

Amoniatación de Residuos Agrícolas con Urea

MICROCISIS:	1477
FECHA:	22/01/91
ENCARGADO:	UARGAS.

P O R

Juan Carlos Zapana

TESIS

PRESENTADA A LA
ESCUELA AGRICOLA PANAMERICANA

COMO REQUISITO PREVIO A LA OBTENCION
DEL TITULO DE

INGENIERO AGRONOMO

BIBLIOTECA WILSON FOPENO
ESCUELA AGRICOLA PANAMERICANA
APARTADO 33
TEGUCIGALPA, HONDURAS

El Zamorano, Honduras

Abril, 1990

AMONIATACION DE RESIDUOS AGRICOLAS CON UREA

Por:

JUAN CARLOS ZAPANA

El autor concede a la Escuela Agrícola Panamericana permiso para reproducir y distribuir copias de este trabajo para los usos que considere necesarios. Para otras personas y otros fines, se reservan los derechos del autor.



Juan Carlos Zapana

Abril de 1990.

DEDICATORIA

- A DIOS TODO PODEROSO: Arquitecto creador del Universo y generador de vida durante toda la temporada y especialidad del planeta blanquiazul, por haberme permitido culminar con éxito la primera etapa de mi vida profesional.
- A MI ADORADA MADRE: María Anselma, inagotable manantial de ternura...que en plenitud...me proporciona vida con su vida.

AGRADECIMIENTO.

Sincero agradecimiento a:

- Beatriz Murillo, Msc. Consejera principal, por su brillante asesoría, respaldo incondicional, apoyo moral y espiritual que me brindo durante mi estadía en la E.A.F.

- Banco Interamericano de Desarrollo (BID) por el financiamiento económico de mis estudios, durante mi último año de estudio en el Zamorano.

- A la familia Calderón, Rojas y Flores por apoyarme siempre y brindarme su amistad.

INDICE GENERAL

I.	INTRODUCCION	1
	1. Objetivos.....	2
II.	REVISION DE LITERATURA.....	3
	1. Disponibilidad de residuos agrícolas....	3
	2. Características de residuos agrícolas...	4
	3. Características nutricionales de los materiales lignocelulósicos.....	7
	4. Tratamientos para incrementar la digestibilidad de los materiales lignocelulósicos.....	8
	4.1. Tratamientos Físicos.....	8
	4.2. Tratamientos Biológicos.....	9
	4.3. Tratamientos Químicos.....	10
	4.3.1 Ácidos.....	10
	4.3.2 Alcalinos.....	10
	5. Condiciones de amoniatación.....	14
	5.1. Nivel de amonio.....	15
	5.2. Temperatura.....	15
	5.3. Tiempo de reacción.....	16
	5.4. Humedad.....	16
	5.5. Tipo y calidad del rastrojo.....	16
	6. Efecto sobre el comportamiento animal de materiales lignocelulósicos tratados con amoníaco.....	17
III.	MATERIALES Y METODOS	19
	1. Localización.....	19
	2. Rastrojos.....	19
	3. Manejo de los rastrojos.....	20
	4. Amoniatación.....	20
	5. Diseño experimental y Tratamientos.....	21
	6. Análisis Químico de las muestras.....	22
	7. Análisis estadísticos.....	22
IV.	RESULTADOS.....	23
	1. Observaciones Generales.....	23
	2. Dote de Maíz.....	24
	3. Rastrojo de Maíz.....	33
	4. Rastrojo de Sorgo.....	42
	5. Rastrojo de Frijol.....	51

V.	DISCUSION.....	60
1.	Cambios Físicos.....	60
2.	Cambios Químicos.....	61
2.1.	Efecto de la urea.....	61
2.1.1.	Proteína cruda.....	61
2.1.2.	Digestibilidad <u>in vitro</u>	61
2.1.3.	Fraccionamiento de paredes celulares.....	63
2.2.	Efecto de la humedad.....	67
2.3.	Efecto del tiempo.....	67
VI.	CONCLUSIONES	70
VII.	RECOMENDACIONES	71
VIII.	RESUMEN	72
IX.	BIBLIOGRAFIA	73
X.	ANEXOS.....	79

INDICE DE CUADROS

	PAGINA
Cuadro 1. Producción de residuos agrícolas en Honduras para el año 1987.....	4
Cuadro 2. Tratamientos experimentales.....	21
Cuadro 3. Contenido de proteína cruda (B.S.) del olote de maíz amoniado con urea, en función del tiempo y porcentaje inicial de humedad.....	24
Cuadro 4. Síntesis del ANDEVA de proteína cruda del olote de maíz	25
Cuadro 5. Digestibilidad del olote de maíz amoniado con urea, en función del tiempo y porcentaje inicial de humedad.....	26
Cuadro 6. Síntesis del ANDEVA de la digestibilidad del olote de maíz.....	27
Cuadro 7. Fibra neutro detergente en (B.S.) del olote de maíz amoniado con urea, en función del tiempo y porcentaje inicial de humedad.....	28
Cuadro 8. Síntesis del ANDEVA de la fibra neutro detergente del olote de maíz.....	28
Cuadro 9. Contenido de hemicelulosa (B.S.) del olote de maíz amoniado con urea, en función del tiempo y porcentaje inicial de humedad....	29
Cuadro 10. Contenido de lignina (B.S.) del olote de maíz amoniado con urea, en función del tiempo y porcentaje inicial de humedad...	30
Cuadro 11. Síntesis del ANDEVA para la lignina del olote de maíz.....	30
Cuadro 12. Contenido de celulosa (B.S.) del olote de maíz amoniado con urea, en función del tiempo y porcentaje inicial de humedad.....	31
Cuadro 13. Contenido de cenizas (B.S.) del olote de maíz amoniado con urea, en función del tiempo y porcentaje inicial de humedad.....	32

Cuadro 14.	Contenido de proteína cruda (B.S.) del rastrojo de maíz amoniado con urea, en función del tiempo y porcentaje inicial de humedad.....	33
Cuadro 15.	Síntesis del ANDEVA de la proteína cruda del rastrojo de maíz.....	34
Cuadro 16.	Digestibilidad (B.S.) del el rastrojo de maíz amoniado con urea, en función del tiempo y porcentaje inicial de humedad.....	35
Cuadro 17.	Síntesis del ANDEVA de la digestibilidad del rastrojo de maíz.....	36
Cuadro 18.	Fibra neutro detergente (B.S.) del rastrojo de maíz amoniado con urea, en función del tiempo y porcentaje inicial de humedad.....	37
Cuadro 19.	Síntesis del ANDEVA de la fibra neutro detergente del rastrojo de maíz.....	37
Cuadro 20.	Contenido de hemicelulosa (B.S.) del el rastrojo de maíz amoniado con urea, en función del tiempo y porcentaje inicial de humedad.....	38
Cuadro 21.	Contenido de lignina (B.S.) del el rastrojo de maíz amoniado con urea, en función del tiempo y porcentaje inicial de humedad.....	39
Cuadro 22.	Contenido de celulosa (B.S.) del el rastrojo de maíz amoniado con urea, en función del tiempo y porcentaje inicial de humedad.....	40
Cuadro 23.	Contenido de cenizas (B.S.) del el rastrojo de maíz amoniado con urea, en función del tiempo y porcentaje inicial de humedad.....	41
Cuadro 24.	Contenido de proteína cruda (B.S.) del el rastrojo de sorgo amoniado con urea, en función del tiempo y porcentaje inicial de humedad.....	42
Cuadro 25.	Síntesis del ANDEVA de la proteína cruda del rastrojo de sorgo.....	43

Cuadro 26.	Digestibilidad (B.S.) del el rastrojo de sorgo amoniado con urea, en función del tiempo y porcentaje inicial de humedad.....	44
Cuadro 27.	Síntesis del ANDEVA de la digestibilidad del rastrojo de sorgo.....	45
Cuadro 28.	Fibra neutro detergente (B.S.) del rastrojo de sorgo amoniado con urea, en función del tiempo y porcentaje inicial de humedad.....	46
Cuadro 29.	Síntesis del ANDEVA de la fibra neutro detergente del rastrojo de sorgo.....	46
Cuadro 30.	Contenido de hemicelulosa (B.S.) del rastrojo de sorgo amoniado con urea, en función del tiempo y porcentaje inicial de humedad.....	47
Cuadro 31.	Contenido de lignina (B.S.) del rastrojo de sorgo amoniado con urea, en función del tiempo y porcentaje inicial de humedad.....	48
Cuadro 32.	Síntesis del ANDEVA de la lignina del rastrojo de sorgo.....	48
Cuadro 33.	Contenido de celulosa (B.S.) del rastrojo de sorgo amoniado con urea, en función del tiempo y porcentaje inicial de humedad.....	49
Cuadro 34.	Contenido de cenizas (B.S.) del el rastrojo de sorgo amoniado con urea, en función del tiempo y porcentaje inicial de humedad.....	50
Cuadro 35.	Contenido de proteína cruda (B.S.) del el rastrojo de frijol amoniado con urea, en función del tiempo y porcentaje inicial de humedad.....	51
Cuadro 36.	Síntesis del ANDEVA proteína cruda del rastrojo de frijol.....	52
Cuadro 37.	Digestibilidad (B.S.) del el rastrojo de frijol amoniado con urea, en función del tiempo y porcentaje inicial de humedad.....	53
Cuadro 38.	Síntesis del ANDEVA de la digestibilidad del rastrojo de frijol.....	53

Cuadro 39. Fibra neutro detergente (B.S.) del rastrojo de frijol amoniado con urea, en función del tiempo y porcentaje inicial de humedad.....	54
Cuadro 40. Síntesis del ANDEVA de la fibra neutro detergente del rastrojo de frijol.....	55
Cuadro 41. Contenido de hemicelulosa (B.S.) del el rastrojo de frijol amoniado con urea, en función del tiempo y porcentaje inicial de humedad.....	55
Cuadro 42. Síntesis del ANDEVA de la hemicelulosa del rastrojo de frijol.....	56
Cuadro 43. Contenido de lignina (B.S.) del el rastrojo de frijol amoniado con urea, en función del tiempo y porcentaje inicial de humedad.....	57
Cuadro 44. Síntesis del ANDEVA de la lignina del rastrojo de frijol.....	57
Cuadro 45. Contenido de celulosa (B.S.) del el rastrojo de frijol amoniado con urea, en función del tiempo y porcentaje inicial de humedad.....	58
Cuadro 46. Síntesis del ANDEVA de la celulosa del rastrojo de frijol.....	59
Cuadro 47. Contenido de cenizas (B.S) del el rastrojo de frijol amoniado con urea, en función del tiempo y porcentaje inicial de humedad.....	59
Cuadro 48. Tratamientos con los cuales se obtuvo el mayor incremento en la DIVMO.....	69

INDICE DE GRAFICOS

	PAGINA
Gráfica 1. Efecto de la amoniatación sobre la proteína cruda.....	62
Gráfica 2. Efecto de la amoniatación sobre la digestibi- lidad de la materia orgánica.....	64
Gráfica 3. Efecto de la amoniatación sobre el contenido de Lignina.....	66
Gráfica 4. Efecto del tiempo sobre la digestibilidad de la materia orgánica.....	68

INDICE DE ANEXOS

	PAGINA
Anexo 1. Producción de diferentes rastrojos en fincas centroamericanas.....	80
Anexo 2. Contenido de proteína y energía de algunos esquilmos agrícolas.....	80
Anexo 3. ANDEVA para la proteína cruda (Nx6.25) del plote de maíz en B.S.....	81
Anexo 4. ANDEVA para la DIVMO del plote de maíz en B.S.....	81
Anexo 5. ANDEVA para fibra neutro detergente del plote de maíz en B.S.....	82
Anexo 6. ANDEVA para contenido celular del plote de maíz en B.S.....	82
Anexo 7. ANDEVA para hemicelulosa del plote de maíz en B.S.....	83
Anexo 8. ANDEVA para lignina del plote de maíz en B.S.....	83
Anexo 9. ANDEVA para celulosa del plote de maíz en B.S.....	84
Anexo 10. ANDEVA para cenizas insolubles del plote de maíz en B.S.....	84
Anexo 11. ANDEVA para la proteína cruda (Nx6.25) del rastrojo de maíz en B.S.....	85
Anexo 12. ANDEVA para la DIVMO del rastrojo de maíz en B.S.....	85
Anexo 13. ANDEVA para la fibra neutro detergente del rastrojo de maíz en B.S.....	86
Anexo 14. ANDEVA para contenido celular del rastrojo de maíz en B.S.....	86

Anexo 15. ANDEVA para hemicelulosa del rastrojo de maíz en B.S.....	87
Anexo 16. ANDEVA para lignina del rastrojo de maíz en B.S.....	87
Anexo 17. ANDEVA para celulosa del rastrojo de maíz en B.S.....	88
Anexo 18. ANDEVA para cenizas insolubles del rastrojo de maíz en B.S.....	88
Anexo 19. ANDEVA de proteína cruda (Nx6.25) del rastrojo de maíz en B.S.....	89
Anexo 20. ANDEVA para DIVMO del rastrojo de sorgo en B.S.....	89
Anexo 21. ANDEVA de fibra neutro detergente del rastrojo de sorgo en B.S.....	90
Anexo 22. ANDEVA para contenido celular del rastrojo de sorgo en B.S.....	90
Anexo 23. ANDEVA para hemicelulosa del rastrojo de sorgo en B.S.....	91
Anexo 24. ANDEVA para lignina del rastrojo de sorgo en B.S.....	91
Anexo 25. ANDEVA para celulosa del rastrojo de sorgo..	92
Anexo 26. ANDEVA para cenizas insolubles del rastrojo de sorgo en B.S.....	92
Anexo 27. ANDEVA para proteína cruda (Nx6.25) del rastrojo de sorgo en B.S.....	93
Anexo 28. ANDEVA para DIVMO del rastrojo de frijol en B.S.....	93
Anexo 29. ANDEVA para fibra neutro detergente del rastrojo de frijol en B.S.....	94
Anexo 30. ANDEVA para contenido celular del rastrojo de frijol en B.S.....	94
Anexo 31. ANDEVA para hemicelulosa del rastrojo de frijol en B.S.....	95

Anexo 32. ANDEVA para lignina del rastrojo de frijol..	95
Anexo 33. ANDEVA para celulosa del rastrojo de frijol..	96
Anexo 34. ANDEVA para cenizas insolubles del rastrojo de frijol en B.S.....	96
Anexo 35. Valores de pH de los rastrojos después de 30 días de aireado.....	97

II. REVISION DE LITERATURA

En el futuro los animales sólo podrán consumir, en forma reducida, los cereales debido a su alto costo.

Por lo tanto, los rastrojos serán una alternativa para la alimentación de rumiantes, en vista de la habilidad de éstos para fermentar alimentos como forrajes y residuos celulósicos. De otra forma, este tipo de alimento no podría ser usado para satisfacer parcialmente la creciente demanda de alimentos de alta calidad para el consumo humano.

1. Disponibilidad de residuos agrícolas

Los rastrojos están disponibles como alimento animal, en situaciones de emergencia, especialmente en los trópicos, donde su máxima disponibilidad es en periodos de sequía (Escobar y Parra, 1980). El rastrojo de frijol se cosecha a la mitad de la época seca cuando se hace notorio el estrés del ganado por la pobreza cualitativa y cuantitativa de los pastos, y el de maíz y/o sorgo a principios y/o al final de la época seca (Ruiz, 1980) (Anexo 1).

En el Cuadro 1 se presenta la producción de residuos agrícolas en Honduras para el año 1987 (FAO, 1987).

Cuadro 1. Producción de residuos agrícolas en Honduras para el año 1987.*

<u>CULTIVO</u>	<u>TONELADAS</u>	<u>PORCENTAJE</u>
Maiz	348000	77.5
Sorgo	30000	6.7
Frijol	22000	4.8
Arroz	49000	11.0
Total	449000	100.0

* FAO, 1987.

Como puede apreciarse, el volumen de producción, que constituye la disponibilidad potencial, es considerable, en especial los residuos de cosecha del maíz (rastrojo y olote) que representan más del 75% del total producido.

2. Características de los residuos agrícolas.

Se entiende por alimentos altamente fibrosos aquellos que tienen alto contenido de paredes celulares (Tejada, 1979; Sánchez, 1976; Llamas y col., 1985).

