del clima, su calidad está

estrechamente ligada a la época de cosecha, la cual no siempre coincide con las condiciones necesarias de temperatura y humedad, por lo que no puede esperarse obtener un buen heno, con temperaturas inferiores a 15°C o humedad superiores a 15 o humedad de 60%.

El equipo necesario para la cosecha y procesamiento, tiene un alto costo, junto con el mantenimiento. Por otra parte, si permanece el forraje varios días tendido o hilerado, puede causar deterioro a la pastura subyacente en crecimiento. Henificar avena requiere de especial cuidado y conocimiento para lograr un buen producto, además que para realizar una buena conservación, necesita ser protegida contra el agua, lo cual no es posible cosechar en la fase más nutritiva, pues las plantas serían demasiado jugosas, dificultándose su secado(68).

#### Conservación de los forrajes por medio del ensilado

El ensilaje es una técnica, de almacenamiento, que permite conservar forrajes durante mucho tiempo sin que se pierdan grandes cantidades de elementos nutritivos, o se desperdicien (42). Este es un proceso fermentativo anaeróbico, que preserva el forraje por medio de acidificación (47). La conservación se apoya en la

producción de fermentaciones controladas que estimulan especialmente la producción de ácido láctico e inhiben el desarrollo de otro tipo de fermentaciones o putrefacciones (41).

En la práctica destacan las siguientes ventajas y desventajas de este proceso (41,68):

1. Mediante el ensilaje puede hacerse la recolección y almacenamiento del forraje en un solo día, lo cual puede hacerse en forma mecánica.
2. Se puede ensilar todo tipo de forrajes: plantas, raíces, tubérculos, pulpa, granos, plantas muy fibrosas que el ganado come con dificultad y que se vuelven más blandas al ensilarlas.
3. Los cultivos pueden ser cosechados más temprano, en el momento que los valores nutritivos son más altos.
4. El alimento conservado por este método, es inferior en calidad que el henificado, debido a las transformaciones y pérdidas ocurridas durante la fermentación, pero dura más que el forraje henificado, sobre todo cuando el material ha sido bien ensilado.
5. El proceso de ensilaje destruye semillas de malezas, lo cual ayuda a su erradicación.
6. Pueden ser aprovechados cortes de limpieza de praderas.

7. Proporciona un alimento voluminoso y nutritivo, esencial en épocas de crisis forrajeras.
8. Es aprovechada la planta en su totalidad.
9. El rendimiento de forraje es mayor en una superficie reducida, si se cosechan cultivos de sorgos o maíz híbridos.
10. El costo de mano de obra es menor, si se compara con el henificado.

Entre las desventajas que presenta se encuentran:

1. Se trabaja con material con alto contenido de humedad, pesado, lo cual dificulta las operaciones, especialmente si no se cuenta con maquinaria.
2. Es difícil de comercializar.
3. Debe ser protegido del aire y del agua, si se desea conservar.
4. Debe racionarse diariamente ya que la exposición al aire lo descompone, oxidándolo.
5. Si el proceso de ensilaje está mal hecho, puede perderse casi la totalidad del forraje verde utilizado.
6. Generalmente es menos apetitoso que el heno, sin embargo al acostumbrarse el ganado lo come sin dificultad.

7. Siempre hay pérdidas de elementos nutritivos debido a la fermentación.

Para obtener un ensilado de buena calidad, es importante tomar en cuenta los siguientes aspectos:

a) Picar el forraje que se va a ensilar a un tamaño aproximadamente de 2 cm, que permita que haya una buena compactación, favoreciendo la expulsión del aire.

b) Que el forraje contenga niveles adecuados de carbohidratos, siendo éstos esenciales durante el proceso de

fermentación, ya que se transforman fácilmente en ácido láctico.

c) Debe contener un porcentaje de humedad de aproximadamente 70% (55,68).

#### Fermentación durante el ensilaje

Cuando el forraje se ensila, la respiración aerobia continúa un cierto tiempo en las células vivas, produciendo agua, bióxido de carbono y gran cantidad de calor. El aumento de la temperatura depende de la cantidad de oxígeno disponible y del grado de compactación de la masa ensilada. En esta fase aerobia disminuye considerablemente el contenido de azúcares solubles y se reduce la

digestibilidad. Esta respiración termina al morir las células del forraje, por acumulación de bióxido de carbono, pero continúa la oxidación parcial o respiración anaerobia (26,29,41).

Los cambios oxidativos continúan en el silo después de haber cesado la respiración normal, gracias a las enzimas secretadas por las células, pero cuando se agota totalmente el oxígeno, los carbohidratos experimentan una serie de fermentaciones originadas por microorganismos anaerobios que originan los ácidos orgánicos volátiles (acético, propiónico y butírico y láctico (26,70). El inicio de la acidificación se debe a las bacterias coliformes, Gram negativas, no esporuladas (70).

Conforme se va comprimiendo el silo, disminuye el oxígeno y se propicia el crecimiento de bacterias anaeróbicas facultativas; hacia el final del proceso, cuando el medio se encuentra en anaerobiosis total, se desencadena la fermentación láctica.

Los lactobacilos son bacterias ampliamente distribuidas en la naturaleza, las cuales para su desarrollo necesitan temperaturas de 20-45°C, crecen mejor a bajas concentraciones de oxígeno o bien en su ausencia. La característica más importante de los lactobacilos, es que soportan la acidez mucho mejor que otros

microorganismos, de tal manera que cuando el forraje se ensila, estas bacterias productoras de ácido láctico comienzan a proliferar sobre los azúcares fermentables de la savia vegetal. El ácido producido evita que las bacterias indeseables se desarrollen.

Debido a que la acidez del silo es elevada (pH de 3.5-4.2), se detiene el proceso de fermentación y toda la actividad enzimática, lo cual ocurre en un período de 17 a 21 días después de ensilar el forraje (29,60,59,80).

#### Características de un buen ensilado

La calidad del ensilado se refiere a ciertas características que este alimento debe reunir, debiéndose mencionar entre las principales:

- 1) Alto valor nutritivo, relacionado con el valor nutritivo del material original y al buen proceso de ensilaje.
- 2) Color claro, con tonos verdosos, variando de amarillo verdoso al verdoso marrón.
- 3) Olor agradable, semejando un producto avinagrado.