Las paredes celulares están constituidas por celulosa, hemicelulosa y lignina, fracciones que están asociadas física y químicamente en una forma muy estrecha (Van Soest, 1969a; Orskow, 1982; Llamas y col., 1985; Velasco y col., 1985; Church y Pond, 1987). Los contenidos celulares son más solubles y están constituidos principalmente por carbohidratos solubles, lípidos y las fracciones nitrogenadas consistentes

de aproximadamente 2/3 de proteína y 1/3 de compuestos nitrogenados no proteicos (NMP) (Van Soest, 1964). La celulosa es un polímero de unidades de glucosa y el grado de polimerización varía dependiendo de la fuente de celulosa. Es la principal materia esquelética de las plantas, existe en varias formas, siendo la forma Alfa la más importante (Burton, 1985). Además es usualmente el polisacárido más abundante en la pared celular y el más insoluble (Pigden y Heaney, 1969 y Van Soest, 1969b). La celulosa está disponible para la microflora del rumen en un rango de 25 a 90% (Pigden y Heaney, 1969). El rumiante recién nacido o joven es incapaz de utilizar la lignocelulosa porque carece de enzimas celulolíticas. Al pasar el tiempo, los rumiantes desarrollan en el rumen una microflora con actividad celulolítica, por lo que a los dos o tres meses el animal puede digerir la lignocelulosa en el mismo grado que un rumiante adulto. Los productos finales de la lignocelulosa son principalmente los ácidos acético, propiónico y butírico y proteínas de origen bacteriano las cuales son utilizados en los procesos metabólicos del animal (Pigden y Heaney, 1969; Tarkow y Ferst, 1969). La hemicelulosa es un polisacárido amorfo formado por cadenas cortas de glucosas, polímeros de xilosa, arabinosa, manosa y galactosa mas mezclas de polímeros de monosacáridos y ácido urónico. El xilano es el principal componente de la hemicelulosa en los forrajes. La hemicelulosa existe en asociación con la celulosa y la lignina y son separados de

la celulosa por extracción con álcali y ácido diluido.

El contenido de hemicelulosa varía ampliamente dependiendo del tipo de material en un rango de 6 a 40%. La disponibilidad de la hemicelulosa para la microflora del rumen varía en un rango de 45 a 90% (Pigden y Heaney, 1969; Van Soest, 1969b; Jackson, 1978; Sundstol y Coxworth, 1984). La lignina es un polifenol amorfo de alto peso molecular el cual se encuentra contenido en un rango de 2 a 4% en forrajes tiernos y hasta 15% en forrajes maduros. Su función es proporcionar a la planta fuerza y rigidez, pero no tiene ningún valor nutricional porque no es digerible. La lignina no solo actúa como material inerte sino que en asociación física y química con los polisacáridos de la pared celular da como resultado la formación de complejos lignocelulósicos, que frecuentemente actúan como una barrera física que impide el ataque microbiológico a la celulosa y hemicelulosa (Van Soest, 1969a; Klopfenstein, 1978).

Van Soest (1964) clasificó los nutrientes presentes en los residuos agrícolas en tres grupos:

1. Componente no aprovechable, los que no son degradables en el rumen, como la lignina y el sílice.
2. Componentes altamente digeribles, los componentes del contenido celular, la celulosa y hemicelulosa que se encuentran libres en las paredes celulares.
3. Componentes que por estar unidos a la lignina no son digeribles, pero que podrían serlo mediante el uso de

tratamientos físico y químicos aplicados a los forrajes.

3. Características nutricionales de los materiales

Lignocelulósicos

Rodríguez (1986) concluyó que la mayor parte de los residuos agrícolas tienen contenidos bajos de proteína y energía en sus diferentes formas (Anexo 2). Si a esto se le adiciona que los nutrientes se encuentran inmersos en una vasta cantidad de fibras indigeribles que dificultan su digestión y aprovechamiento, se puede tener un panorama real de cual es el valor nutricional de estos ingredientes.

Estudios realizados por Galaviz (1984), sobre los mas importantes rastrojos en América tropical, informaron bajos porcentajes de proteína (4%) y alto contenido de paredes celulares (60 a 80%). Por estas razones, cuando los rastrojos son usados como forraje tienen baja digestibilidad y no poseen el valor nutritivo necesario para sostener una adecuada producción animal (Baumgardt, 1969; Johnson, 1980; Orskow 1982; Nelson y col. 1985).

Ruiz (1980) determinó que la conversión alimenticia de la materia seca del rastrojo de frijol es de 15.5 kg de rastrojo por kg de ganancia de peso y concluyó que si se siguen procedimientos físicos o químicos, se puede mejorar sustancialmente su calidad nutricional, constituyendo así una

gran alternativa para la escasez de forrajes durante la época seca.

4. Tratamientos para incrementar la digestibilidad de los materiales lignocelulósicos.

Se han creado diversos procedimientos con el fin de mejorar la digestibilidad de los rastrojos agrícolas los cuales se pueden resumir en:

4.1 Tratamientos físicos.

4.1.1 Molido o picado, consiste simplemente en reducir el material a partículas pequeñas modificando su área superficial haciéndolas accesibles a la acción microbiana. Este tratamiento también incrementa considerablemente el consumo voluntario. (Escobar y Parra, 1980 y Rodríguez, 1986). Sin embargo el incremento de la digestibilidad de la fracción fibrosa no es concluyente (Pigden y Heaney, 1969; Millett y col., 1970; Preston, 1980).

Beardsley (1964; citado por Escobar y Parra, 1980) en estudios con ovejas encontró aumentos significativos de 25% en el consumo voluntario, y 36% en la conversión del alimento.

Hanke (1985) encontró que el incremento del consumo voluntario es más notorio en materiales lignocelulósicos que en materiales de alto valor

nutritivo.

- 4.1.2 Peletizado, consiste en moler y prensar para formar pastillas o cubos, generalmente con la ayuda de adhesivos y elevación de temperatura. El efecto observado es del mismo tipo que con el material molido (Minson, 1963; citado por Escobar y Parra, 1980; Rodríguez, 1986).

EL peletizado tiene algunas ventajas adicionales, ya que facilitan la adición y mezcla de nutrientes limitantes tales como minerales y vitaminas, reduce los costos de manejo, transporte y almacenamiento propios de materiales voluminosos o de baja densidad y minimiza las pérdidas de material por selección o rechazo por parte de los animales.

Entre las desventajas de este tratamiento están: la necesidad de maquinaria para la molienda, el incremento en costo por picado y la alta demanda de mano de obra (Johnson, 1980; Hanke, 1985; Preston, 1986).

4.2 Tratamientos Biológicos

La posibilidad de aplicar métodos biológicos en el tratamiento de rastrojos ha suscitado gran interés, como alternativa al empleo de productos químicos que pueden ser no económicos. Cabe recordar, sin embargo, que los organismos que puedan crecer en el rastrojo tendrán que conseguir sus nutrientes del propio rastrojo. Todo

tratamiento biológico eficaz debe basarse en el empleo de un microorganismo que se limite simplemente en degradar la lignina (Lynch y col., 1977; Baker y col., 1975; citados por Jackson, 1978).

4.3. Tratamientos Químicos.

Los tratamientos químicos se han llevado a cabo con un gran número de productos de distinta naturaleza.

4.3.1 Ácidos, consiste en adicionar soluciones de ácidos inorgánicos fuertes (clorhídrico, sulfúrico, etc.) o ácidos orgánicos (propiónico, láctico, fórmico). Sin embargo, el aumento del valor nutritivo es reducido en comparación al tratamiento alcalino, el manejo es peligroso y el costo elevado y con frecuencia debe utilizarse un compuesto neutralizador o amortiguador del pH (Becerra y col., 1984; Rodríguez, 1986; Forero, 1988).

4.3.2 Alcalinos, como el hidróxido de sodio (NaOH), hidróxido de Calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), hidróxido de potasio (KOH), hidróxido de amonio (NH_4OH), amoníaco anhidro, orina y ultimamente la urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$), como precursor de amoníaco (Chandra y Jackson, 1971; Waiss y col., 1972; Sánchez, 1976; Oji y col., 1977; Chowdhury, 1982; Hanke, 1982; Sundstol, 1982; Llamas y col., 1985).

El efecto que tienen los tratamientos alcalinos en terminos de mejorar las características

nutricionales es superior al obtenido mediante tratamientos ácidos (Orskow, 1982).

El tratamiento alcalino, provoca el rompimiento de los enlaces entre las hemicelulosas y la lignina, lo que hace aumentar la disponibilidad de las fracciones de la fibra y produce un aumento de tamaño o hinchazón de la celulosa de la pared celular, lo que facilita la acción de las bacterias, al reducir la cristalización de la celulosa (Llamas y col., 1985). El tratamiento químico solubiliza algo de las hemicelulosas, incrementa la tasa de digestión de la celulosa y hemicelulosa. (Klopfenstein, 1978; Sansoucy y Emery, 1982; Orskow, 1982).

4.3.3.1 Hidróxido de Sodio

Beckman (1920; citado por Tejada, 1979) desarrolló un tratamiento en condiciones ambientales, con una solución de NaOH al 1.5%, en una proporción de solución alcalina de 8% de la paja. El tiempo de reacción fué de 24 horas, después del cual el material fue lavado.

Se han desarrollado nuevos métodos con el fin de mejorar la eficiencia del reactivo debido a su alto costo y reducir la cantidad de agua de lavado. En el método de Beckman se necesitaban hasta 50 litros de agua por kg de paja tratada, lo cual

producía pérdidas de nutrientes por lixiviación de hasta un 25%. Asimismo, se provocaba una contaminación ambiental severa y se tenía problemas con el almacenamiento y conservación de los materiales tratados (Homb, 1964; citado por Escobar y Parra 1980; Mozammel, 1982; Becerra y col., 1984; Hanke 1985; Preston, 1986).

Entre los problemas que presentan los animales alimentados con rastrojos tratados con NaOH estan: diuresis osmótica, orina alcalina y hemoglobinuria, (Ololade, 1973; citado por Sánchez 1976; Mozammel, 1982).

Jackson (1978) recomienda usar NaOH al 5% aplicando 10 l por kg de paja, en un sistema cerrado el cual reduce las pérdidas de agua.

El método modificado de Beckman que emplea NaOH al 4%, con un bajo porcentaje de agua, es un sistema cerrado con pérdidas mínimas por lixiviación y pocos problemas de contaminación ambiental. Este método aumenta la digestibilidad hasta en un 20%. Se ha observado un marcado aumento en el consumo de agua (hasta seis veces) al ingerir paja tratada con NaOH (Preston, 1980). Sin embargo se puede reducir mediante el uso de neutralizantes (Hogan y Weston, 1971). El pH del rumen no sufre modificaciones significativas, lo que indica que el animal dentro

de ciertos límites puede asegurar satisfactoriamente el balance iónico (Escobar y Parra, 1980; Arriola y col., 1981).

4.3.3.2 Amoníaco.

Uno de los métodos desarrollados recientemente es el uso de fuentes de amoníaco para tratamiento químico de rastrojos. Al comparar las fuentes de amoníaco contra el hidróxido de sodio Sundstol (1982) concluyó que el amonio presenta ventajas importantes, entre ellas su fácil aplicación y bajo costo relativo. El humedecimiento de los rastrojos previo al tratamiento puede ser bajo, lo cual reduce el tratamiento a una sola operación, reduciendo los problemas de almacenamiento y conservación. Otra ventaja es el incremento del contenido de nitrógeno, que induce a un aumento en digestibilidad mejorando así su valor nutritivo (Klopfenstein y col., 1972; Jiménez y Shimada, 1984; Velasco y col., 1985; Martínez y col., 1985).

No se han observado incrementos en el contenido de sales en los residuos, por lo que no se genera aumentos marcados de la salinidad de los suelos (Perdok, 1987; citado por Forero, 1988; Sundstol y Coxworth, 1984). Además se ha observado que el amoníaco es un excelente fungicida (Oji y col., 1977; Llamas y col., 1985; Martínez y col., 1985;

Velasco y col., 1985; Troxel, 1984).

El método de amoniatación consiste en tratar los rastrojos con amoníaco en forma gaseosa (amonio anhidro) o en solución (NH_4OH); o mediante el uso de urea como precursor de amoníaco. Sundstol y Coxworth (1984) encontraron que la urea puede liberar suficiente amoníaco por la acción de la enzima ureasa, que está presente en los rastrojo agrícolas. Para prevenir cualquier deficiencia de dicha enzima se ha recomendado la adición de harinas de cannavalia o soya cruda (William y col., 1984; citado por Forero, 1988). Mediante la amoniatación se incrementan la digestibilidad de los heno en 5 a 15%, el consumo voluntario en un 25%, y el contenido de nitrógeno expresado como proteína cruda ($\text{N} \times 6.25\%$) de 3 a 8% (Naiss y col., 1972).

5. Condiciones de Amoniatación

El nivel de amonio, la temperatura, el tiempo de reacción, la humedad y el tipo y calidad del material por amoniar son los factores principales que afectan la eficiencia del tratamiento.

5.1 Nivel de amonio

Sundstol (1984) concluyó que desde el punto de vista económico el óptimo de amonio está entre 2.5-3.5% del peso del material y que no justifica exceder el 4%. Saenger y col., (1982) obtuvieron resultados óptimos con un 3% de amonio en base a materia seca para paja de arroz, en este caso el contenido de proteína cruda aumentó de 3.6% en la no tratada a 11.2% en la amoniataada. Moore y col. (1986) concluyeron que la amoniatación al 3% de la materia seca del ensilaje de alfalfa incrementó su digestibilidad .

5.2 Temperatura

La temperatura ambiental afecta la velocidad de reacción. A 100 °C la reacción es inmediata; mientras que a 0 °C la reacción es casi nula (Stuart, 1988).

Pardok (1987; citado por Forero, 1988) encontró que a temperaturas mayores a 70 °C se generan "Imidazoles" que afectan el cerebro del animal causando signos de incoordinación.

5.3 Tiempo de Reacción

El tiempo de reacción para la fijación del amonio está íntimamente ligado a la temperatura del medio ambiente. Sundstol y Coxworth (1984) menciona los siguientes

tiempos de reacción dependiendo de la temperatura:

<u>Temperatura</u>	<u>Tiempo de reacción</u>
-5 °C	8 semanas
5 a 10 °C	4 a 6 semanas
15 a 40 °C	4 semanas

Al aumentar el tiempo de reacción no encontraron efecto positivo en la fijación de amonio en rastrojos de cereales.

5.4 Humedad

Orskow (1982), concluyó que los tratamientos de amoniatación requieren de bajos porcentajes de humedad en comparación a los tratamientos con hidróxido de sodio. Tejada (1979), encontró que un contenido mayor al 50% de humedad inicial en el rastrojo, causa que la actividad del amoníaco no sea homogénea.

Waiss y col. (1972) recomendaron usar 5% de amoníaco anhidro y 30% de humedad inicial; en paja de arroz el contenido de nitrógeno aumentó en 133%.

5.5 Tipo y Calidad del Rastrojo

El contenido de lignocelulosa de los rastrojos varía dependiendo del contenido de lignina, celulosa y hemicelulosa. Estas características dependen de la fuente

vegetal y su estado de madurez (Baumgardt, 1969). Hay respuestas específicas para la amoniatación de los diferentes rastrojos, sin embargo el mecanismo de acción es similar al reducir los componentes fibrosos (Millett y col., 1970; Klopfenstein y col., 1972; Weiss y col., 1972; Saenger, 1983).

La lignificación aumenta a altas temperaturas y fotoperíodos cortos, los cuales son característicos en los trópicos. Para amoniar rastrojo se debe tomar en cuenta la edad del material (Van Soest, 1980).

Chandra y Jackson (1971); Oji y col. (1977) y Nelson y col. (1985), concluyeron que los rastrojos de menor valor nutritivo aumentan su digestibilidad en mayor grado cuando son sometidos a los distintos tratamientos alcalinos que los forrajes de mejor calidad.

6. Efecto sobre el Comportamiento Animal de Materiales Lignocelulósicos tratados con Amoníaco.

Los rastrojos tratados con amoníaco ejercen un efecto positivo sobre el consumo voluntario de los rumiantes (Tejada, 1979). Para que este efecto benéfico se presente es importante dejar airear el rastrojo, debido a que se han observado intoxicaciones temporales y falta de consumo con materiales recién tratados (Oji y col., 1977; Perdok, 1987; citado por Forero, 1988).