4) Textura firme, que resulte difícil desprender los tejidos de las hojas.

5) Acidez como resultado del aumento en la concentración de hidrogeniones (pH que varía entre 3.8-4.5).

Dentro de las bacterias que perjudican la obtención de un buen ensilado sobresalen las del género *Clostridium*, las cuales son bacilos Gram positivos, anaerobios, que forman esporas, crecen a temperaturas de 30 a 40°C, pero a diferencia de los lactobacilos, no se desarrollan en medios donde la acidez es mayor a un pH de 4.2. Además tienen la propiedad de descomponer las proteínas, produciendo amoníaco y otros compuestos nitrogenados (80).

### 1.3 CARACTERISTICAS E IMPORTANCIA DE LA AVENA

La avena pertenece a la familia de las gramíneas, al grupo de granos grandes. Existen muchas variedades de avena que fueron originadas de cuatro especies. *Avena sativa*, forrajera, la cual tiene mayor importancia en la alimentación animal, originándose de ésta el mayor número de variedades de avena, tales como *Avena orientalis*, *Avena brevis*, *Avena nuda*, entre otras (37,55). Por el color del pericarpio se distinguen avenas blancas, negras,

grises, amarillas, rojas, etc. Por la longitud del grano hay avenas largas, medianas y cortas. Por la duración del período vegetativo existen, avenas precoces y tardías. La avena es una planta anual que cumple su ciclo entre otoño y primavera o principios de verano. Bajo condiciones de temporal la siembra se efectúa al inicio de la estación lluviosa, dependiendo de la humedad del terreno o del establecimiento del período de lluvias. Esta planta es de uso común en la alimentación animal y su cultivo puede ser independiente o asociado con otros granos o leguminosas. El cultivo de esta planta se encuentra muy extendido gracias a sus excelentes cualidades productivas, nutritivas y a su ciclo vegetativo relativamente corto en comparación con otras especies vegetales forrajeras (29). En México la Dirección General de Aprovechamientos Forrajeros, de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, reportó que en el año 1992 la producción de avena fue de 39,424 toneladas de grano y 35,481 toneladas de paja (64).

La utilización de la paja de avena tiene un valor nutritivo limitado como alimento para el ganado por su baja digestibilidad,

debido a la lignificación de las paredes celulares de la planta (30).

#### 1.4 SOLUBLES RESIDUALES DE LA PRODUCCION DE ACIDO CITRICO(LIMONITA).

Los residuos solubles que quedan como subproducto de la producción de ácido cítrico, son producidos en grandes cantidades, Química Mexama S.A. de C.V., localizada en Cuernavaca, Morelos (58), informa que la producción diaria de residuos solubles de la producción de ácido cítrico (RSPAC), es de aproximadamente 29 toneladas, por lo que hay gran disponibilidad de este subproducto, que se encuentra enlistado por la Asociación Americana de Control de Alimentos Oficiales, como ingrediente aceptable en la alimentación animal (32), ya que contiene un porcentaje adecuado de proteína bruta (13.56%-15.9%) y *Aspergillus niger*, que se ha empleado como cultivo microbiano para mejorar el aprovechamiento del alimento por los animales (32) (CUADRO 2).

Sin embargo, los RSPAC contienen un elevado porcentaje de humedad (80%), por lo que es difícil conservarlos por un tiempo prolongado, en condiciones adecuadas para ser usados en la

alimentación del ganado; de ahí que ésta es una alternativa para poderlos utilizar en condiciones adecuadas, reduciéndose de esta forma el contenido de humedad de estos al ensilarse con paja de avena y obtener forrajes de mejor calidad, además de evitar que estos sean desechados a los sistemas de drenaje o ríos, provocando desequilibrio ecológico.

## HIPOTESIS

La calidad nutritiva de la paja de avena, se mejora al ensilarse con RSPAC, logrando también utilizar en forma adecuada los RSPAC.

## OBJETIVOS

El presente trabajo tiene como objetivo utilizar los RSPAC en ensilados con paja de avena, para mejorar la calidad nutritiva de ésta y conservar los RSPAC, para ser usados en la alimentación de rumiantes

## 2. MATERIAL Y METODOS

El presente trabajo se realizó en el Departamento de Nutrición Animal del Instituto Nacional de la Nutrición "Salvador Zubirán".

La paja de avena se picó a un tamaño aproximado de 2 cm, adicionándole residuos solubles de la producción de ácido cítrico (RSPAC), teniéndose los siguientes tratamientos:

1. Testigo, paja de avena sin RSPAC
2. 50% de paja de avena(5 kg) más 50% de RSPAC(5 kg) más 4 L de agua.
3. 50% de paja de avena(5 kg) más 50% de RSPAC(5 kg) sin agua
4. 25% de paja de avena(2.5 kg) más 75% de RSPAC(7.5 kg) más 2 L de agua.
5. 25% de paja de avena(2.5 kg) más 75% de RSPAC(7.5 kg) sin agua.

Los porcentajes se presentan en base húmeda, cada tratamiento se realizó por triplicado.

La paja de avena y los RSPAC se mezclaron en forma homogénea, y cada tratamiento se mezcló por separado, inmediatamente después de

mezclarse se almacenaron en bolsas de polietileno que fueron empleadas como microsilos, a una temperatura ambiente de aproximadamente 22°C, por 30 días.

Se tomaron muestras de todos los tratamientos sin ensilar (cero días), las cuales se mantuvieron en congelación para analizarlas posteriormente.

En todos los tratamientos a los cero y después de 30 días de ensilaje, se realizaron los siguientes análisis:

1. Humedad (1)
2. Proteína bruta (1)
3. Cenizas (1)
4. Fracciones de fibra, por el método descrito por Goering y Van Soest (17)
  - 4.1 Fibra detergente neutro (FDN)
  - 4.2 Fibra detergente ácido (FDA)
  - 4.3 Lignina
  - 4.4 Celulosa
  - 4.5 Sílice
5. Digestibilidad *in vitro*, por el método de Tilley y Terry

6. Energía bruta (3)
7. pH (1)
8. Contenido de nitrógeno amoniacal (74).
9. Ácido láctico (74).

Los resultados obtenidos se analizaron por contrastes no ortogonales, utilizando el procedimiento GLM de SAS (65), teniéndose los siguientes contrastes de interés:

1. Ensilados a los cero días vs ensilados a los 30 días
2. Ensilados con H<sub>2</sub>O vs ensilados sin H<sub>2</sub>O
3. Ensilados con H<sub>2</sub>O cero días vs ensilados con H<sub>2</sub>O 30 días
4. Ensilados sin H<sub>2</sub>O cero días vs ensilados sin H<sub>2</sub>O

## RESULTADOS

Las bolsas que contenían los ensilados con las mezclas de 25% de paja de avena más 75% de RSPAC y 2 lts de agua, y con 25% de paja de avena, 75% de RSPAC sin agua se desecharon por error, por lo que no fue posible realizar ningún análisis.