Baber y col. (1988) concluyeron que la urea debe ser usada para amoníatar el forraje en vez de emplearla como suplemento alimenticio.

Oji y col. (1977) observaron en corderos con un peso promedio de 26 kg en consumo de 949 a 984 g de materia seca por día de rastrojo de maíz tratado con amoniaco anhidro, en comparación con uno de 664 g por día de rastrojo sin tratar.

Nelson y col. (1985) en estudios de crecimiento con novillos concluyeron que la amoniatción incrementó significativamente la ganancia diaria promedio de 0.15 a 0.24 kg por día; el consumo diario promedio aumentó de 4.86 a 5.29 kg de materia seca de rastrojo de trigo tratado, suplementado con alfalfa. Sundstol y Comarín (1984) en estudios realizados con bovinos y ovinos concluyeron que el valor energético de forrajes bascos de mala calidad (como las pajas y los rastrojos) puede aumentarse mediante amoniatción hasta niveles similares al de los henos de mediana calidad.

III. MATERIALES Y METODOS

El estudio consistió en el establecimiento de las condiciones óptimas para amoniar con urea los rastrojos agrícolas más comúnmente encontrados en el departamento de Francisco Morazán.

1. Localización

Este estudio se llevó a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Nutrición Animal del Departamento de Zootecnia de la Escuela Agrícola Panamericana, Honduras. Esta está situada a 800 m sobre el nivel del mar, presenta una temperatura promedio de 22°C y una época de lluvias que comprende los meses de junio a noviembre, con una precipitación promedio anual de 1073 mm.

2. Rastrojos

Los rastrojos estudiados fueron: rastrojo de maíz, híbrido H-27, rastrojo de sorgo, variedad Isiap dorado; rastrojo de frijol, variedad Catrachita y olote de maíz, híbrido H-27. Todos ellos fueron provenientes de la cosecha 1989 recolectados en los campos del Departamento de Agronomía de la Escuela Agrícola Panamericana.

3. Manejo de los rastrojos

Los rastrojos se recolectaron aproximadamente una semana después de la cosecha y se almacenaron sueltos en una galera. Los rastrojos tuvieron un contenido de humedad inicial entre 8 y 10%. Previo a los tratamientos con la urea, fueron picados en un molino de martillo, para forrajes, en fragmentos de aproximadamente 2 cm de largo.

4. Amoniatación

La amoniatación de los rastrojos se efectuó dentro de bolsas de polietileno de 30.5 cm de ancho, por 45.7 cm de largo y 0.005 cm de grosor, las cuales fueron identificadas con el correspondiente número de tratamiento y repetición. En cada bolsa se colocó un kilogramo de rastrojo, se le aplicó urea disuelta en agua en cantidades adecuadas para cada tratamiento y se mezcló manualmente. Las bolsas fueron cerradas herméticamente y se introdujeron dentro de otra bolsa para evitar las fugas de amoníaco producido por la urea y se almacenaron las bolsas a temperatura ambiente para su conservación por 14 y/o 28 días.

Al finalizar el tiempo de almacenaje las bolsas fueron abiertas y el rastrojo fue expuesto al aire, hasta que todo el exceso de amoníaco se había volatilizado

5. Diseño experimental y tratamientos.

El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo factorial $3 \times 2 \times 2 + 1$ para cada rastrojo (olote de maíz, rastrojo de maíz, rastrojo de sorgo y rastrojo de frijol). Los tratamientos consistieron en tres concentraciones de urea (2, 4 y 6%); dos niveles de agua (30 y 40%), y dos tiempos de almacenamiento (14 y 28 días). Cada tratamiento se efectuó por triplicado dando un total de 39 unidades experimentales (Cuadro 2)

Cuadro 2. Tratamientos Experimentales¹

	Forraje	Urea %	Agua %	Tiempo días
1	Rastrojo de maíz**	0	10	0
2	Rastrojo de maíz	2	30	14
3	Rastrojo de maíz	2	30	28
4	Rastrojo de maíz	2	40	14
5	Rastrojo de maíz	2	40	28
6	Rastrojo de maíz	4	30	14
7	Rastrojo de maíz	4	30	28
8	Rastrojo de maíz	4	40	14
9	Rastrojo de maíz	4	40	28
10	Rastrojo de maíz	6	30	14
11	Rastrojo de maíz	6	30	28
12	Rastrojo de maíz	6	40	14
13	Rastrojo de maíz	6	40	28

¹Estos tratamientos se repiten para cada uno de los materiales en estudio.

**El tratamiento número 1 comprende el producto original sin tratamiento (control)

6. Análisis químico de las muestras

Los rastrojos tratados fueron secados en un horno de convección de aire forzado a 58°C por 72 horas, se molieron en un molino de martillo con una criba de dos milímetros y se almacenaron en bolsas plásticas.

Las muestras se analizaron por su contenido de: Paredes celulares, por el método de Goering y Van Soest (1970); digestibilidad in vitro de la materia orgánica (DIVMO) por el método de Menke y col. (1979); Proteína cruda (P.C) por el método de Kjeldahl (A.O.A.C., 1980); pH en solución al 10% (Murillo, 1989).

Todos los resultados se expresaron en base seca (B.S.).

7. Análisis estadísticos

Los resultados fueron sometidos a evaluación estadística utilizando un análisis de varianza (ANDEVA) con arreglo factorial para cada una de las variables analíticas de los rastrojos en estudio. Además se hicieron correlaciones entre el pH y los niveles de urea de acuerdo a Steel y Torrie (1985).

IV RESULTADOS

1. Observaciones Generales

Se encontraron diferencias en las características de los diferentes rastrojos tratados al finalizar los tiempos de almacenamiento.

Los rastrojos oscurecieron de un dorado amarillento a un marrón claro en el caso de las gramíneas y de un color marrón claro a un marrón oscuro en el caso del rastrojo del frijol, además que la textura fue más quebradiza.

No se observó desarrollo de hongos independientemente de la concentración de urea, grado de humedad y tiempo de almacenamiento.

Al momento de abrir las bolsas de cada tratamiento, se sintió un fuerte olor a amoníaco el cual desapareció después de 24 a 36 horas de aireamiento.

2. Glote de Maiz.

En el Cuadro 3, se presentan los promedios del contenido de P.C (Nx6.25) del olote de maíz sometido a diferentes concentraciones de urea, humedad y tiempo de almacenamiento.

Cuadro 3. Contenido de proteína cruda porcentaje en B.S del olote de maíz amoniado con urea, en función del tiempo y porcentaje inicial de humedad.

	Tiempo (días)				
	14		28		
	Humedad %		Humedad %		
	30	40	30	40	X
Urea %					
0 Control					2.6d*
2	5.8	6.6	7.5	6.8	6.7c
4	9.6	7.2	10.0	8.4	8.8b
6	12.2	11.7	12.9	11.4	12.1a
X	9.2b	8.5b	10.1a	8.9b	
X Tiempo	8.9b		9.5a		
X Humedad	9.7a (30%)		8.7b (40%)		

* Literales diferentes en líneas y columnas son diferentes estadísticamente ($P < 0.05$).

El control se caracterizó por su bajo contenido de proteína cruda (2.6%), el cual aumentó significativamente ($P < 0.05$) con los diferentes tratamientos. La mayor fijación de nitrógeno ($P < 0.05$) se presentó con la mayor concentración de urea (6%), 30% de humedad y 28 días de almacenamiento.

En la síntesis del ANDEVA para comparar los diferentes tratamientos (Cuadro 4), se detectó diferencias estadísticas ($P < 0.01$) entre los diferentes factores estudiados (Urea, humedad y tiempo). Además hubo interacción entre la urea y la humedad. No existieron interacciones entre la urea-tiempo y humedad-tiempo (Anexo 3)

Cuadro 4. Síntesis del ANDEVA de la proteína cruda del glote de maíz.

FV	Fcal
Urea	114.30**
Humedad	11.17**
Tiempo	4.69*
U x H	4.31*

* Diferencias significativas al 5%

** Diferencias significativas al 1%

Los resultados promedio de DIVMO del glote de maíz se presentan en el Cuadro 5. Se hallaron diferencias ($P < 0.05$), entre la DIVMO del control (56.59%) y el resto de los tratamientos (66.72% en promedio). También se observó que el mayor incremento en el porcentaje de DIVMO corresponde al tratamiento con 6% de urea, 30% de humedad y 28 días.

Cuadro 5. Digestibilidad del clote de maíz amoniado con urea, en función del tiempo y el porcentaje de humedad.

Urea %	Tiempo (días)				X
	14		28		
	Humedad %		Humedad %		
	30	40	30	40	
0 Control					56.6d*
2	60.3	62.8	67.5	63.3	63.5b
4	65.5	66.2	71.2	71.2	68.5a
6	64.0	67.0	74.5	67.4	68.2a
X	63.3d	65.3c	71.1a	67.3b	
X Tiempo	64.3b		69.3a		
X Humedad	67.2a (30%)		66.3a (40%)		

* Literales diferentes en líneas y columnas son diferentes estadísticamente ($P < 0.05$).

La síntesis del ANDEVA para la DIVMD (Cuadro 6) reveló diferencias ($P < 0.01$) debido a la concentración de urea y también el tiempo tuvo un marcado efecto en favor de los 28 días donde se encontraron los porcentajes de DIVMD más altos. No hubo efecto de humedad ni interacciones urea-humedad y urea-tiempo (Anexo 4).

Cuadro 6. Síntesis del ANDEVA de la digestibilidad del olote de maíz.

FV	F cal
Urea	37.71**
Tiempo	84.89**
H x T	30.00**

** Diferencias significativas al 1%

Los contenidos de fibra neutro detergente (FND) se presentan en el Cuadro 7. Se detectó una disminución significativa ($P < 0.05$) de este parámetro entre el tratamiento control (91%), con respecto a los diferentes tratamientos (86.7% en promedio). La mayor reducción está en el tratamiento con 6% de urea, 30% de humedad y 28 días (80.4%), seguido por el tratamiento con 4% de concentración de urea, 30% de humedad y 28 días (83.6%). El ANDEVA de FND (Cuadro 8) reveló diferencias ($P < 0.01$) entre los factores que afectan la amoniatación (urea, humedad, tiempo), se encontraron interacciones entre la urea-humedad, pero no entre urea-tiempo (Anexo 6).

Cuadro 7. Fibra neutro detergente (B.S.) del olote de maíz amoniatoado con urea, en función del tiempo y porcentaje de humedad.

Tiempo (días)					
14			28		
Humedad %			Humedad %		
30	40		30	40	X
Urea %					
0 control					91.0c*
2	90.3	89.5	88.3	87.5	88.9b
4	87.2	87.5	83.6	85.4	85.9a
6	86.5	87.4	80.4	86.8	85.3a
X	88.0c	88.2c	84.1a	86.6b	
X Tiempo	88.1b		85.3a		
X Humedad	86.1a (30%)		87.4b (40%)		

* Literales diferentes en líneas y columnas son diferentes estadísticamente ($P < 0.05$).

Cuadro 8. Síntesis del ANDEVA de la fibra neutro detergente del olote de Maíz.

FV	Fcal
Urea	43.85**
Humedad	15.22**
Tiempo	65.38**
U x H	14.83**

** Diferencias significativas al 1%

No existieron cambios significativos en el contenido de hemicelulosa (Cuadro 9), entre el rastrojo no tratado (36.1%) y el rastrojo tratado (34.9%). El ANDEVA se presenta en el Anexo 7.

Cuadro 9. Contenido de hemicelulosa (B.S.) del plote de maíz amoniado con urea, en función del tiempo y porcentaje de humedad.

Urea %	Tiempo (días)				X
	14		28		
	Humedad %		Humedad %		
	30	40	30	40	
0 Control					36.1
2	35.3	36.5	36.8	35.2	35.9
4	34.5	35.1	33.9	34.9	34.6
6	34.6	34.5	33.8	34.8	34.4
X	34.8	35.4	34.8	34.6	
X Tiempo	35.1		34.7		
X Humedad	34.8 (30%)		35.0 (40%)		

* Literales diferentes en líneas y columnas son diferentes estadísticamente ($P < 0.05$).

Se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) en el contenido de lignina (Cuadro 10) entre el control (11.5%) y el rastrojo amoniado (7.9% en promedio). La disminución más notable se presentó con el nivel de 4%, 30% de humedad y 28 días de almacenamiento (6.9%).

Cuadro 10. Contenido de lignina (S.S.) del plote de maíz amoniado con urea, en función del tiempo porcentaje de humedad.

Urea %	Tiempo (días)				
	14		28		X
	Humedad %		Humedad %		
	30	40	30	40	
0 Control					11.5a*
2	11.6	9.8	8.4	9.0	9.7b
4	8.0	7.4	6.4	6.0	6.9c
6	8.3	8.2	6.0	6.4	7.2c
X	9.3b	8.4b	6.9c	7.1c	
X Tiempo	8.9b		7.0c		
X Humedad	8.1b (30%)		7.8b (40%)		

* Literales diferentes en líneas y columnas son diferentes estadísticamente ($P < 0.05$).

Cuadro 11. Síntesis del ANDEVA de la lignina del plote de maíz.

FV	Fcal
Urea	12.53**
Tiempo	14.29**

** Diferencias significativas al 1%

El ANDEVA del contenido de lignina (Cuadro 11) detectó diferencias ($P < 0.01$) entre los factores urea y tiempo, pero no se encontraron diferencias entre los porcentajes de humedad ni interacciones entre los distintos factores (Anexo 8)

El ANDEVA de la celulosa (Anexo 9) no reveló diferencias entre los tratamientos. El contenido de celulosa se indica en el Cuadro 12

Cuadro 12. Contenido de celulosa (B.S.) del olote de maíz amoniatoado con urea, en función del tiempo y porcentaje de humedad.

	Tiempo (días)				
	14		28		
	Humedad %		Humedad %		
	30	40	30	40	X
Urea %					
0 Control					42.0
2	42.3	41.9	41.6	42.2	42.0
4	43.3	43.4	43.8	43.2	43.4
6	41.9	42.9	39.4	44.0	42.0
X	42.5	42.8	41.6	43.1	
X Tiempo	42.6		42.3		
X Humedad	42.0	(30%)	42.9	(40%)	

Tampoco se presentaron diferencias en cuanto al contenido de cenizas insolubles (C.I). Estos datos se presentan en el Cuadro 13 y Anexo 10.

Cuadro 13. Contenido de cenizas insolubles (B.S.) del ploteo de maíz amoniado con urea, en función del tiempo y porcentaje de humedad.

Urea %	Tiempo (días)				X
	14		28		
	Humedad %		Humedad %		
	30	40	30	40	
0 Control					1.4
2	1.7	1.3	1.6	1.5	1.5
4	1.5	1.6	1.4	1.7	1.6
6	1.6	1.8	1.3	1.4	1.5
X	1.6	1.7	1.4	1.5	
Y Tiempo	1.6		1.4		
X Humedad	1.5 (30%)		1.6 (40%)		

3. Rastrojo de Maíz

En el Cuadro 14 se presentan los resultados del contenido de P.C (N x 6.25). El control se caracterizó por su bajo contenido (4.4%) en comparación al promedio (8.9%). El aumento de P.C fue lineal a medida que se incrementó el porcentaje de urea, los niveles más altos se obtienen en los tratamientos con 28 días de almacenamiento. El efecto fue mayor ($P < 0.05$) en los tratamientos con menor humedad (9.2% y 8.6%) respectivamente. El porcentaje más alto de P.C se registró en el tratamiento con 6% de urea, 30% de humedad y 28 días de almacenamiento.

Cuadro 14. Contenido de proteína cruda (R.S.) del rastrojo de maíz amoniado con urea, en función del tiempo y porcentaje inicial de humedad

Tiempo (días)					
14			28		
Humedad %			Humedad %		
30	40		30	40	X
Urea %					
0 Control					4.4d*
2	6.4	6.2	6.5	6.7	6.4c
4	9.5	8.0	11.8	9.6	9.5b
6	9.6	10.6	12.6	10.6	10.8a
X	8.1c	8.3c	10.3a	8.9b	
X Tiempo	8.2b		9.6a		
X Humedad	9.2a (30%)		8.6b (40%)		

* Literales diferentes en líneas y columnas son diferentes estadísticamente ($P < 0.05$).