El contenido de humedad, cenizas, proteína bruta, N-amoniacal, energía bruta y digestibilidad *in vitro* de la materia seca, en la paja de avena y en los RSPAC, se muestran en el Cuadro 3. Los de fibra detergente neutra (FDN), fibra detergente ácida (FDA), lignina, celulosa y sílice se presentan en el Cuadro 4.

En el RSPAC se observó un mayor contenido de humedad, proteína bruta y de energía bruta, pero menor de FDN, FDA, lignina, sílice y digestibilidad *in vitro*, que en la paja de avena. El porcentaje de humedad, cenizas, proteína bruta, energía bruta, digestibilidad *in vitro*, FDN, FDA, lignina, celulosa, sílice, pH, N-amoniacal y ácido láctico, en los ensilados de paja de avena con 50% de RSPAC, con y sin agua, a los cero y 30 días de fermentación, se muestran en los Cuadros 5, 6 y 7 respectivamente.

El contenido de humedad fue mayor ( $P < 0.01$ ) a los 30 días de fermentación en el ensilado que se le agregó 4 L de agua, en comparación a los cero días.

También se observó un mayor contenido de humedad ( $P < 0.01$ ), en los ensilados a los que se les agregó agua, a los los 30 días de fermentación, contra los ensilados que se les agregó agua a los cero días de fermentación, respectivamente.

El porcentaje de cenizas fue mayor ( $P < 0.01$ ) a los 30 días (8.14, 6.97, con y sin agua, respectivamente), que a los cero días (6.05, 6.08 con y sin agua), también fue diferente ( $P < 0.01$ ) el contenido de éstas en los tratamientos a los que se agregó agua, en comparación a los que no se les agregó, observándose el mayor contenido de cenizas, en el tratamiento con agua a los 30 días.

Se encontraron diferencias ( $P < 0.01$ ) para todos los contrastes estudiados en el porcentaje de proteína bruta, se observó que éste fue mayor tanto en los ensilados con  $H_2O$  (8.17%) como sin ésta (8.83%), después de 30 días de fermentación.

El contenido de energía bruta se elevó significativamente ( $P < 0.01$ ) a los 30 días en los ensilados con y sin  $H_2O$  (3.071,

3.048 kcal/g, respectivamente), así como la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (64.51% con 4 L H<sub>2</sub>O; 63.57% sin H<sub>2</sub>O).

En cuanto a las fracciones de fibra estudiadas, la FDN fue diferente ( $P < 0.01$ ) únicamente en los ensilados a los que no se agregó H<sub>2</sub>O, a los cero y 30 días (76.82%; 72.98%).

El porcentaje de FDA a los cero y 30 días, fue diferente ( $P < 0.01$ ) para todos los contrastes (52.90, 54.45 con 4 L de H<sub>2</sub>O, 50.48, 54.37% sin H<sub>2</sub>O, respectivamente). Un resultado similar se observó en el contenido de celulosa (40.14, 38.32 con H<sub>2</sub>O; 40.55, 38.47% sin H<sub>2</sub>O, a los cero y 30 días respectivamente), en tanto que no se observaron diferencias

( $P > 0.01$ ) para la concentración de lignina (11.01, 10.49 con H<sub>2</sub>O; 10.21, 10.33% sin H<sub>2</sub>O, a los cero y 30 días).

Los valores de sílice (5.05, 5.20 con H<sub>2</sub>O y 3.64, 5.54% sin H<sub>2</sub>O, a los cero y 30 días, respectivamente), fueron diferentes ( $P < 0.01$ ) únicamente al comparar los ensilados a los cero vs 30 días y en los ensilados sin H<sub>2</sub>O.

El pH fue similar ( $P > 0.01$ ) entre los diferentes tratamientos, a excepción ( $P < 0.01$ ) del contraste entre los ensilados con H<sub>2</sub>O

(4.06, 4.14) y sin H<sub>2</sub>O (4.20, 4.21), cero y 30 días respectivamente.

Los valores de nitrógeno amoniacal (0.06, 0.08, con H<sub>2</sub>O; 0.03, 0.04%, sin H<sub>2</sub>O, a los cero y 30 días respectivamente), mostraron diferencias ( $P < 0.01$ ) para los contrastes en donde se compararon los ensilados a los cero vs 30 días, ensilados con H<sub>2</sub>O vs ensilados sin H<sub>2</sub>O y los ensilados con H<sub>2</sub>O a los cero vs 30 días.

El porcentaje de ácido láctico fue diferente ( $P < 0.01$ ) en el ensilaje con H<sub>2</sub>O (5.60) y sin ésta (3.29%), encontrándose la mayor concentración de este ácido en el ensilado al que se agregó 4 L de agua.

## DISCUSION

Al analizar los RSPAC se encontró que tienen un elevado contenido de humedad, sin embargo el porcentaje de proteína bruta también fue elevado, mayor al de pajas (28) y algunas gramíneas (46). El contenido de energía bruta también fue alto, lo cual se debe a la presencia de azúcar en este subproducto, la que se utiliza como sustrato para el crecimiento de *Aspergillus niger*, en la producción de ácido cítrico (58). Las fracciones de FDN, FDA, lignina y sílice también fueron menores en RSPAC en relación a la paja de avena (28), lo cual mejoró la calidad de ésta al mezclarla con los RSPAC para ensilarla.

Los valores de humedad fueron mayores en los ensilados a los que se agregó agua, observándose el mayor porcentaje en el ensilado al que se agregaron 4 L de agua a los 30 días de fermentación. Este incremento pudo deberse al mayor contenido de humedad por el agua que se agregó, y a la solubilización de algunos compuestos como carbohidratos, durante el proceso de fermentación (46).

Al disminuir el contenido de carbohidratos también aumentaron otros nutrientes, como las cenizas, observándose el mayor porcentaje de éstas en ese mismo tratamiento.

La proteína cruda fue mayor después de 30 días de fermentación tanto en el ensilado al que se agregó agua, como al que no se agregó, este aumento puede deberse a que el pH inicial, debido a la presencia de ácido cítrico en los RSPAC fue muy bajo, cercano a 4.0, lo cual se considera adecuado para que se tenga un buen ensilado (24,46,81), por lo cual la pérdida de proteína original fue mínima, además de que pudo haber un crecimiento considerable de bacterias lácticas, ya que también se observó una producción adecuada de ácido láctico a los 30 días de fermentación (46), pudiendo contribuir éstas con proteína microbiana, para elevar el valor de la proteína cruda.

El porcentaje de fibra detergente neutro (FDN) disminuyó en forma significativa a los 30 días en el ensilado sin agua, aumentando las fracciones de fibra detergente ácido (FDA) y sílice, tanto en los ensilados con agua como sin agua, lo cual pudo haberse debido al desdoblamiento de la pared celular por los microorganismos presentes en el ensilado (33), con lo cual

aprovecharon los componentes de la fibra que tienen mayor digestibilidad, como glucanos, hemicelulosa y celulosa, disminuyendo ésta última en forma significativa a los 30 días de ensilaje, aumentando por otra parte, las fracciones de FDA, lignina y sílice, que tienen muy baja o nula digestibilidad (18,28,45).

Este cambio en la proporción de fracciones de fibra y la presencia de azúcar en los RSPAC, se ve reflejado en el contenido de ácido láctico y en un aumento en el contenido de energía bruta y digestibilidad *in vitro* de la materia seca a los 30 días de ensilaje, lo cual podría atribuirse a una mayor disponibilidad de carbohidratos solubles en los ensilados (11,15,45).

Desde hace varios años, se han usado aditivos basados en ácidos o inóculos bacterianos para reducir el pH inicial de los ensilados, y en esta forma disminuir la actividad de las enzimas respiratorias y proteolíticas y la pérdida de nutrientes (22,24).

Con esta finalidad se han empleado ácidos orgánicos, como el fórmico; minerales, como el sulfúrico; formaldehído; sales ácidas como nitritos y tetraformato de amonio, además de aditivos biológicos (4,13,16,34,39,51,54,77,78); sin embargo, en ocasiones

pueden llegar a presentar desventajas, como son la pobre respuesta animal, al proporcionar al ganado ensilados con algunos de estos aditivos (24,61), o lesiones en algunos órganos, como el hígado (53).

Los resultados obtenidos en este trabajo muestran que no hubo diferencias entre el pH inicial y el pH después de 30 días de ensilaje, tanto en el ensilado al que se agregó agua, como al que no se agregó, teniendo valores de pH iniciales de 4.06 y 4.20 y finales de 4.14 y 4.21, para los ensilados con agua y sin ésta, respectivamente.

Se considera que se ha obtenido un buen ensilado cuando los valores de pH se encuentran entre 3.8 y 4.2 y el porcentaje de ácido láctico es mayor de 3 (45), por lo que los resultados observados en este estudio indican que se tuvieron ensilados de buena calidad. Sin embargo, es importante hacer notar que no se observaron diferencias significativas entre los valores iniciales y finales de pH en los ensilados, debido al bajo pH de los RSPAC en las mezclas antes de ensilar, esto sugiere la posibilidad de utilizar este subproducto como un aditivo en los ensilados.

Los valores de pH fueron ligeramente superiores a los indicados con el uso de aditivos como el ácido fórmico (3.88) o sulfúrico (3.64) (24), pero sin tener las desventajas que se pueden presentar al emplear estos compuestos (44), y similares a los observados con aditivos microbianos, como bacterias lácticas (51,80).

Por otra parte, el porcentaje de ácido láctico fue mayor al 3% de la materia seca, en los tratamientos, lo que favoreció la fermentación de tipo homoláctico (11).

El porcentaje de ácido láctico en el ensilado con agua fue similar al encontrado por otros autores al utilizar inóculos bacterianos (31,34) o ácido fórmico (31).

El contenido de nitrógeno amoniacal aumentó significativamente a los 30 días de ensilaje, siendo mayor en el ensilado que se le agregó agua a los cero y 30 días, debido a la actividad de los microorganismos presentes en el ensilado sobre la proteína (82). No obstante, los niveles de nitrógeno amoniacal fueron muy bajos a los 30 días, lo que indica una mínima degradación de la proteína, comparados con los resultados obtenidos por otros autores en ensilados de gramíneas y leguminosas (11,22).

Los resultados obtenidos indican que la adición de agua al ensilar paja de avena con RSPAC, mejora la calidad del ensilado, sin embargo aún sin agregar ésta se obtienen ensilados de buena calidad. Por otra parte, el ensialje de los RSPAC con paja de avena es una forma de utilizar este subproducto derivado de la producción de ácido cítrico, ayudando de esta manera a mantener el equilibrio ecológico, además que debido a su bajo pH, favorece la fermentación homoláctica en el proceso de ensilaje.

Sin embargo, es necesario realizar otros estudios, probando diferentes niveles de adición de RSPAC, además de ensilarlos con otros productos agrícolas y forrajes verdes, así como llevar a cabo pruebas de comportamiento animal, para evaluar el grado de aceptación por estos.