El ANDEVA para comparar los distintos tratamientos (Cuadro 15), detectó diferencias ($P < 0.01$) entre los factores que afectaron la amoniatación (urea, humedad, tiempo) y también interacciones entre la urea-Humedad, pero no la urea-tiempo ni entre la humedad-tiempos (Anexo 11).

Cuadro 15. Síntesis del ANDEVA de la proteína cruda del rastrojo de maíz.

FV	Fcal
Urea	406.84**
Humedad	25.25**
Tiempo	10.04**
U x H	9.10**

** Diferencias significativas al 1%

En el Cuadro 16 se presentan los resultados de la DIVMO. El tratamiento control se caracterizó por una baja digestibilidad (50.7%) comparando con el promedio de los tratamientos (57.4%), esto equivale a un incremento porcentual de 13.1% fue significativo ($P < 0.01$). Los tratamientos con 4% (58.0%) y 6% (59.3%) de urea fueron iguales estadísticamente ($P < 0.05$). Para el efecto tiempo, a los 28 días la DIVMO fue mayor ($P < 0.05$) que a los 14 días.

Cuadro 16. Digestibilidad (B.S.) del rastrojo de maíz amoniado con urea, en función del tiempo y porcentaje de humedad.

Tiempo (días)					
14			28		
Humedad %			Humedad %		
	30	40	30	40	X
Urea %					
0 Control					50.7c†
2	55.0	54.2	55.5	54.9	54.9b
4	54.9	57.3	59.7	60.2	58.0a
6	60.2	56.8	59.8	60.5	59.3a
X	56.7b	56.1b	58.3a	58.5a	
X Tiempo	56.4b		58.4a		
X Humedad	57.5a (30%)		57.3a (40%)		

* Literales diferentes en líneas y columnas son diferentes estadísticamente ($P < 0.05$).

El análisis de varianza de la DVMQ (Cuadro 17) reveló diferencias ($P < 0.05$) entre los niveles de urea como también entre los dos tiempos de almacenaje (14 y 28 días) No se encontró diferencia entre los niveles de humedad (30% y 40%). El ANDEVA no detectó diferencia entre la interacciones de los factores que afectan la amoniatación.

Cuadro 17. Síntesis del ANDEVA de la digestibilidad del rastrojo de maíz.

FV	Fcal
Urea	11.31**
Tiempo	6.86*

* Diferencias significativas al 5%

** Diferencias significativas al 1%

El contenido de FND (Cuadro 18) del rastrojo de maíz disminuyó ($P < 0.05$) en forma lineal a medida que se elevó el porcentaje de urea. La reducción en porcentual promedio fue de 20.5%, con relación al rastrojo no tratado. El efecto del tiempo de tratamiento reveló diferencias ($P < 0.01$) en favor de los 28 días (72.4% en promedio) en comparación con los 14 días (75% en promedio).

Cuadro 18. Fibra neutro detergente (B.S.) del rastrojo de maíz amoniado con urea, en función del tiempo y porcentaje inicial de humedad.

Tiempo (días)					
14			28		
Humedad %			Humedad %		
30	40		30	40	X
Urea %					
0 Control					78.2c*
2	77.8	76.1	74.9	72.0	75.2b
4	76.2	72.2	72.2	71.8	73.1a
6	73.8	73.7	72.5	71.3	72.8a
X	75.9c	74.0b	73.2b	71.7a	
X Tiempo	75.0b		72.5a		
X Humedad	74.6b (30%)		72.8a (40%)		

* Literales diferentes en líneas y columnas son diferentes estadísticamente ($P < 0.05$).

El ANDEVA del contenido de FND (Cuadro 19), mostró diferencias significativas entre los distintos factores (urea, humedad, tiempo).

Cuadro 19. Síntesis del ANDEVA del contenido de FND del rastrojo de maíz.

FV	Fcal
Urea	83.70**
Humedad	8.29**
Tiempo	82.39**

** Diferencias significativas al 1%

En el Cuadro 20, se presenta el contenido de hemicelulosa. El control (21.7%) fue similar al promedio de los tratamientos (20.6%). El contenido mas bajo se obtuvo con el tratamiento con 4% de urea (18.7%).

Cuadro 20. Contenido de hemicelulosa (B.S.) del rastrojo de maíz amoniado con urea, en función del tiempo y porcentaje de humedad.

Tiempo (días)					
14			28		
Humedad %			Humedad %		
30	40		30	40	X
Urea %					
0 Control					21.7
2	19.2	22.6	20.7	18.9	20.4
4	20.0	17.5	18.4	18.7	18.7
6	18.3	19.5	20.8	17.9	19.1
X	19.2	19.8	19.8	19.8	
X Tiempo	19.4		19.8		
X Humedad	19.4 (30%)		19.7 (40%)		

El ANDEVA de la Hemicelulosa no mostró efecto significativo ($P < 0.01$) para ninguno de los factores estudiados (Anexo 15).

El contenido de lignina del rastrojo de maíz se presenta en el Cuadro 21. El control se caracterizó por su alto porcentaje de lignina (12.9%), el cual descendió con la amoniatación (10.4% en promedio) en forma lineal ($P<0.05$) a medida que se incrementó el porcentaje de urea.

Cuadro 21. Contenido de lignina (B.S.) del rastrojo de maíz amoniataado con urea, en función del tiempo y porcentaje de humedad.

	Tiempo (días)				X
	14		28		
	Humedad %		Humedad %		
	30	40	30	40	
Urea %					
0 Control					12.9a†
2	12.8	10.6	11.3	10.5	11.3b
4	10.2	10.1	9.9	10.1	10.2bc
6	10.8	9.4	8.7	9.8	9.7c
X	11.3b	10.2c	10.0c	10.1c	
X Tiempo	10.7b		10.1b		
X Humedad	10.6b (30%)		10.1b (40%)		

† Literales diferentes en líneas y columnas son diferentes estadísticamente ($P<0.05$).

El ANDEVA de la lignina (Anexo 16) detectó diferencia ($P<0.01$) entre los niveles de urea, no así entre la humedad y tiempo de almacenamiento.

En el Cuadro 22 se presenta el contenido de celulosa, no fueron significativos ($P < 0.05$) entre los niveles de urea y humedad.

Cuadro 22. Contenido de celulosa (B.S.) del rastrojo de maíz amoniado con urea, en función del tiempo y porcentaje de humedad.

Tiempo (días)					
14			28		
Humedad %			Humedad %		
Urea %	30	40	30	40	X
0 Control					35.9
2	37.9	36.1	35.6	36.6	36.5
4	38.4	37.4	36.6	35.3	36.9
6	36.5	38.1	36.7	36.6	37.0
X	37.6	37.2	36.3	36.2	
X Tiempo	37.4		36.2		
X Humedad	36.9 (30%)		36.7 (40%)		

El ANDEVA de la celulosa (Anexo 17) reveló diferencia ($P < 0.01$) entre los tiempos de almacenamiento, no así entre los demás factores.

El contenido de cenizas insolubles (Cuadro 23) no mostró efecto significativo para ninguno de los factores estudiados.

Cuadro 23. Contenido de cenizas insolubles (B.S.) del rastrojo de maíz amoniado con urea, en función del tiempo y porcentaje de humedad.

Tiempo (días)					
14			28		
Humedad %			Humedad %		
30	40		30	40	X
Urea %					
0 Control					7.6
2	7.8	7.4	8.0	6.6	7.4
4	7.7	7.6	7.3	7.6	7.3
6	8.1	6.4	6.1	6.8	6.8
X	7.8	7.1	7.1	7.0	
X Tiempo	7.4		7.0		
X Humedad	7.1 (30%)		7.0 (40%)		

4. Rastrojo de Sorgo.

En el Cuadro 24 se presentan el contenido de P.C (Nx6.25) del rastrojo de sorgo. El control se caracterizó por su bajo contenido de P.C (5.1%) el cual aumentó ($P<0.01$) debido a la amoniatación (8.6% en promedio). Este incremento en el contenido de P.C fue lineal y más marcado entre el nivel de 2 y 4% de urea (6.4 contra 9.2% P.C).

Cuadro 24. Contenido de proteína cruda (B.S.) del rastrojo de sorgo amoniatado con urea, en función del tiempo y porcentaje de humedad.

Urea %	Tiempo (días)				
	14		28		
	Humedad %		Humedad%		
	30	40	30	40	X
0 Control					5.1d†
2	6.3	5.9	6.9	6.6	6.4c
4	9.5	7.2	10.4	9.8	9.2b
6	11.0	8.3	11.2	9.3	9.9a
X	9.0b	7.2c	9.5a	8.6b	
X Tiempo	8.1a		9.0a		
X Humedad	9.2a (30%)		7.7b (40%)		

* Literales diferentes en líneas y columnas son estadísticamente diferentes ($P<0.05$).

El ANDEVA (Cuadro 25) del contenido de P.C (Nx6.25) para comparar los diferentes tratamientos detectó diferencias $P<0.01$ entre los niveles de urea y el porcentaje de humedad. El tiempo no tuvo ningún efecto significativo y tampoco se encontraron interacciones entre la urea-tiempo y humedad-tiempo (Anexo 19).

Cuadro 25. Síntesis del ANDEVA de la proteína cruda del rastrojo de sorgo.

FV	Fcal
Urea	139.09**
Humedad	99.07**
U x H	20.85**

** Diferencias significativas al 1%

En el Cuadro 26 se presenta los resultados de la DIVMD. El control (35.9%) fue inferior ($P<0.05$) a todos los tratamientos (64.9% en promedio). Este aumento de la DIVMD, fue lineal a medida que se incrementó el porcentaje de urea. No hubo diferencia ($P<0.05$) entre los niveles de 4% y 6% de urea con porcentajes de DIVMD de 66.4% y 66.6% respectivamente. Los mejores resultados se encontraron en los tratamientos con 40% de humedad y 28 días.

Cuadro 26. Digestibilidad (D.S.) del rastrojo de sorgo amoniado con urea, en función del tiempo y porcentaje de humedad.

Tiempo (días)					
14			28		
Humedad %			Humedad %		
Urea %	30	40	30	40	X
0 Control					55.9c†
2	57.3	64.7	59.7	64.5	61.5b
4	65.2	65.5	67.8	67.1	66.4a
6	65.5	66.5	67.0	67.4	66.6a
X	62.7c	65.2ab	64.8b	66.3a	
X Tiempo	64.1b		65.6a		
X Humedad	63.7b (30%)		65.9a (40%)		

† Literales diferentes en líneas y columnas son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$).

El Cuadro 27 muestra el ANDEVA de la DIVMO. Los tratamientos fueron diferentes ($P < 0.01$). El análisis reveló diferencia entre la interacción urea-Humedad (Anexo 20)

Cuadro 27. Síntesis del ANDEVA de la digestibilidad del rastrojo de sorgo.

FV	Fcal
Urea	160.40**
Humedad	67.17**
Tiempo	33.83**

** Diferencias significativas al 1%

Los resultados del contenido de FND se presentan en el Cuadro 28. El control se caracterizó por su alto contenido de FND (72.3%) en comparación con el promedio de los tratamientos (69.9%), que fue significativamente menor, ($P < 0.05$), en particular para los niveles de 4% (69.5%) y 6% (69.7%) de urea. Independiente del porcentaje de urea, los tratamientos de 28 días (69.2%) dieron un menor contenido de FND ($P < 0.05$) que los 14 días (70.7%) como puede ver en el Cuadro 29 y Anexo 23.

Quadro 28. Contenido fibra neutro detergente (B.S.) del rastrojo de sorgo amoniado con urea, en función del tiempo y porcentaje de humedad.

Urea %	Tiempo (días)				
	14		28		
	Humedad %		Humedad %		
	30	40	30	40	X
0 Control					72.3c*
2	72.5	69.7	70.4	69.9	70.8b
4	70.6	69.7	68.0	69.6	69.5a
6	71.0	70.5	69.0	68.4	69.7a
X	71.4b	70.0a	69.1a	69.3a	
X Tiempo	70.7b		69.2a		
X Humedad	70.2a (30%)		69.7a (40%)		

* Literales diferentes en líneas y columnas son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$).

Quadro 29. Síntesis del ANDEVA de la fibra neutro detergente del rastrojo de sorgo.

FV	Fcal
Urea	4.36*
Tiempo	18.89**

* Diferencias significativas al 5%

** Diferencias significativas al 1%

El contenido de hemicelulosa, en promedio (Quadro 30) hubo diferencia entre los niveles de urea, no así para los otros factores que afectan la amonización (Anexo 23).

Cuadro 30. Contenido de hemicelulosa (B.S.) del rastrojo de sorgo amoniado con urea, en función de el tiempo y porcentaje de humedad.

Urea %	Tiempo (días)				
	14		28		X
	Humedad %		Humedad %		
	30	40	30	40	
0 Control					17.8a*
2	16.7	16.5	16.5	16.1	16.4a
4	17.2	15.5	14.6	16.4	15.9b
6	17.4	18.3	16.9	16.2	17.2a
X	17.1a	16.8a	16.0a	17.2a	
X Tiempo	16.9a		16.6a		
X Humedad	16.6a (30%)		17.0a (40%)		

* Literales diferentes en líneas y columnas son diferentes estadísticamente ($P < 0.05$).

En el Cuadro 31 se da el contenido de lignina. El control se caracterizó por su alto contenido (12%) que disminuyó a medida que se aumento el porcentaje de urea, aun más, cuando este se almacenó por 28 días. Entre los niveles de humedad no se observó diferencia.

Cuadro 31. Contenido de lignina (B.S.) del rastrojo de sorgo amoniatado con urea, en función del tiempo y porcentaje de humedad.

Tiempo (días)					
14			28		
Humedad %			Humedad %		
30	40		30	40	%
Urea %					
0 Control					12.0a†
2	9.7	10.0	9.3	10.1	9.8b
4	9.8	9.8	9.2	9.0	9.4b
6	9.8	8.3	8.1	8.2	8.6c
X	9.8b	9.5bc	8.9c	9.1bc	
X Tiempo	9.6b		9.0c		
X Humedad	9.3b (30%)		9.3b (40%)		

† Literales diferentes en líneas y columnas son diferentes estadísticamente ($P < 0.05$).

El ANDEVA (Cuadro 32) del Contenido de lignina, revela diferencias ($P < 0.01$) entre las concentraciones de urea, tiempos de almacenamiento e interacción urea-humedad (Anexo 24), no así entre los dos niveles de humedad estudiados.

Cuadro 32. Síntesis del ANDEVA de la lignina del rastrojo de sorgo.

FV	Fcal
Urea	16.89**
Tiempo	14.96**

** Diferencias significativas al 1%

El contenido de celulosa se presenta en el Cuadro 33. El tratamiento control se caracterizó por su bajo contenido (36.6%) con respecto a los tratamientos (38.6% en promedio). El porcentaje de celulosa fue similar para todos los tratamientos ($P < 0.05$).

El ANDEVA de la celulosa (Anexo 25) detectó diferencias ($P < 0.01$) entre el control y los tratamientos, pero no reveló entre los factores (urea, humedad y tiempo). Tampoco se hallaron interacciones.

Cuadro 33. Contenido de celulosa (B.S.) del rastrojo de sorgo amoniado con urea, en función del tiempo y porcentaje de humedad.

	Tiempo (días)				
	14		28		
	Humedad %		Humedad %		
	30	40	30	40	X
Urea %					
0 Control					36.6b*
2	38.0	37.7	39.5	38.0	38.3a
4	38.8	39.2	39.0	38.3	38.8a
6	38.4	38.9	38.4	38.6	38.6a
X	38.4a	38.6a	39.0a	38.3a	
X Tiempo	38.5a		38.6a		
X Humedad	38.7a (30%)		38.5a (40%)		

* Literales diferentes en líneas y columnas son diferentes estadísticamente ($P < 0.05$).

El Contenido de Cenizas Insolubles fue igual en todos los casos ($P < 0.05$) (Cuadro 34).