## LITERATURA CITADA

- 1.- AOAC: Official Methods of Analysis. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington, D.C. 1990.
- 2.- Bakshi, M.P.S., Gupta, V.K. and Langar, P.M.: Acceptability and nutritive evaluation of *Pleurotus* harvested spent wheat straw in buffaloes. Agric. Wastes 13:51-58 (1985).
- 3.- Bateman, J.V.: Nutrición Animal. Manual de Métodos Analíticos. Herrero Hnos. Sucs., S. A., México. 1970.
- 4.- Burghardi, S.R., Goodrich, R.D. and Meiske, J.C.: Evaluation of corn silage treated with microbial additives. J. Anim. Sci. 50:729-736(1980).
- 5.- Cajal, M.C. y Shimada, M.A.: Esquilmos agrícolas y procesamiento de esquilmos. En: Engorda de ganado bovino en corrales. Editores Consultores en Producción Animal S.C., México. p. 93-103.1986.
- 6.- Calzada, J.F., De León, R., De Arriola, M.C. and Rolz, C.: Growth of mushrooms on wheat straw and coffeee pulp: strain selection. Biol. Wastes 20:217-226 (1987)
- 7.- Calzada, J.F., Franco, L.F., De Arriola, M.C., Rolz, C. and Ortiz, M.A.: Acceptability, body weight changes and

digestibility of spent wheat straw after harvesting of *Pleurotus sajor-caju*. Biol. Wastes 22:303-309 (1987).

- 8.- Castañeda, F.E., Espinoza, E.C., Sierra, E.J. y Riveroll, B.A.: Esquilmos agrícolas. En: Primer Simposio Nacional Sobre el Aprovechamiento de Esquilmos Agrícolas y Subproductos Industriales para la Alimentación Animal. Dirección General de Aprovechamientos Forrajeros, SARH, México. 1982.
- 9.- Castañeda, F.E. y Monroy, A.V.: Métodos de procesamiento de subproductos agrícolas para evaluar su valor nutricional. Memorias del Seminario Utilización de Subproductos Agroindustriales en la Alimentación de Rumiantes. Colegio de Posgraduados, Montecillo, Edo. de México. 1984.
- 10.- Chaturvedi, M.L., Singh, U.B.J. and Ranjhan, S.K.: Effect of feeding water soaked and drywheat straw on feed intake digestibility of nutrients and VFA production in growing zebu and buffalo calves. J. Agric. Sci. 8:393 (Abstr.) (1973).
- 11.- Chen, J., Stokes, M.R. and Wallace, C.R.: Effects of enzyme inoculant systems on preservation and nutritive value of haycrop and corn silages. J. Dairy Sci. 77:501-512 (1994).

- 12.- Dearriba, C.J.: Fisiología y bioquímica de la digestión en el rumiante. Ed. Oriente, Santiago de Cuba, Cuba. 1988.
- 13.- Drysdale, A.D. and Berry, D.: The development of a new silage additive. Br. Grassl. Soc., Grassl. Soc. Occasional Symposium 11:262-270 (1980).
- 14.- Flores, M.J.: Bromatología Animal. Ed. Limusa, México. 1983.
- 15.- Fry, S.C.: The growing plant cell-wall: chemical and metabolic analysis. Longman, London. pp. 1-7, 1988.
- 16.- Glenn, B.P., Varga, G.A., Huntington, G.B. and Waldo, D.R.: Duodenal nutrient flow and digestibility in Holstein steers fed formaldehyde and formic acid treated alfalfa or orchardgrass silage at two intakes. J. Anim. Sci. 67:513-528 (1989).
- 17.- Goering, H. and Van Soest, P.: Forage Fiber Analysis. Agric. Res. Serv., U.S.A., 1970.
- 18.- Gonzalez Yañez, M., McGlenn, R., Anderson, D.H., Henderson, A.R. and Phillips, P.: The effect of biological additive on the composition and nutritive value of silage. Anim. Prod. 50:586 (Abstr.) (1990).

- 19.- Gupta, B.N., Murty, U.N. and Ktian, S.A.: Rumen digestion on improving the feeding quality of coarse fodders by urea and molasses impregnation. Indian J. Anim. Sci. 45:858-862 (1978).
- 20.- Gutierrez, O.E.: El rastrojo de maíz en la alimentación de los rumiantes. 1er. Simposio Nacional Sobre el Aprovechamiento de Esquilmos Agrícolas y Subproductos Industriales para la Alimentación Animal. Dirección General de Aprovechamientos Forrajeros, SARH, México, 1982.
- 21.- Guzmán, G. y Martínez, C.D.: Planta productora de hongos comestibles sobre pulpa de café. Ciencia y Desarrollo 65:41-48 (1985).
- 22.- Harrison, J.H., Blauwiekel, R. and Stokes, M.R.: Fermentation and utilization of grass silage. J. Dairy Sci. 77:3209-3235 (1994).
- 23.- Herrera, S.R.: Efecto del rastrojo de sorgo tratado con amoníaco anhidro en la engorda de toros. 1er. Simposio Nacional Sobre Aprovechamiento de Esquilmos Agrícolas y Subproductos Industriales para la Alimentación Animal. Dirección General de Aprovechamientos Forrajeros, SARH, México, 1982.

- 24.- Henderson, N.: Silage additives. Anim. Feed Sci. Technol. 45:35-56 (1993).
- 25.- Henics, Z.: Effect of wheat straw updegraded by *Pleurotus ostreatus* on rumen fermentation and fattening performance of steers. World Rev. Anim. Prod. 23:56-60 (1987).
- 26.- Hughes, H.D. and Heat, M.E.: Forrajes, la ciencia de la agricultura basada en la producción de pastos. CECSA, México. 1980.
- 27.- Jackson, M.G.: Evaluación de la factibilidad técnica y económica del tratamiento de la paja para la alimentación animal. Rev. Mundial Zoot. 28:31-37 (1978).
- 28.- Jackson, M.G.: Review article: The alkali treatment of straws. Anim. Feed. Sci. Technol. 2:105-130 (1977).
- 29.- Jucafresca, B.: Forrajes, fertilizantes y el valor nutritivo. Aedos, Barcelona, España. 1974.
- 30.- Kellaway, R.C. y Leibhoiz, J.: Efectos de los suplementos nitrogenados en la digestión y utilización de forrajes de baja calidad. Rev. Mundial Zoot. 48:33-37(1983).
- 31.- Kennedy, S.J., Gracey, H.I., Underworth, E.F., Steen, R.W.J. and Anderson, R.: Evaluation studies in the development of a commercial bacterial inoculant as an additive for grass

- silage. 2. Responses in finishing cattle. Grass Forage Sci. 44:371-380 (1989).
- 32.- Kirk, R.E. and Othermer, D.F.: Encyclopedia of chemical technology. Vol. 6. 3a. Ed. John Wiley and Sons. New York, U.S.A. 1983.
- 33.- Kung, L., Jr., Tung, R.S., Maciorowski, K. B. and Knutsen, K.: Effects of plant cell-wall degrading enzymes and lactic acid bacteria on silage fermentation and composition. J. Dairy Sci. 74:4284-4296 (1991).
- 34.- Kung, L., Jr., Satter, L.D., Jones, B.A., Genin, K.W., Sudoma, A.L., Enders, G.L., Jr. and Kim, H.S.: Microbial inoculation of low moisture alfalfa silage. J Dairy Sci. 70:2069-2077 (1987).
- 35.- Leal, H.: La importancia del papel de la lignina en la utilización de desperdicios agrícolas. Cuadernos de Posgrado. 4 Alimentos Facultad de Química, UNAM, México. 1982.
- 36.- Liendenfelser, L.A., Detroy, R.W., Ramstack, J.M. and Worden, K.A.: Biological modifications of the lignin and cellulose components of wheat straw by Pleurotus ostreatus. Dev. Ind. Microbiol. 20:541-551 (1979).

- 37.- López, A.M. y Magaldi: Avena, alpiste y mijo. Ed. Albatros, Buenos Aires, República de Argentina. 1986.
- 38.- Llamas, L.G.: Tratamiento alcalino de pajas y rastrojos. Memorias del 2o. Curso Nacional de Actualización en Nutrición y Alimentación de Rumiantes. I.N.I.P., México. p. 127-131 (1984).
- 39.- Márquez, S.R.: Evaluación de las propiedades físicas y químicas de microensilados de maíz (*Zea mays*) adicionados con un probiótico. Tesis de Licenciatura. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UNAM, México. 1995.
- 40.- Martínez, A.A. y Shimada, S.A.: Rastrojo de maíz tratado con amoníaco anhidro y su efecto en el comportamiento de ovinos en crecimiento. Memorias de la Reunión Anual de Investigación Pecuaria en México. I.N.I.P.-S.A.R.H., México. p. 595-698 (1983).
- 41.- Martínez, J. E., Herrera, L. R.: La Conservación de Forrajes. Desarrollo Ganadero, Ministerio de Agricultura y Cría, Región de los Andes, Venezuela. 1984.
- 42.- Martínez, C.D., Quirarte, M., Soto, C., Salmones, D. y Guzmán, G.: Perspectivas sobre el cultivo de hongos

- comestibles en residuos agroindustriales en México. Bol. Soc. Mex. Micología 12:207-219 (1984).
- 43.- Maynard, L.A., Loosly, J.K., Hintz, H.F. and Warner, R.G.: Nutrición Animal. 7a. ed. Mc Graw-Hill, México. 1981.
- 44.- Mayne, C.S. and Steen, R.W.J.: Recent research on silage additives for milk and beef production. 63rd Annual Report 1989-1990, Agricultural Research Institute of North Ireland, Ireland. p. 31-42. 1990.
- 45.- McDonald, P., Henderson, A.N. and Heron, S.J.E.: Nutritive value of silages. In: The biochemistry of silage. 2nd ed. Chacome Publications, Marlow, U.K. p. 250-305. 1991.
- 46.- McDonald, P., Edwards, R.A. and Greenhald, J.F.D.: Animal Nutrition. 2nd ed. Longman. London and New York. 1975.
- 47.- McDonald, P. and Whiten-bury, R.: Silage. In: The chemistry and biochemistry of herbage. Butter, G.W. and Bailey, R.W. Eds. Academic Press, London. 1971.
- 48.- Meléndez, L.E.: Tratamiento de pajas con amoníaco anhidro para alimento de ganado. 1er. Simposio Nacional Sobre el Aprovechamiento de Esquilmos Agrícolas y Subproductos Industriales para la Alimentación Animal. Dirección General de Aprovechamientos Forrajeros, S.A.R.H., México. 1982.

- 49.- Meléndez, A., Sánchez, E. y Márquez, P.: Cambios en la composición química y digestibilidad in vitro de la paja de trigo tratada con compuestos alcalinos. Resúmenes de la XIII Reunión Anual del I.N.I.P.L.S.A.G., México. 1976.
- 50.- Moore, I.M.: Ensilado y Henificación. Ed. Acribia, Zaragoza, España. 1968.
- 51.- Nesbakken, T. and Broch-Due, M.: Effects of a commercial inoculant of lactic acid bacteria on the composition of silages made from grasses of low dry matter content. *J. Sci. Food Agric.* 54:177-190 (1991).
- 52.- Núñez, M.M. y Ortega, C.M.E.: Tratamiento de la paja de trigo con urea, hidróxido de calcio o sustrato de amonio. *Arch. Latinoamer. Nutr.* 37:388-394 (1987).
- 53.- O'Kiely, P., Flynn, A.V. and Poole, D.B.R.: Sulphuric acid as a silage preservative. 1. Silage preservation, animal performance and copper status. *Irish J. Agric. Res.* 28:1-9 (1989).
- 54.- Pahlow, G.: Role of microflora in forage conservation. In: Proceedings European Federation Conference, Forage Conservation Towards 2000. G. Pahlow and Honig Eds. Braunschweig, January 1991. p. 26-36. 1991.

- 55.- Peñagaricano, J.A., Arias, W. y LLanez, N.J.: Ensilaje; manejo y utilización de las reservas forrajeras. Ed. Hemisferio Sur, Montevideo, Uruguay. 1963.
- 56.- Pigden, W. y Bander, F.: Aprovechamiento de la lignocelulosa por los rumiantes. Rev. Mundial Zoot. 4:7-10 (1972).
- 57.- Pigden, W. and Heaney D. P.: Lignocellulose in ruminant nutrition. In: Cellulose and its application. American Chemical Society. Advances in Chemistry, Series 95. Washington, D.C. 1969.
- 58.- Química Mexama, S.A. de C.V.: Proceso de producción de ácido cítrico. Química Mexama, 59.- Ranjhan S. K.: Subproductos agroindustriales en la alimentación de rumiantes en la India. Rev. Mundial Zoot. 28:31-37 (1978).
- 60.- Raymond, F., Gordon, S. y Walthan, R.: Forraje, conservación y alimentación. Ed. G.E.A., Barcelona, España. 1977.
- 61.- Richter, G.: Fisiología del metabolismo de las plantas. CECSA, México. 1984.
- 62.- Rust, S.R., Kim, H.S. and Enders, G.L.: Effects of a microbial inoculant on fermentation characteristics and nutritional value of corn silage. J. Prod. Agric. 2:235-241 (1989).