Cuadro 34. Contenido de cenizas insolubles (% en B.S) del rastrojo de sorgo amoniado con urea, en función del tiempo y porcentaje de humedad

	Tiempo (días)				
	14		28		
	Humedad %		Humedad %		
	30	40	30	40	X
Urea %					
0 Control					5.3
2	6.0	5.4	5.0	5.1	5.4
4	4.8	5.1	5.2	5.2	5.0
6	5.3	4.8	5.2	5.4	5.2
X	5.4	5.1	5.1	5.2	
X Tiempo	5.2		5.4		
X Humedad	5.3 (30%)		5.2 (40%)		

5. Rastrojo de frijol.

En el Cuadro 35 se presenta los resultados de la P.C (Nx6.25). El control se caracterizó por su bajo contenido (6.1%), el cual aumentó en forma lineal y significativa ($P<0.01$) con los diferentes niveles de urea (11.5% en promedio). Los mayores incrementos se encuentran en el nivel superior (6%).

Cuadro 35. Contenido de proteína cruda (B.S.) del rastrojo de frijol amoniatado con urea, en función del tiempo y porcentaje de humedad

	Tiempo (días)				
	14		28		
	Humedad %		Humedad%		
	30	40	30	40	X
Urea %					
0 Control					6.1d*
2	8.8	8.5	8.8	11.1	9.3c
4	13.2	11.4	11.6	12.1	12.1b
6	12.8	12.9	14.7	12.7	13.3a
X	11.6a	10.9b	11.7a	12.0a	
X Tiempo	11.3b		11.8a		
X Humedad	11.7a (30%)		11.4a (40%)		

* Literales diferentes en líneas y columnas son estadísticamente diferentes ($P<0.05$).

El ANDEVA de la proteína cruda ($N \times 6.25$), se detalla en el Cuadro 36. Se encontraron diferencias ($P < 0.01$) entre los niveles de urea, tiempos de almacenamiento, e interacción urea-humedad, pero no entre los porcentajes de humedad.

Cuadro 36. Síntesis del ANDEVA de la proteína cruda del rastrojo de frijol.

FV	Fcal
Urea	272.32**
Tiempo	16.83**
U x H	19.41**

** Diferencias significativas al 1%

En el Cuadro 37 se da la DIVMO. El control se caracterizó por su baja DIVMO (54.5%), que aumentó en promedio a 63.6%, este incremento fue significativo ($P < 0.01$). El tratamiento con 6% de urea, 40% de humedad y 28 días fue el mejor (66.8%).

Cuadro 37. Porcentaje de digestibilidad (% en B.S.) del el rastrojo de frijol amoniado con urea, en función del tiempo y porcentaje de humedad.

Urea %	Tiempo (días)				
	14		28		X
	Humedad %		Humedad %		
	30	40	30	40	
0 Control					54.5d†
2	61.4	59.8	57.6	63.9	60.7c
4	64.3	64.2	63.3	65.1	64.1b
6	64.2	66.5	66.2	66.8	65.9a
X	63.4ab	63.5ab	63.0b	64.3a	
X Tiempo	63.5a		63.7a		
X Humedad	63.2a (30%)		63.9a (40%)		

† Literales diferentes en líneas y columnas son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$).

El ANDEVA de la DIVMO (Cuadro 38) reveló diferencia ($P < 0.01$) entre los niveles de urea y la interacción urea - humedad. Los efectos del tiempo y la humedad no fueron significativos.

Cuadro 38. Síntesis del ANDEVA de la digestibilidad del rastrojo de frijol.

EV	Fcal
Urea	60.08**
U x H	10.02**

** Diferencias significativas al 1%

En el Cuadro 39 se observa el contenido de FND. El control (74.3%) se caracterizó por tener un contenido elevado de FND en comparación con el promedio de los tratamientos (71.8%), el descenso fue mayor a los 28 días de tratamiento.

Cuadro 39. Contenido de fibra neutro detergente (% en B.S) del rastrojo de frijol amoniado con urea, en función del tiempo y porcentaje de humedad.

Tiempo (días)					
14			28		
Humedad %			Humedad %		
	30	40	30	40	X
Urea %					
0 Control					74.3c*
2	75.4	75.0	74.2	73.2	74.5b
4	72.5	72.1	68.6	70.1	70.9a
6	72.2	70.1	68.7	69.6	70.2a
X	73.5c	72.4b	70.5a	71.0a	
X Tiempo	72.9b		70.7a		
X Humedad	72.0a (30%)		71.7a (40%)		

* Literales diferentes en líneas y columnas son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$).

El ANDEVA (Cuadro 40) de la FND detectó diferencia significativas ($P < 0.01$) entre los niveles de urea y tiempos de almacenamiento, no así entre los niveles de humedad. Tampoco se encontraron interacciones entre la urea-humedad y urea-tiempo (Anexo 29).

Cuadro 40. Síntesis del ANDEVA del contenido de FND del rastrojo de frijol.

FV	Fcal
Urea	64.74**
Tiempo	44.98**

** Diferencias significativas al 1%

Los cambios en el contenido de hemicelulosa (Cuadro 41) fueron significativos ($P < 0.05$). El control tuvo un mayor contenido (21.9%), el cual descendió en promedio a 19.1%. Los mayores cambios se ven en los tratamientos de 28 días (17.1% en promedio).

Cuadro 41. Contenido de hemicelulosa (B.S.) del rastrojo de frijol amoniatado con urea, en función del tiempo y porcentaje de humedad.

Tiempo (días)					
14			28		
Humedad %			Humedad %		
30	40		30	40	X
Urea %					
0 Control					21.9a†
2	21.0	23.1	20.1	20.5	21.2a
4	19.5	20.4	14.9	16.6	17.8b
6	19.4	16.4	15.3	15.2	16.6c
X	20.0a	20.4a	16.8b	17.4b	
X Tiempo	20.2a		17.1a		
X Humedad	18.4a (30%)		18.9a (40%)		

† Literales diferentes en líneas y columnas son diferentes estadísticamente ($P < 0.05$).

El ANDEVA del contenido de hemicelulosa (Cuadro 42) detectó diferencias ($P < 0.01$) entre los niveles de urea y tiempo de almacenamiento. No se encontraron interacciones entre los factores (Anexo 31).

Cuadro 42. Síntesis del ANDEVA de la hemicelulosa del rastrojo del frijol.

FV	Fcal
Urea	28.34**
Tiempo	31.48**

** Diferencias significativas al 1%

El Contenido de lignina se anota en el Cuadro 43. El Control (14.1%) se caracterizó por su alto contenido (14.1%) el cual descendió a 11.2% en promedio. Las mayores diferencias se encuentran en los tratamientos con 28 días de almacenamiento (10.6%) independientemente del contenido de humedad.

Cuadro 43. Contenido de lignina (B.S.) del rastrojo de frijol amoniado con urea, en función del tiempo y porcentaje de humedad.

Urea %	Tiempo (días)				X
	14		28		
	Humedad %		Humedad %		
	30	40	30	40	
0 Control					14.1a†
2	13.8	13.9	12.1	12.1	12.9b
4	11.4	10.8	9.8	10.4	10.6c
6	10.2	10.7	9.5	9.9	10.1c
X	11.8b	11.8b	10.4c	10.8c	
X tiempo	11.8b		10.6c		
X Humedad	11.1b (30%)		11.3b (40%)		

† Literales diferentes en líneas y columnas son diferentes estadísticamente ($P < 0.05$).

El ANDEVA de la lignina (Cuadro 44) reveló diferencias ($P < 0.01$) entre los niveles de urea y tiempos de almacenamiento, pero no detectó diferencias entre los niveles de humedad ni interacción entre los factores (Anexo 32).

Cuadro 44. Síntesis del ANDEVA para lignina del rastrojo del frijol.

FV	Fcal
Urea	30.46**
Tiempo	16.93**

** Diferencias significativas al 1%

El contenido celulosa se detalla en el Cuadro 45. El Control se caracterizó por ser bajo (37.1%) con respecto a los tratamientos (40.5% en promedio). Los mayores contenidos se encuentran en los tratamientos con 6% de urea y 28 días de almacenamiento, independientemente de los niveles de humedad.

Cuadro 45. Contenido de celulosa (B.S.) del rastrojo de frijol amoniado con urea, en función del tiempo y porcentaje de humedad.

Tiempo (días)					
14			28		
Humedad %			Humedad %		
30	40		30	40	X
Urea %					
0 Control					37.1d*
2	39.1	36.5	40.4	39.9	39.0b
4	40.1	39.6	42.1	41.3	40.8a
6	40.9	41.2	42.3	42.1	41.6a
X	40.0b	39.2c	41.6a	41.1ab	
X Tiempo	39.6b		41.4a		
X Humedad	40.8a (30%)		40.1a (40%)		

* Literales diferentes en líneas y columnas son diferentes estadísticamente ($P < 0.05$).

El ANDEVA de la celulosa (Cuadro 46) detectó diferencias ($P < 0.01$) para el nivel de urea y tiempo de almacenamiento. El análisis no detectó efecto, para la humedad ni interacción entre los diversos factores (Anexo 33)

Cuadro 46. Síntesis del ANDEVA de la celulosa del rastrojo del frijol.

FV	Fcal
Urea	14.83**
Tiempo	19.40**

** Diferencias significativas al 1%

El contenido de cenizas (Cuadro 47) no varió en ninguno de los tratamientos y fue igual al control (Anexo 34).

Cuadro 47. Contenido de cenizas insolubles (% en B.S) del rastrojo de frijol amoniado con urea, en función del tiempo y porcentaje de humedad.

	Tiempo (días)				
	14		28		
	Humedad %		Humedad %		
	30	40	30	40	X
Urea %					
0 Control					1.6
2	1.6	1.6	1.6	1.3	1.5
4	2.0	1.3	1.8	1.7	1.7
6	1.7	1.6	1.7	1.8	1.7
X	1.8	1.5	1.7	1.6	
X Tiempo	1.6		1.6		
X Humedad	1.7 (30%)		1.5 (40%)		

V. DISCUSION

1 Cambios físicos

Después de la amoniatación con urea se encontraron cambios en el color y en la textura. Estos cambios están influenciados por la temperatura que se genera en las reacciones físico-químicas, como resultado de la oxidación de fenoles y/o a la condensación de fracciones aldehídicas de los azúcares con bases nitrogenadas vía reacción Maillard (Oji y col., 1977; Sundstol, 1982; Nelson y col., 1985; Forero, 1988).

La alta humedad de los rastrojos tratados (30 y 40%) no propició el desarrollo de hongos, lo cual se puede atribuir a la acción preservativa del amonio (Troxel, 1984; Sundstol y Coxworth, 1984; Llamas y col., 1985). Esta acción preservativa del amoniaco es beneficiosa y de considerable importancia para la preservación de forrajes bajo condiciones prácticas de campo.

La eliminación del exceso de amoniaco tuvo por objeto evaluar el nitrógeno fijado en el rastrojo; un exceso de amoniaco libre, además de elevar el pH, disminuye el consumo y ocasiona trastornos temporales a los animales que lo consumen (Oji y col., 1977; Orskow, 1982).

2 Cambios Químicos

2.1 Efecto de la urea.

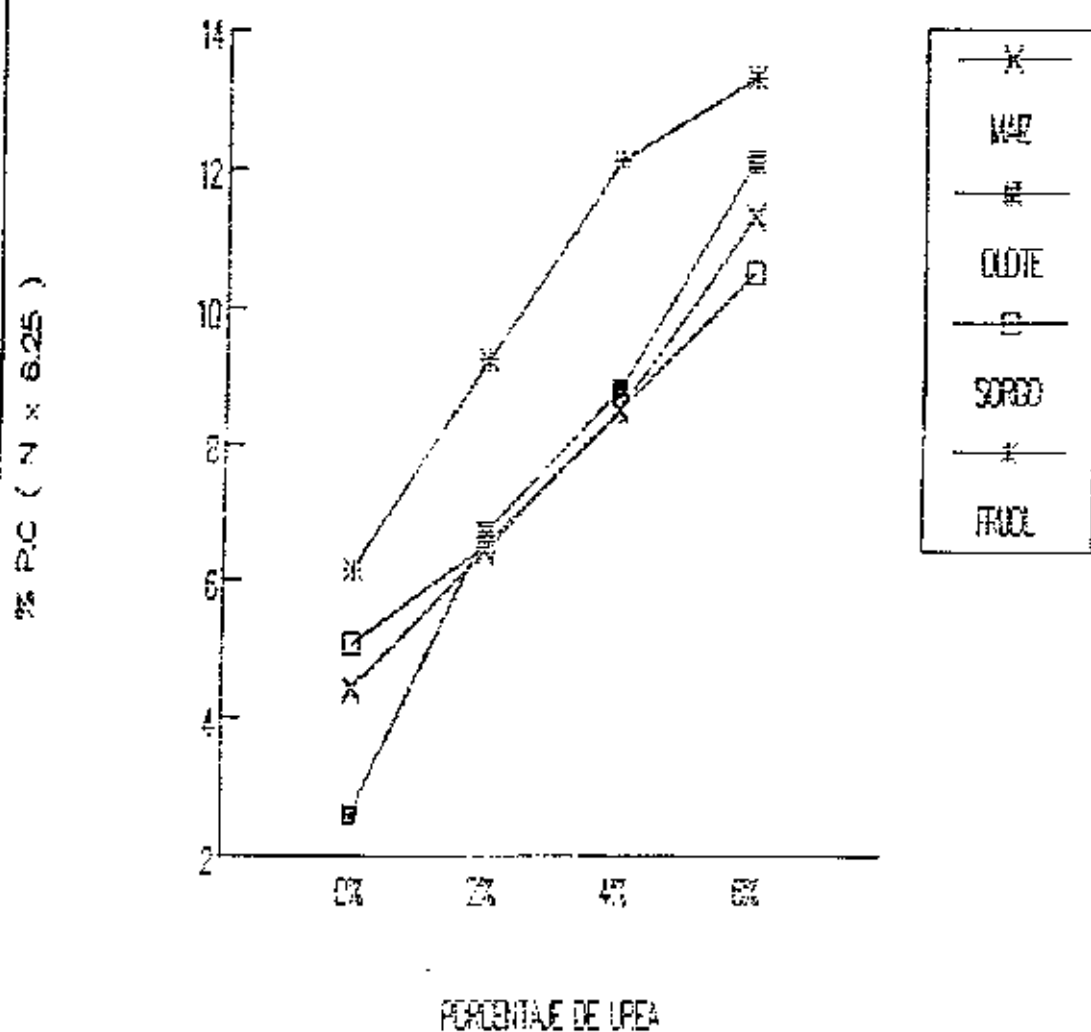
2.1.1 Proteína cruda (N x 6.25)

Los contenidos de proteína cruda encontrados en los diferentes rastrojos (olote, maíz, sorgo y frijol) después de ser tratados con urea y aireados, presentaron una tendencia lineal a aumentar (Gráfica 1). Este efecto se debe a la liberación de amoníaco por acción de la enzima ureasa contenida en los rastrojos (Galaviz, 1984) y a que la urea que no reaccionó con la ureasa de los rastrojos se quedó adherida al material. Es importante mencionar que no todos los rastrojos tienen la misma cantidad de ureasa y por consecuencia la liberación de amoníaco en el proceso es variable. Estos resultados concuerdan con los informados por Becerra y col. (1984); Jiménez y Shimada (1984); Galaviz (1984); Rodríguez y col. (1985).

2.1.2 Digestibilidad in vitro

Los valores de DIVMO (Gráfica 2) para los cuatro rastrojos presentan comportamientos diferentes con respecto a los de proteína cruda. Para el olote y rastrojo de sorgo se encontró un incremento de la DIVMO de 20% con

EFFECTO DE LA AMONIATACION SOBRE PROTEINA CRUDA



GRAFICA 1

respecto a sus controles (54.5 y 55.9%) en los tratamientos con 4 y 6% de urea.

En el rastrojo de maíz se obtuvo 14% de incremento con los mismos niveles de urea. En el rastrojo de frijol el mayor incremento (21%) se presentó en el tratamiento con 6% de urea. Esto evidencia que la respuesta en DIVMO es variable dependiendo del tipo de rastrojo, concuerda con lo encontrado por Arriola y col. (1981). El incremento en la DIVMO se atribuye al mayor contenido de nitrógeno y a la rotura de los enlaces entre los componentes lignocelulosicos, mejorando así, la accesibilidad de los carbohidratos estructurales para su aprovechamiento por de las bacterias ruminales (Tarkow y Ferst, 1969; Chandra y Jackson, 1971; Johnson, 1976; Sundstol y Coxworth, 1984).