- 63.- Sánchez, E. J.: Cambios en la composición química y digestibilidad de forrajes de baja calidad nutritiva, mediante el uso de diversos compuestos químicos. Téc. Rec. Méx. 21:64-74 63.-64.- SARH, Subsecretaría de Planeación, Dirección General de Estadística, México. 1992.
- 65.- SAS. 1985. Statistical Analysis System Institute, Inc. User's Guide: Statistics. SAS Institute Inc. Cary, N.C., U.S.A.
- 66.- Shimada, M.A.: Fundamentos de nutrición animal comparativa. 1a. ed. Patronato de Apoyo a la Investigación y Experimentación Pecuaria, México. 1983.
- 67.- Shultz, T.A. and Ralston, A.T.: NaOH treated ray grass straw NPN sources. J. Anim. Sci., 36:1211-1212 (1973).
- 68.- Stanhar, F.: Manual para la conservación del forraje. Ed. Hemisferio Sur, Montevideo, Uruguay, 1990.
- 69.- Steel, R.G.D. and Torrie, J.H.: Bioestadística: Principios y Procedimientos. 2a. ed. McGraw Interamericana de México, S.A. de C.V., México. 1988.
- 70.- Stephen, J.W., Smith, A.M.: El ensilaje. 4a. ed. Compañía Ed. Continental S.A., México. 1974.

- 71.- Streeter, C.L., Conway, K.E., Horn, G.W. and Amder, T.L.:  
Nutritional evaluation of wheat straw incubated with the  
edible mushroom *Pleurotus ostreatus*. *J. Anim. Sci.* 54:183-188  
(1982).
- 72.- Streeter, C.L., Conway, K.E. and Horn, G.W.: Effect of  
*Pleurotus ostreatus* and *Erwinia carotovora* on wheat straw  
digestibility. *Mycologia* 72:1040-1048 (1981).
- 73.- Sundstol, F., Coxwort, E. y Monwart, D. N.: Mejora del valor  
nutritivo de la paja mediante el tratamiento con amoníaco.  
*Rev. Mundial Zoot.* 26:13-21 (1978).
- 74.- Tejada, I.: Manual de laboratorio para análisis de  
ingredientes utilizados en la alimentación Animal. I.N.I.P.  
S.A.R.H., México. 1983.
- 75.- Terrón, U.P.: Tratado de fitotecnia general. 2a. Ed. Mundi  
Prensa, Madrid, España. 1992.
- 76.- Tilley, J. and Terry, R.: A two stage technique for the in  
vitro digestion of forage crops. *J. Brit. Grassl. Soc.*,  
18:111-104 (1963).
- 77.- Varga, G.A., Tyrrell, H.F., Hungtington, G.B., Waldo, D.R.  
and Glenn, B.P.: Utilization of nitrogen and energy by  
Holstein steers fed formaldehyde and formic acid treated

- alfalfa or orchardgrass at two intakes. *J. Anim. Sci.* 68:3780-3791 (1990).
- 78.- Waldo, D.R., Varga, G.A., Huntington, G.B., Glenn, B.P. and Tyrrell, H.F.: Energy components of growth in Holstein steers fed formaldehyde and formic acid treated alfalfa or orchard grass at equalized intakes of dry matter. *J. Anim. Sci.* 68:3792-3804 (1990).
- 79.- Waller, J.C. and Klopfenstein, T.: Hidroxides for treating crop residues. *J. Anim. Sci.* 4:424-430 (1975).
- 80.- Watson, V.S. y Smith, A.M.: El ensilaje. *Compañía Ed. Continental, S.A., México.* 1974.
- 81.- Wittenberg, K.M., Ingalls, J.R. and Devlin, T.J.: The effect of lactobacteria inoculation on corn silage preservation and feeding value for growing beef animals and lambs. *Can. J. Anim. Sci.* 63:917-924 (1983).
- 82.- Woolford, M.K. The silage fermentation. *Marcel Dekker Inc.* New York and Basel. 1984.
- 83.- Yamakawa, M., Abe, H. and Okamoto, M.: Effect of incubation with edible mushroom *Pleurotus ostreatus*, on voluntary intake and digestibility of rice straw by sheep. *Anim. Sci. Technol. (Jpn.)* 63:129-133 (1992).

- 84.- Yamakawa, M., Abe, H. and Okamoto, M.: Effect of incubation with edible mushroom *Pleurotus ostreatus* on *in vitro* degradability of rice straw. *Anim. Sci. Technol. (Jpn.)* 61:180-185 (1992).

## CUADRO 1

## PRODUCCION DE AVENA DURANTE EL AÑO DE 1992

ESTADO	SUPERFICIE SEMRADA (Hectáreas)	SUPERFICIE COSECHADA (Hectáreas)	PRODUCCION COSECHADA DE GRANO (Tons)	PRODUCCION DE PAJA (Tons)
Baja California	455	455	416	374
Coahuila	137	101	193	174
Chihuahua	32,876	28,100	26,918	24,226
Durango	423	411	762	686
Hidalgo	1,215	1,215	1,608	1,447
Jalisco	115	115	497	447
Edo. de México	3,190	3,190	6,821	6,139
Nuevo León	157	77	153	138
Oaxaca	13	13	26	23
Tlaxcala	129	129	258	232
Zacatecas	1,627	1,432	1,772	1,595

SARH, 1992.

## CUADRO 2

ANALISIS DE LOS RESIDUOS SOLUBLES DE LA PRODUCCION DE ACIDO  
CITRICO (RSPAC)

---

	RSPAC
Humedad	80.20%
Proteína bruta (N X 6.25)	15.90%*
Extracto etéreo	0.87%*
Fibra bruta	47.61%*
Cenizas	3.48%*
Carbohidratos solubles	32.14%*
Calorías	200/100 g*

---

\* Datos reportados en base seca.

Química Mexama, S.A. de C.V., 1995.

## CUADRO 3

CONTENIDO DE HUMEDAD, CENIZAS, PROTEINA BRUTA, N-AMONICAL, ENERGIA BRUTA Y DIVMS\* DE LA PAJA DE AVENA Y LOS RESIDUOS SOLUBLES DE LA PRODUCCION DE ACIDO CITRICO

	PAJA DE AVENA	RESIDUOS SOLUBLES DE LA PRODUCCION DE ACIDO CITRICO
Humedad (%)	9.02 + 0.04	81.40 + 0.13
Cenizas (%)	6.37 + 0.22	2.37 + 0.10
Proteína Bruta (%) (N X 6.25)	6.31 + 0.18	13.56 + 0.12
N-amoniaco (%)	0.043 + 0.005	0.027 + 0.002
Energía Bruta (kcal/g)	2.769 + 0.11	3.801 + 0.07
DIVMS (%)	73.23 + 2.41	27.03 + 0.30

Datos reportados en base seca

\* Digestibilidad in vitro de la materia seca

## CUADRO 4

CONTENIDO DE FIBRA DETERGENTE NEUTRO (FDN), FIBRA DETERGENTE ACIDO (FDA), LIGNINA,  
CELULOSA Y SILICE EN LA PAJA DE AVENA Y EN LOS RESIDUOS SOLUBLES DE LA PRODUCCION DE ACIDO  
CITRICO

%	PAJA DE AVENA	RESIDUOS SOLUBLES DE LA PRODUCCION DE ACIDO CITRICO
FDN	79.27 + 0.02	66.70 + 0.27
FDA	55.89 + 0.005	50.37 + 0.40
Lignina	11.68 + 0.06	9.32 + 0.19
Celulosa	37.69 + 0.53	39.31 + 0.28
Sílice	5.75 + 0.10	1.65 + 0.34

Datos reportados en base seca

CUADRO 5

CONTENIDO DE HUMEDAD, CENIZAS, PROTEINA BRUTA, ENERGIA BRUTA Y DIVMS\* DE LOS ENSILADOS DE PAJA DE AVENA CON 50% DE RESIDUOS SOLUBLES DE LA PRODUCCION DE ACIDO CITRICO (RSPAC), CON Y SIN H<sub>2</sub>O A LOS CERO Y 30 DIAS

	50% PAJA DE AVENA + 50% RSPAC + 4 L H <sub>2</sub> O		50% PAJA DE AVENA + 50% RSPAC		ESM
	DIAS		DIAS		
	CERO	30	CERO	30	
Humedad (%) <sup>b,c</sup>	58.11	60.28	48.76	48.44	0.957
Cenizas (%) <sup>a,b,c,d</sup>	6.05	8.14	6.08	6.97	0.344
Proteína bruta (%) (N X 6.25) <sup>a,b,c,d</sup>	7.20	8.17	7.74	8.83	0.201
Energía bruta (kcal/g) <sup>a,c</sup>	2.693	3.071	2.891	3.048	0.073
DIVMS (%) <sup>a,c,d</sup>	47.07	64.51	48.03	63.57	2.788

Diferencias significativas (P<0.01)

<sup>a</sup> Ensilados cero días vs ensilados 30 días

<sup>b</sup> Ensilados con H<sub>2</sub>O vs ensilados sin H<sub>2</sub>O

<sup>c</sup> Ensilados con H<sub>2</sub>O cero días vs ensilados con H<sub>2</sub>O 30 días

<sup>d</sup> Ensilados sin H<sub>2</sub>O cero días vs ensilados sin H<sub>2</sub>O 30 días

CUADRO 6

CONTENIDO DE FIBRA DETERGENTE NEUTRA, FIBRA DETERGENTE ACIDA, LIGNINA, CELULOSA Y SILICE EN LOS ENSILADOS DE PAJA DE AVENA CON 50% DE RESIDUOS SOLUBLES DE LA PRODUCCION DE ACIDO CITRICO (RSPAC), CON Y SIN H<sub>2</sub>O A LOS CERO Y 30 DIAS

%	50% PAJA DE AVENA + 50% RSPAC + 4 L H <sub>2</sub> O		50% PAJA DE AVENA + 50% RSPAC		ESM
	DIAS		DIAS		
	CERO	30	CERO	30	
FDN <sup>a</sup>	76.54	76.33	76.82	72.98	1.417
FDA <sup>a,b,c</sup>	52.90	54.45	50.48	54.37	0.863
Lignina	11.01	10.49	10.21	10.33	0.397
Celulosa <sup>a,c,d</sup>	40.14	38.32	40.55	38.47	0.432
Silice <sup>a,d</sup>	5.05	5.20	3.64	5.54	0.401

Diferencias significativas (P<0.01)

<sup>a</sup> Ensilados cero días vs ensilados 30 días

<sup>b</sup> Ensilados con H<sub>2</sub>O vs ensilados sin H<sub>2</sub>O

<sup>c</sup> Ensilados con H<sub>2</sub>O cero días vs ensilados con H<sub>2</sub>O 30 días

<sup>d</sup> Ensilados sin H<sub>2</sub>O cero días vs ensilados sin H<sub>2</sub>O 30 días

CUADRO 7

VALORES DE pH, N-AMONIAL Y ACIDO LACTICO DE LOS ENSILADOS DE PAJA DE AVENA CON 50% DE RESIDUOS SOLUBLES DE LA PRODUCCION DE ACIDO CITRICO (RSPAC), CON Y SIN H<sub>2</sub>O A LOS CERO Y 30 DIAS

	50% PAJA DE AVENA + 50% RSPAC + 4 L H <sub>2</sub> O		50% PAJA DE AVENA + 50% RSPAC		ESM
	DIAS		DIAS		
	CERO	30	CERO	30	
pH <sup>b</sup>	4.06	4.14	4.20	4.21	0.067
N-amoniaco (%) <sup>a,b,c</sup>	0.060	0.086	0.036	0.047	0.008
Acido láctico (%) <sup>b</sup>	-	5.60±0.12*	-	3.29±0.14*	

Diferencias significativas (P<0.01)

<sup>a</sup> Ensilados cero días vs ensilados 30 días

<sup>b</sup> Ensilados con H<sub>2</sub>O vs ensilados sin H<sub>2</sub>O

<sup>c</sup> Ensilados con H<sub>2</sub>O cero días vs ensilados con H<sub>2</sub>O 30 días

\* Error estándar