2.1.3. Fraccionamiento de Paredes Celulares

El contenido de hemicelulosa del olote de maíz no varió con la amoniatación (Becerra y col., 1984). Los rastrojos de gramíneas (maíz, sorgo) presentaron su máxima solubilidad en el tratamiento con 4% de urea; mientras que en el rastrojo de frijol la máxima solubilidad de la

hemicelulosa ocurrió con 6% de urea.

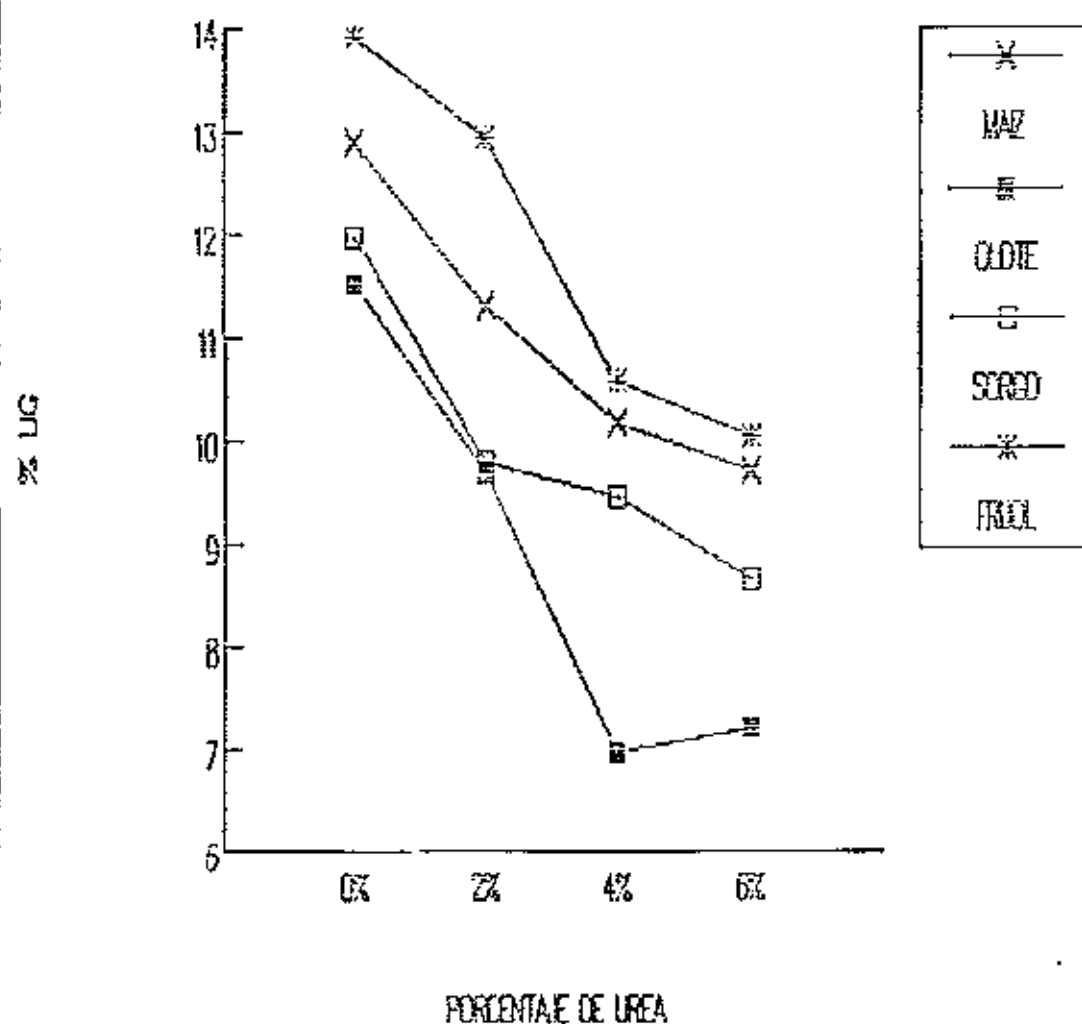
En el caso del olote de maíz la máxima solubilidad de la lignina (Grafica 3) se encontró en el tratamiento con 4% de urea. En los rastrojos de maíz, sorgo y frijol la solubilidad de la lignina esta altamente relacionada con la concentración de urea (Klopferstein, 1978; Llamas y col., 1985).

Como era de esperarse los tratamientos con urea no incrementaron el contenido de cenizas ya que no forman sales (Velasco y col., 1985; Rodríguez, 1985; Lin y col., 1986).

2.2 Efecto de la humedad.

Tanto en el caso del olote, como en el del rastrojo de maíz encontraron las condiciones adecuadas cuando la humedad fue de 30%, en el caso de los rastrojos de sorgo y frijol la respuesta óptima se halló con 40% de humedad. Según Tarkow y Ferst (1969) se produce una hinchazón de la celulosa que facilita la acción de las celulasas bacterianas. La interacción urea-humedad se debe a que en un medio de humedad adecuada, hay una mayor fijación de amonio en la matriz y consecuentemente mayor rotura de enlaces entre los componentes de la pared celular (Waies y col., 1972; Oji y col., 1977).

EFFECTO DE LA AMONIATACION SOBRE EL CONTENIDO DE LIGNINA (LIG)



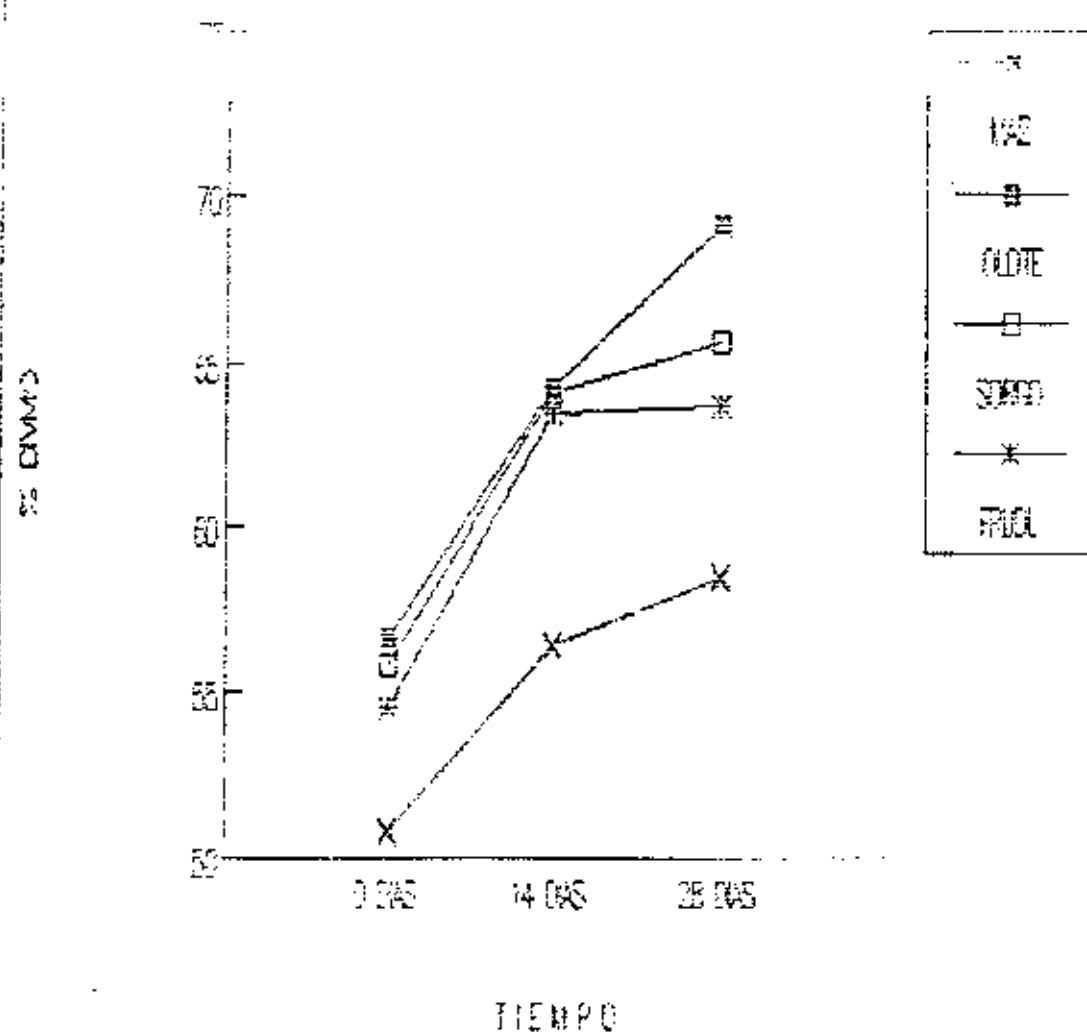
GRAFICA 3

Estos resultados tienen aplicaciones importantes a nivel de campo por el ahorro en la aplicación de agua y mayor facilidad de manejo del material.

2.3 Efecto del tiempo.

El tiempo (Gráfica 4) resultó ser un factor de importancia en los rastrojos en estudio, encontrándose los mejores resultados a los 28 días. En todos los casos los aumentos en la DVMO fueron mayores al 15% con respecto al control. El amonio por ser un alcali de reacción lenta (Oji y col., 1977) en las condiciones del experimento, produjo una mayor fijación de nitrógeno a las cuatro semanas. Estos resultados concuerdan con las conclusiones de Sundstol y Coxworth (1984) en sentido que en un almacenamiento por un periodo de cuatro semanas bajo temperaturas de 15°C a 40°C, es suficiente para obtener mejoras satisfactorias en rastrojos tratados con fuentes amoniacales.

EFECTO DEL TIEMPO SOBRE DIGESTIBILIDAD IN VITRO



GRAFICA 4

Los mejores tratamientos, tomando como base el aumento en la digestibilidad (Orskow, 1982) se resumen en el cuadro 48.

Cuadro 48. Tratamientos con los cuales se obtuvo el mayor incremento en la DIVMO.

Material	Urea %	Tiempo días	Humedad %
Olote de Maíz	4	28	30
Rastrojo de maíz	4	28	30
Rastrojo de frijol	6	28	40
Rastrojo de sorgo	4	28	40

VI CONCLUSIONES

La amoniatación con urea, independientemente de las concentraciones, niveles de humedad y tiempo de almacenamiento, produce cambios favorables en las características físicas y químicas de los cuatro rastrojos tratados.

La respuesta óptima para cada material estudiado es diferente debido a su estructura.

Para el olote de maíz, el tratamiento con 4% de urea, 30% de humedad y 28 días demostró ser el más eficiente en fijar nitrógeno y mejorar la digestibilidad.

Para el rastrojo de maíz, el tratamiento con 4% de urea, 30% de humedad y 28 días demostró ser el más eficiente en fijar nitrógeno y mejorar la digestibilidad.

Para el rastrojo de sorgo, el tratamiento con 4% de urea, 40% de humedad y 28 días demostró ser el más eficiente en fijar el nitrógeno y mejorar la digestibilidad.

Para el rastrojo de frijol, el tratamiento con 6% de urea, 40% de humedad y 28 días demostró ser el más eficiente en fijar nitrógeno y mejorar la digestibilidad.

VII RECOMENDACIONES

- 1.- Evaluar los mejores tratamientos obtenidos en el laboratorio en pruebas biológicas con rumiantes, midiendo el consumo voluntario en pruebas de alimentación.
- 2.- Determinar la digestibilidad de los residuos amoniatados con ovejas y correlacionarla con la digestibilidad in vitro.
- 3.- Realizar una evaluación económica-nutricional de las prácticas de amonificación de distintos rastrojos.

VIII. RESUMEN

Con el objeto de mejorar su valor nutritivo, se amoniataron con urea los siguientes rastrojos: olote de maíz, frijol, sorgo y maíz. Se trabajó con tres niveles de urea (2, 4, y 6%), dos niveles de humedad (30 y 40%) y dos tiempos de almacenamiento (14 y 28 días).

La evaluación de los tratamientos se hizo en base a: análisis de proteína cruda (Nx 6.25), Digestibilidad in vitro de la materia orgánica (DIVMO) y fraccionamiento de paredes celulares (FPC). Los resultados fueron analizados estadísticamente mediante un diseño completamente al azar con arreglo factorial.

Los resultados indican que la amoniatación aumentó significativamente ($P < 0.05$) el contenido de nitrógeno (Nx 6.25) y la DIVMO₁ y disminuyó el contenido de fibra neutro detergente (FND) de los diferentes rastrojos en comparación con sus respectivos controles.

Los mejores tratamientos en este estudio fueron: para el olote de maíz 4% de urea, 30% de humedad y 28 días de almacenamiento; para el rastrojo de maíz 4% de urea, 30% de humedad y 28 días de almacenamiento; para el rastrojo de sorgo 4% de urea, 40% de humedad y 28 días de almacenamiento y para el rastrojo de frijol 6% de urea, 40% de humedad y 28 días de almacenamiento. No se encontró correlación entre urea y pH.

IX. BIBLIOGRAFIA

- A.O.A.C., 1980 Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists 13th Washington, D.C, E.E.U.U.
- ARRIOLA, L., A. SHIMADA. y L. MARTINEZ. 1981. Características composicionales de ensilajes de planta de maíz, completo y sin mazorca sin y con NaOH, de cinco edades de corte. Técnica Pecuaria en México. 41: 53-62.
- BABER, R., R. MATTHEWMAN y A. SMITH. 1988. Methods of increasing the nutritional value of straw when used as a food for Goats, Shepp, Cattle y Buffaloes. Dissertation review III. Tropical Animal yealth and Production 20: 99-102.
- BAUMGARDT, D. 1969. Utilization of cellulose by ruminants. Advances in Chemistry Series, 95: 242-244.
- BECERRA, E.; A. JIMÉNEZ, L. MARTINEZ y A. SHIMADA. 1984. Mejoramiento del valor nutritivo de ensilajes de cañuela de maíz para el borrego, mediante la adición de hidróxido de amonio o de urea. Técnica Pecuaria en México. 47: 33-38.
- BURTON, E. 1985. Química orgánica y bioquímica. Traducido al Español por R. Espinosa. Interamericana, Mexico, pag 231.
- CHANDRA, S. y M.G. JACKSON. 1971. A study of chemical treatments to remove lignin from coarse roughages and increase their digestibility. J. Agric. Sci. 77: 11-17.
- CHOWDHURY, F. 1982. The advantages and disadvantages of the use of urine in treating paddy straw. Maximum livestock production from minimum land. Proceedings of a seminar held in Bangladesh Agricultural University. Pag. 132-133.
- CHURCH, D y W. POND. 1987. Fundamentos de nutrición y alimentación de animales, Limusa, Mexico, pag 19-36.
- ESCOBAR, A y R. PARRA. 1980. Procesamiento y tratamiento físico químico de los residuos de cosecha con miras al mejoramiento de su valor nutritivo. En: Estrategias para el uso de residuos de cosecha en la alimentación animal. Informes Catie, Turrialba, Costa Rica. pag 93-129.
- F.A.O., 1987. Food y Agriculture Organization of the United Nations Production Yearbook. Roma. Volumen 33, pag 108.

- FORERO, D. 1988. Utilización de la paja de arroz en la alimentación de ganado bovino. Sistemas intensivos para la producción animal y energía renovable con recursos tropicales. Bogotá, Colombia. Pag. 97-116.
- GOERING, H. K. y P. Van Soest. 1970. Forage fiber analyses. U.S. Department of Agriculture, Handbook 379. Washington, D.C; E.E.U.U. 20 pag.
- GALAVIZ, F 1984 Efectos de la amonificación con urea de la paja de maíz sobre su valor nutritivo. Tesis para optar el título de Maestro en Ciencias de la Producción Animal. Universidad Autónoma de Chihuahua. México. 150 pag.
- HANKE, M., S. ZAMAN y F. DOLBERG. 1982. Results of a preliminary investigation of the chemical composition and the digestibility of straw from high-yielding varieties of paddy treated with lime. Maximum livestock production from minimum land. Proceedings of a seminar held in Bangladesh Agricultural University. Pag 125-131.
- HANKE, R. 1985. Utilización de los subproductos fibrosos de la caña de azúcar por los rumiantes. Revista Cubana de Ciencia Agrícola. 19: 153-160
- HOGAN, J.P. y R.H. WESTON. 1971. The utilization of alkali-treated straw by sheep. Australian J. Agric. Res. 22: 931-963.
- HUBER, T.J.; J. FOLDAGER y N.E. SMITH. 1979. Nitrogen distribution in corn silage treated with varying levels of ammonia. J. Anim. Sci. 48: 1509-1516.
- JACKSON, M. 1978 Evaluación de la factibilidad técnica y económica del tratamiento de paja para la alimentación animal. Revista Mundial de Zootécnia, FAO 28: 23-43.
- JIMENEZ, A.; A. SHIMADA. 1984. Comportamiento del borrego Pelibuey en crecimiento alimentado con dietas con base en rastrojo de maíz tratado con álcalis (NH_3 , NaOH , Urea). Técnica Pecuaria en México. 47: 142-146.
- JOHNSON, R. 1976. Influence of carbohydrate solubility on non-protein nitrogen utilization in the ruminant. J. Anim. Sci. 43: 184-190.
- JOHNSON, W 1980. Estrategia para la alimentación de rumiantes menores. En: Estrategias para el uso de residuos de cosecha en la alimentación animal. Informes Catie, Turrialba. Costa Rica. pag 81-89.

- KLOPFENSTEIN, T.J.; V.KRAUSE, M. JONES Y W. WOODS. 1972. Chemical treatment of low quality roughages. J. Anim. Sci. 35: 418-429.
- KLOPFENSTEIN, T. J. 1978. Chemical treatment of crop residues. J. Anim. Sci. 46: 841-848.
- LIN, K.W.; D.SHAEFER, M. LADISLH, S. PATTERSON Y C. HOLLER. 1986. In vitro anaerobic fermentation of alkali-treated corn stover by rumen microbes. J. Anim. Sci. 2: 822-827.
- LYNCH, G.P.; D.F.SMITH, E. JACKSON, R. COPE Y M. SIMPSON. 1977. Fungal degradation and nutritional value of cellulosic wastes. J. Anim. Sci. 44: 883-897.
- LLAMAS, G.; E.CANEZ, R. GOMEZ, T. DIAZ Y H. ROMERO. 1985. Uso de paja de trigo tratado con amoniaco en la alimentación de novillos en crecimiento en corral de engorda. Técnica Pecuaria en México. 48: 46-53.
- MARTINEZ, A.; J. SORIANO Y A. SHIMADA. 1985. Crecimiento de borregos Pelibuey alimentados con rastrojo de maíz tratado con amonio anhidro. Técnica Pecuaria en México. 48: 54-61.
- MENKE, K; L. RAAB, A. SALEWSKI, H STEINGASS, D. FRITS Y W.SHNEIDER. 1979. The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feedstuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor in vitro. J. Agric. Sci. Cambridge. 93: 217-222.
- MILLETT, M.A., J. BAKER, W. FEIST, R. MELLEMBERGER Y L. SATTER. 1970. Modifying wood to increase its in vitro digestibility. J. Anim. Sci. 31: 781-797.
- MOORE, K.J., R. LEMENAGER, V. LECHTENBERG, K. HENDRIX Y J. RISK. 1986. Digestion and utilization of ammoniated grass-legume silage. J. Anim. Sci. 62: 235-248.
- MOZAMMAL, S. 1982. Treated and untreated paddy straw for growing cattle. Maximum livestock production from minimum land. Proceedings of a seminar held in Bangladesh Agricultural University. Pag 136-155.
- MURILLO, B. 1989. Manual de Laboratorio de Nutrición Animal, E.A.P. El Zamorano, Honduras. 62 pag.

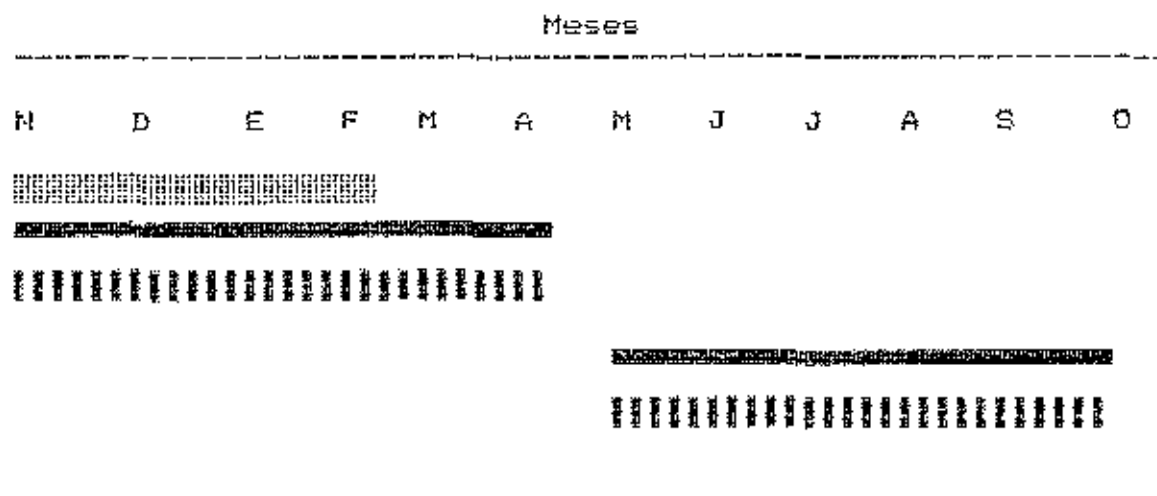
- NELSON, M.L.; I.G.RUSH y T.J. KLOFFENSTEIN. 1985. Protein supplementation of ammoniated roughages. II. Wheat straw supplemented with alfalfa, blood meal or soybean meal fed to wintering steers. J. Anim. Sci. 61: 245-256.
- OJI, U.I.; D.N. MOWAT y J.E. WINCH. 1977. Alkali treatments of corn stover to increase its nutritive value. J. Anim. Sci. 44: 798-801.
- ORSKOW, E. 1982. Nutricional evaluation of poor quality roughages. Maximum livestock production from minimum land. Proceedings of a seminar held in Bangladesh Agricultural University. Pag. 70-87.
- PISDEN, W. y D.P. HEANEY, 1969. Lignocellulose in ruminant nutrition. Advances in Chemistry series 95: 245-261.
- PRESTON, T. 1980. Limitaciones nutricionales. En: Estrategias para el uso de residuos de cosecha en la alimentación animal. Informes CATIE, Turrialba, Costa Rica. Pag. 25-36.
- PRESTON, T. 1986. Better utilization of crop residues and by products in animal feeding. Research guidelines. Revista Mundial de Zootecnia, FAO 30/2.: 130.
- RODRIGUEZ, F.; J.M. ZORRILLA; C. MUÑOZ. 1985. Efectos de tratamiento con hidróxido de amonio y urea, humedad y tiempo en la composición de la paja de frijol. Técnica Pecuaria de México. 49: 42-49.
- RODRIGUEZ, F. 1986. Tratamiento de esquilmos agrícolas. Alimentos Balanceados de Mexico. Autlan, Mexico. 15 pag.
- RUIZ, M. 1980. Estrategia para la intensificación de la producción de carne. En: Estrategias para el uso de residuos de cosecha en la alimentación animal. Informes Catie, Turrialba, Costa Rica. pag 39-79.
- SAENGER, P.F. ; R.P. LEMENAGER y K.S. HENDRIX, 1982. Anhydrous ammonia treatment of corn stover and its effects on digestibility, intake and performance of beef cattle. J. Anim. Sci. 54: 419.
- SAENGER, P.F. 1983. Effect of anhydrous ammonia treatment of wheat straw upon in vitro digestion, performance and intake by beef cattle. J. Anim. Sci. 56: 15-26.

- SANCHEZ, E. 1976. Cambios en la composición química y digestibilidad de forrajes de baja calidad nutritiva, mediante el uso de diversos compuestos químicos. *Técnica Pecuaria en México*. 31: 68-72.
- SANSOUCY, R y B. EMERY, 1982 Crop residues and agroindustrial by-products in animal feeding. *Revista Mundial de Zootecnia, FAD*. 32: 7-17.
- STEEL, R Y J. TORRIE, 1985. Bioestadística: Principios y Procedimientos. McGRAW-HILL Latinoamericana. Bogotá, Colombia. 621 pag.
- STUART, R. 1988. Evaluación de alternativas para el tratamiento de los residuos de cosecha de la caña de azúcar para el ganado vacuno. *Revista Mundial de Ciencia Agrícola* 22: 55-67.
- SUNDBSTOL, F. 1982. Results of some recent experiments with ammonia-treated straw. Maximum livestock production from minimum land. Proceedings of a seminar held in Bangladesh Agricultural University. Pag. 97-102
- SUNDBSTOL, F y E. COXWORTH 1984 Mejora del valor nutritivo de la paja mediante tratamiento con amoníaco. *Revista Mundial de Zootecnia, FAD*. 26: 13-21.
- TARKOW, H y W. FERST, 1969. A mechanism for improving the digestibility of lignocellulosic materiales with diluted alkali and liquid ammonia. *Advances in Chemistry Series*, 95: 197-218.
- TEJADA, R. 1979 Uso de paja de trigo amoniataada como sustituto del ensilaje de maíz en raciones para ovinos en crecimiento. Tesis para obter el título de Licenciado en Zootecnia. Universidad de San Carlos, Guatemala. 86 pag.
- TROXEL, R. 1984 Hay ammoniation. Texas Agricultural Extension Service 1-2154, Texas, U.S.A. 4 pag.
- VAN SOEST, P. 1964. Symposium on nutrition and forage and pastures: New chemical Procedures for Evaluating Forages. *J. Anim. Sci.* 23: 838-845.
- VAN SOEST, P. 1969a. Chemical basis for the nutritive evaluation of forages. Proceedings of the national conference on forage quality evaluation and utilization. Nebraska, E.E.U.U. pag 19.

- VAN SOEST, P. 1969b. Maturity and the nutritive value of forages. *Advances in Chemistry*, series 95: 262-270.
- VAN SOEST, P. y MCCAMMON, FELDMANB, 1980. Estrategias para el uso de residuos de cosecha en la alimentación animal. Informes CATIE, Turrialba. Costa Rica. pag 7-17.
- VELASCO, R.; T. ROBLEDO, G. ORTIZ, I. TEJADA, y A. SHIMADA. 1985. Distribución de nitrógeno en ensilajes de cañuela de maíz tratada con urea o amoníaco líquido. *Técnica Pecuaria en México*. 49: 125-134.
- WAISS, A.C.; J. GUGGOLZ, G. KOHLER, H. WALKER Y W. GARRETT. 1972. Improving digestibility of straws for ruminants feed by aqueous ammonia. *J. Anim. Sci.* 35: 109-112.

X. Anexos

Anexo 1. Producción de diferentes rastrojos en fincas centroamericanas



nota: frijol
 maíz
 sorgo.

Fuente: Ruiz, M., 1980.

Anexo 2. Contenido de proteína y energía de algunos esquilmos agrícolas.

ESQUILMO	%			Mcal/kg		
	MS	FC	TND	EM	ENm	ENG
Rastrojo de maíz	87	5.9	59	2.18	1.26	0.62
Olote de maíz	90	2.8	47	1.64	1.01	0.15
Paja de sorgo	85	5.3	57	2.06	1.21	0.55
paja de frijol	90	2.8	40	1.44	0.80	0.05

Fuente: Rodriguez, 1986.

Anexo 3 .ANDEVA para la proteína cruda (N x6.25) del olote de maíz en B.S.

FV	gl	CM	Fcal
Tratamientos	12	26.57	39.62**
Cont./Exp.	1	120.107	155.98**
Exp	11	18.07	23.46**
Urea	2	88.008	114.30**
Humedad	1	8.604	11.17**
Tiempo	1	3.764	4.89*
U. x H.	2	3.325	4.31*
U. x T.	2	0.467	1>
H. x T.	1	0.662	1>
UxHxT	2	1.083	1.40ns
Error	26	0.77	
Total	38		

* Diferencias significativas al 5%

** Diferencias significativas al 1%

Anexo 4 .ANDEVA para la DIVMO del olote de maíz en B.S.

FV	gl	CM	Fcal
Tratamientos	12	68.67	26.89**
Cont./Exp.	1	284.8204	111.69**
Exp	11	49.0191	19.22**
Urea	2	96.163	37.71**
Humedad	1	6.708	2.63ns
Tiempo	1	216.482	84.89**
U. x H.	2	4.395	1.72ns
U. x T.	2	2.343	1>
H. x T.	1	76.504	30.00**
UxHxT	2	16.855	6.61**
Error	26	66.3994	2.55
Total	38		

* Diferencias significativas al 5%

** Diferencias significativas al 1%

Anexo 5 .ANDEVA para fibra neutro detergente del olote de maíz en B.S.

FV	gl	CM	Fcal
Tratamientos	12	27.37	22.83**
Cont./Exp.	1	51.094	50.09**
Exp	11	20.84	20.43**
Urea	2	45.084	43.35**
Humedad	1	15.524	15.22**
Tiempo	1	66.694	65.38**
U. x H.	2	15.127	14.83**
U. x T.	2	1.514	1.48ns
H. x T.	1	11.492	11.26**
UxHxT	2	6.07	5.95**
Error	26	1.02	
Total	38		

* Diferencias significativas al 5%

** Diferencias significativas al 1%

Anexo 6. ANDEVA para contenido celular del olote de maíz en B.S.

FV	gl	CM	Fcal
Tratamientos	12	23.37	22.85**
Cont./Exp.	1	51.047	50.05**
Exp	11	20.85	20.44**
Urea	2	45.076	44.19**
Humedad	1	15.511	15.20**
Tiempo	1	66.72	65.41**
U. x H.	2	15.129	14.83**
U. x T.	2	1.514	1.48ns
H. x T.	1	11.50	11.27**
UxHxT	2	6.073	5.950**
Error	26	1.02	
Total	38		

* Diferencias significativas al 5%

** Diferencias significativas al 1%

Anexo 7. ANDEVA para hemicelulosa del olote de maíz en B.S.

FV	gl	CM	Fcal
Tratamientos	12	2.52	1.64ns
Cont./Exp.	1	3.38	2.19ns
Exp	11	3.37	1.58ns
Urea	2	3.76	2.44ns
Humedad	1	1.01	1>
Tiempo	1	0.39	1>
U. x H.	2	0.82	1>
U. x T.	2	0.18	1>
H. x T.	1	0.34	1>
UxHxT	2	3.34	2.16ns
Error	26	1.54	
Total	38		

* Diferencias significativas al 5%

** Diferencias significativas al 1%

Anexo 8. ANDEVA para lignina del olote de maíz en B.S.

FV	gl	CM	Fcal
Tratamientos	12	10.78	4.90**
Cont./Exp.	1	35.16	15.98**
Exp	11	8.56	3.89**
Urea	2	27.561	12.53**
Humedad	1	1.027	1>
Tiempo	1	31.44	14.29**
U. x H.	2	0.54	1>
U. x T.	2	0.29	1>
H. x T.	1	2.58	1.17ns
UxHxT	2	1.15	1>
Error	26	2.20	
Total	38		

* Diferencias significativas al 5%

** Diferencias significativas al 1%

Anexo 9. ANDEVA para celulosa del clote de maíz en B.S.

FV	gl	CM	Fcal
Tratamientos	12	4.20	1.19ns
Cont./Exp.	1	0.71	1>
Exp	11	4.51	1.27ns
Urea	2	8.618	2.44ns
Humedad	1	6.09	1.72ns
Tiempo	1	1.33	1>
U. x H.	2	7.235	2.05ns
U. x T.	2	0.93	1>
H. x T.	1	3.21	1>
UxHxT	2	2.73	1>
Error	26	3.53	
Total	38		

* Diferencias significativas al 5%

** Diferencias significativas al 1%

Anexo 10. ANDEVA para cenizas insolubles del clote de maíz en base seca.

FV	gl	CM	Fcal
Tratamientos	12	0.08	1.01ns
Cont./Exp.	1	0.00	1>
Exp	11	0.08	1ns
Urea	2	0.003	1>
Humedad	1	0.012	1>
Tiempo	1	0.089	1.11ns
U. x H.	2	0.171	1>
U. x T.	2	0.179	1>
H. x T.	1	0.016	1>
UxHxT	2	0.034	1>
Error	26	0.08	
Total	38		

* Diferencias significativas al 5%

** Diferencias significativas al 1%

Anexo 11. ANDEVA para la proteína cruda (N x6.25) del rastrojo de maíz en B.S

FV	gl	CM	Fcal
Tratamientos	12	17.44	96.52**
Cont./Exp.	1	52.1035	269.46**
Exp	11	19.29	79.38**
Urea	2	73.231	406.84**
Humedad	1	4.595	28.25**
Tiempo	1	1.808	10.04**
U. x H.	2	1.638	9.1 **
U. x T.	2	0.051	1>
H. x T.	1	0.304	1.68ns
UxHxT	2	0.362	2.01ns
Error	26	0.18	
Total	38		

* Diferencias significativas al 5%

** Diferencias significativas al 1%

Anexo 12. ANDEVA para DIVMD del rastrojo de maíz en B.S.

FV	gl	CM	Fcal
Tratamientos	12	27.46	4.99**
Cont./Exp.	1	122.17	22.21**
Exp	11	18.85	3.42**
Urea	2	62.242	11.31**
Humedad	1	0.416	1>
Tiempo	1	37.76	6.86*
U. x H.	2	6.248	1.73ns
U. x T.	2	8.389	1.52ns
H. x T.	1	1.357	1.>
UxHxT	2	7.044	1.28ns
Error	26	5.50	
Total	38		

* Diferencias significativas al 5%

** Diferencias significativas al 1%

Anexo 13. ANDEVA para fibra neutro detergente del rastrojo de maíz en B.S.

FV	gl	CM	Fcal
Tratamientos	12	15.15	28.54**
Cont./Exp.	1	37.25	68.99**
Exp	11	13.57	25.14**
Urea	2	45.204	83.70**
Humedad	1	4.480	8.29**
Tiempo	1	44.489	82.39**
U. x H.	2	0.600	1.11ns
U. x T.	2	0.879	1.61ns
H. x T.	1	0.075	1 >
UxHxT	2	3.456	6.38**
Error	26	0.54	
Total	38		

* Diferencias significativas al 5%

** Diferencias significativas al 1%

Anexo 14. ANDEVA para contenido celular del rastrojo de maíz en B.S.

FV	gl	CM	Fcal
Tratamientos	12	16.86	25.32**
Cont./Exp.	1	35.27	22.50**
Exp	11	13.37	19.95**
Urea	2	20.327	30.64**
Humedad	1	27.563	41.13**
Tiempo	1	36.901	42.98**
U. x H.	2	2.599	3.96*
U. x T.	2	2.318	3.46*
H. x T.	1	0.277	1 >
UxHxT	2	5.768	8.61**
Error	26	0.67	
Total	38		

* Diferencias significativas al 5%

** Diferencias significativas al 1%

Anexo 15. ANDEVA para hemicelulosa del rastrojo de maíz en B.S.

FV	gl	CM	Fcal
Tratamientos	12	6.26	4.38**
Cont./Exp.	1	0.050	1>
Exp	11	7.78	2.66**
Urea	2	6.75	4.83*
Humedad	1	0.9	1>
Tiempo	1	0.84	1>
U. x H.	2	3.7	2.58*
U. x T.	2	2.34	1.63ns
H. x T.	1	7.73	5.40*
UxHxT	2	11.94	8.16**
Error	26	1.43	
Total	38		

* Diferencias significativas al 5%

** Diferencias significativas al 1%

Anexo 16. ANDEVA para lignina del rastrojo de maíz en B.S.

FV	gl	CM	Fcal
Tratamientos	12	4.23	3.73**
Cont./Exp.	1	17.25	15.53**
Exp	11	3.05	2.67*
Urea	2	8.073	7.08*
Humedad	1	2.181	1.91ns
Tiempo	1	3.850	3.37ns
U. x H.	2	2.502	2.19ns
U. x T.	2	0.220	1>
H. x T.	1	3.546	3.11ns
UxHxT	2	1.190	1.04ns
Error	26	1.14	
Total	38		

* Diferencias significativas al 5%

** Diferencias significativas al 1%

Anexo 17. ANDEVA para celulosa del rastrojo de maíz en B.S.

FV	gl	CM	Fcal
Tratamientos	12	2.78	1.68ns
Cont./Exp.	1	2.130	1.29ns
Exp	11	2.83	1.71ns
Urea	2	0.696	1>
Humedad	1	0.469	1>
Tiempo	1	12.972	7.85**
U. x H.	2	2.787	1.69ns
U. x T.	2	1.396	1>
H. x T.	1	0.146	1>
UxHxT	2	3.930	2.38ns
Error	26	1.65	
Total	38		

* Diferencias significativas al 5%

** Diferencias significativas al 1%

Anexo 18. ANDEVA para cenizas insolubles del rastrojo de maíz en B.S.

FV	gl	CM	Fcal
Tratamientos	12	1.19	0.96>
Cont./Exp.	1	0.32	1>
Exp	11	1.27	1.02
Urea	2	0.10	1>
Humedad	1	0.05	1>
Tiempo	1	0.48	1>
U. x H.	2	0.47	1>
U. x T.	2	0.01	1>
H. x T.	1	0.02	1>
UxHxT	2	0.13	1>
Error	26	1.24	
Total	38		

* Diferencias significativas al 5%

** Diferencias significativas al 1%

Anexo 19. ANDEVA para proteína cruda (Nx6.25) del rastrojo de sorgo en B.S.

FV	gl	CM	Fcal
Tratamientos	12	13.01	44.30**
Cont./Exp.	1	30.624	103.60**
Exp	11	11.40	39.31**
Urea	2	40.336	139.09**
Humedad	1	28.730	99.069**
Tiempo	1	1.102	3.8 ns
U. x H.	2	6.049	20.85**
U. x T.	2	0.368	1.27ns
H. x T.	1	0.853	2.94ns
UxHxT	2	0.649	2.23ns
Error	26	0.29	
Total	38		

* Diferencias significativas al 5%

** Diferencias significativas al 1%

Anexo 20. ANDEVA para DIVMD del rastrojo de sorgo en B.S.

FV	gl	CM	Fcal
Tratamientos	12	47.28	76.40**
Cont./Exp.	1	225.22	363.26**
Exp	11	31.10	50.16**
Urea	2	99.448	160.4 **
Humedad	1	41.646	67.17**
Tiempo	1	20.794	33.53**
U. x H.	2	33.923	57.94**
U. x T.	2	1.227	1.98ns
H. x T.	1	5.062	8.16**
UxHxT	2	0.715	1.15ns
Error	26	0.62	
Total	38		

* Diferencias significativas al 5%

** Diferencias significativas al 1%

Anexo 21. ANDEVA para fibra neutro detergente del rastrojo de sorgo en B.S.

FV	gl	CM	Fcal
Tratamientos	12	5.48	5.70**
Cont./Exp.	1	16.02	16.68**
Exp	11	4.52	4.70**
Urea	2	4.767	4.96*
Humedad	1	2.684	2.79ns
Tiempo	1	20.175	21.01**
U. x H.	2	3.017	3.14ns
U. x T.	2	1.244	1.29ns
H. x T.	1	6.579	6.84*
UxHxT	2	1.135	1.18ns
Error	26	0.96	
Total	38		

* Diferencias significativas al 5%

** Diferencias significativas al 1%

Anexo 22. ANDEVA para contenido celular del rastrojo de sorgo en B.S.

FV	gl	CM	Fcal
Tratamientos	12	5.21	5.21**
Cont./Exp.	1	36.48	36.48**
Exp	11	4.27	4.27**
Urea	2	4.387	4.38*
Humedad	1	3.07	3.07ns
Tiempo	1	18.89	18.89**
U. x H.	2	2.97	2.97ns
U. x T.	2	0.91	1>
H. x T.	1	5.50	5.50*
UxHxT	2	1.45	1.45ns
Error	26	1.0	
Total	38		

* Diferencias significativas al 5%

** Diferencias significativas al 1%

Anexo 23. ANDEVA para hemicelulosa del rastrojo de sorgo en B.S.

FV	gl	CM	Fcal
Tratamientos	12	2.66	1.46ns
Cont./Exp.	1	4.21	2.32ns
Exp	11	2.52	1.38ns
Urea	2	9.89	5.43*
Humedad	1	0.02	1>
Tiempo	1	4.44	2.43ns
U. x H.	2	0.008	1>
U. x T.	2	1.28	1>
H. x T.	1	1.36	1>
UxHxT	2	4.76	2.46ns
Error	26	1.82	
Total	38		

* Diferencias significativas al 5%

** Diferencias significativas al 1%

Anexo 24. ANDEVA para lignina del rastrojo de sorgo en B.S.

FV	gl	CM	Fcal
Tratamientos	12	2.97	12.41**
Cont./Exp.	1	19.73	82.21**
Exp	11	1.45	6.04**
Urea	2	4.057	16.89**
Humedad	1	0.01	1>
Tiempo	1	3.59	14.96**
U. x H.	2	0.99	4.12*
U. x T.	2	0.472	1.9ns
H. x T.	1	0.627	2.61ns
UxHxT	2	0.35	1>
Error	26	0.24	
Total	38		

* Diferencias significativas al 5%

** Diferencias significativas al 1%

Anexo 25. ANDEVA para celulosa del rastrojo de sorgo en B.S.

FV	gl	CM	Fcal
Tratamientos	12	1.69	1.68ns
Cont./Exp.	1	11.16	11.05**
Exp	11	0.83	1>
Urea	2	0.77	1>
Humedad	1	0.395	1>
Tiempo	1	0.169	1>
U. x H.	2	1.187	1.17ns
U. x T.	2	1.322	1.31ns
H. x T.	1	1.558	1.54ns
UxHxT	2	0.244	1>
Error	26	1.01	
Total	38		

* Diferencias significativas al 5%

** Diferencias significativas al 1%

Anexo 26. ANDEVA para cenizas insolubles del rastrojo de sorgo en B.S.

FV	gl	CM	Fcal
Tratamientos	12	0.28	1.14ns
Cont./Exp.	1	0.41	1>
Exp	11	0.85	3.06ns
Urea	2	0.27	1.08ns
Humedad	1	0.07	1>
Tiempo	1	0.03	1>
U. x H.	2	0.15	1>
U. x T.	2	0.78	3.12ns
H. x T.	1	0.31	1.24ns
UxHxT	2	0.26	1.04
Error	26	0.25	
Total	38		

* Diferencias significativas al 5%

** Diferencias significativas al 1%

Anexo 27. ANDEVA para proteína cruda (Nx6.25) del rastrojo de Frijol en B.S.

FV	gl	CM	Fcal
Tratamientos	12	17.71	94.91**
Cont./Exp.	1	80.96	426.15**
Exp	11	11.96	62.95**
Urea	2	51.780	272.52**
Humedad	1	0.225	1.18ns
Tiempo	1	3.198	16.83**
U. x H.	2	3.688	19.41**
U. x T.	2	2.880	15.16**
H. x T.	1	1.643	8.64**
UxHxT	2	4.911	25.84**
Error	26	0.19	
Total	38		

* Diferencias significativas al 5%

** Diferencias significativas al 1%

Anexo 28. ANDEVA para DIVMO del rastrojo de frijol en B.S.

FV	gl	CM	Fcal
Tratamientos	12	40.69	28.87**
Cont./Exp.	1	225.077	159.63**
Exp	11	23.93	16.97**
Urea	2	84.709	60.08**
Humedad	1	4.306	3.05ns
Tiempo	1	0.366	1>
U. x H.	2	14.134	10.02**
U. x T.	2	2.289	1.62ns
H. x T.	1	3.045	2.16ns
UxHxT	2	26.613	18.87**
Error	26	1.41	
Total	38		

* Diferencias significativas al 5%

** Diferencias significativas al 1%

Anexo 29. ANDEVA para fibra neutro detergente del rastrojo de frijol en B.S.

FV	gl	CM	Fcal
Tratamientos	12	17.18	19.69**
Cont./Exp.	1	16.00	18.40**
Exp	11	17.29	19.87**
Urea	2	64.380	74.23**
Humedad	1	1.003	1.15ns
Tiempo	1	43.494	49.98**
U. x H.	2	1.247	1.43ns
U. x T.	2	2.157	2.48ns
H. x T.	1	3.927	4.51*
UxHxT	2	2.910	3.34ns
Error	26	0.87	
Total	38		

* Diferencias significativas al 5%

** Diferencias significativas al 1%

Anexo 30. ANDEVA para contenido celular del rastrojo de frijol en B.S.

FV	gl	CM	Fcal
Tratamientos	12	17.10	17.45**
Cont./Exp.	1	16.69	17.03**
Exp	11	17.14	17.49**
Urea	2	63.451	64.74**
Humedad	1	0.91	1.0
Tiempo	1	44.09	44.98**
U. x H.	2	1.100	1.13ns
U. x T.	2	1.854	1.89ns
H. x T.	1	5.297	5.40*
UxHxT	2	2.698	2.75ns
Error	26	0.98	
Total	38		

* Diferencias significativas al 5%

** Diferencias significativas al 1%

Anexo 31. ANDEVA para hemicelulosa del rastrojo de frijol en B.S.

FV	gl	CM	Fcal
Tratamientos	12	22.83	9.72**
Cont./Exp.	1	32.03	13.62**
Exp	11	21.99	7.45**
Urea	2	66.61	28.34**
Humedad	1	1.01	1>
Tiempo	1	73.98	31.48**
U. x H.	2	7.65	3.25ns
U. x T.	2	4.76	2.02ns
H. x T.	1	1.10	1>
UxHxT	2	3.87	1.64ns
Error	26	2.35	
Total	38		

* Diferencias significativas al 5%

** Diferencias significativas al 1%

Anexo 32. ANDEVA para lignina del rastrojo de frijol en B.S.

FV	gl	CM	Fcal
Tratamientos	12	7.94	10.67**
Cont./Exp.	1	22.69	30.67**
Exp	11	6.59	8.91**
Urea	2	28.46	38.46**
Humedad	1	0.23	1>
Tiempo	1	12.53	16.93**
U. x H.	2	0.16	1>
U. x T.	2	0.78	1.05ns
H. x T.	1	0.21	1>
UxHxT	2	0.39	1>
Error	26	0.74	
Total	38		

* Diferencias significativas al 5%

** Diferencias significativas al 1%

Anexo 33. ANDEVA para celulosa del rastrojo de frijol en B.S.

FV	gl	CM	Fcal
Tratamientos	12	9.97	6.69**
Cont./Exp.	1	31.68	21.26**
Exp	11	8.00	5.37**
Urea	2	22.10	14.83**
Humedad	1	4.348	2.77ns
Tiempo	1	28.91	19.40**
U. x H.	2	2.123	1.42ns
U. x T.	2	1.19	1>
H. x T.	1	0.44	1>
UxHxT	2	1.64	1.1 ns
Error	26	1.49	
Total	38		

* Diferencias significativas al 5%

** Diferencias significativas al 1%

Anexo 34. ANDEVA para cenizas insolubles del rastrojo del frijol en B.S.

FV	gl	CM	Fcal
Tratamientos	12	0.11	1.64ns
Cont./Exp.	1	0.02	1>
Exp	11	0.26	2.11ns
Urea	2	0.12	1.41ns
Humedad	1	0.19	2.66ns
Tiempo	1	0.013	1>
U. x H.	2	0.128	1.74ns
U. x T.	2	0.07	1.0ns
H. x T.	1	0.09	1.32ns
UxHxT	2	0.165	2.33ns
Error	26	0.07	
Total	38		

* Diferencias significativas al 5%

** Diferencias significativas al 1%

Anexo 35. Valores de pH de los rastrojos después de 30 días de aireado.

No.	Tratamiento	Olote	R. Maiz	R. Frijol	R. Sorgo
1	0U 10H 0D	6.5	6.6	6.8	6.7
2	2U 30H 14D	4.8	6.0	4.8	5.8
3	2U 30H 28D	4.8	5.7	5.2	5.5
4	2U 40H 14D	5.8	5.9	5.0	5.2
5	2U 40H 28D	5.2	5.1	4.9	5.2
6	4U 30H 14D	4.7	6.1	5.3	5.1
7	4U 30H 28D	4.7	5.9	5.1	5.1
8	4U 40H 14D	4.6	6.2	5.2	5.2
9	4U 40H 28D	4.4	5.7	5.1	5.7
10	6U 30H 14D	4.6	6.0	5.4	4.9
11	6U 30H 28D	4.6	5.7	5.1	4.8
12	6U 40H 14D	5.0	5.8	5.2	4.9
13	6U 40H 28D	4.5	5.5	5.2	4.8