

**EFFECTO DEL MANEJO DE NITRÓGENO SOBRE CARACTERÍSTICAS  
AGRONÓMICAS, COMPOSICIÓN QUÍMICA Y FERMENTATIVAS DE  
HÍBRIDOS DE MAÍZ A DIFERENTES EDADES DE CORTE**

Por

**Ricardo José Prieto Prieto**

Tesis sometida en cumplimiento parcial de los requisitos para el grado de

**MAESTRO EN CIENCIAS**

En

**AGRONOMÍA  
UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO  
RECINTO UNIVERSITARIO DE MAYAGUEZ**

**2007**

Aprobado por:

---

Abner Rodríguez Carías, PhD  
Miembro del Comité Graduado

---

Fecha

---

Julia O'Hallorans, PhD  
Miembro del Comité Graduado

---

Fecha

---

James Beaver, PhD  
Miembro del Comité Graduado

---

Fecha

---

Elide Valencia Chin, PhD  
Presidente del Comité Graduado

---

Fecha

---

Lynette Orellana, PhD  
Representante Escuela Graduada

---

Fecha

---

Miguel A. Muñoz, PhD  
Director de Departamento  
Agronomía y Suelos

---

Fecha

## Resumen

La industria lechera en Puerto Rico carece de forrajes de alto valor nutritivo. El ensilaje de maíz (*Zea mays* L.) ofrece una oportunidad de utilizar un forraje de alto valor energético, pero su baja concentración de proteína es una limitante. Existe poca información sobre el efecto de sistemas y niveles de fertilización sobre el rendimiento, valor nutritivo y características fermentativas del ensilaje del maíz DKC 67-60.

Se llevaron a cabo dos experimentos de campo. El primer experimento consistió de una siembra de maíz y se evaluó el efecto de cuatro sistemas de manejo de N [fertilización convencional (FC; 185 kg/ha de 15-5-10), Maíz-Mucuna (MM; *Mucuna pruriens* cv Vine 90-d), y dos tasas de efluentes de vaquerías (EFV<sup>1</sup>; 56 y EFV<sup>2</sup>; 112 kg N/ha)] y tres edades de corte (70, 77 y 84 Días después de siembra; DDS) sobre los componentes hoja, tallo, mazorca, rendimiento total, valor nutritivo y características del ensilaje. Se encontró efecto significativo ( $P < 0.05$ ) en la producción de hojas y rendimiento total de materia seca. Se encontró mayor cantidad de hojas con la FC. La FC superó por sobre 1 t/ha en rendimiento total a los demás tratamientos. No se encontró efecto significativo de la edad de corte en todas las variables medidas a excepción del componente hojas. La concentración de proteína bruta (PB) fue mayor ( $P < 0.05$ ) con la FC (8.67%) superando por sobre dos unidades a la fertilización orgánica, pero no hubo efecto en fibra detergente neutro (FDN). La edad de corte no afectó la concentración de PB, sin embargo, la concentración de FDN de maíz cosechado a los 84 DDS (59.56 %) fue mayor ( $P < 0.05$ ) que el cosechado a los 77 DDS (58.4 %) o 70 DDS (56.15 %). Los sistemas de manejo de N no afectaron el pH y los ácidos orgánicos del ensilaje del maíz híbrido DKC 67-60, presentando características típicas de fermentaciones anaeróbicas

(pH; 4.2 y producción adecuada de ácido láctico como principal producto de fermentación).

El segundo experimento consistió de dos siembras de maíz donde se evaluaron cuatro niveles de N (0, 56, 112 y 185 kg de N/ha) y tres edades de madurez (70, 77 y 84 días después de siembra) en rendimiento de MS (hojas, tallos, mazorcas y rendimiento total), valor nutritivo (PB y FDN) del material antes de ensilar. El segundo objetivo fue evaluar el efecto de niveles de N y edad de corte en características fermentativas y estabilidad aeróbica del ensilaje resultante del maíz híbrido transgénico Dekalb (DKC 67-60). En ambas siembras los niveles de N afectaron ( $P < 0.05$ ) los rendimientos de MS de hojas, tallos, mazorcas y rendimiento total, exhibiéndose una respuesta lineal y cuadrática, por lo que la dosis óptima pudiera estar entre los niveles de 112 y 185 kg de N/ha. La edad de corte afectó ( $P < 0.05$ ) los rendimientos de tallos, mazorcas y rendimiento total, pero no hubo efecto para hojas. Los mayores rendimientos de materia seca (MS) se encontraron a los 84 DDS. La concentración de PB fue mayor en la primera época. A medida que se aumentó la fertilización nitrogenada la concentración de PB también aumentó (2 unidades de diferencia sobre el control), pero esta no afectó la concentración de FDN. La edad de corte no tuvo efecto en la concentración de PB, pero si en la concentración de FDN (aumentando con la edad de corte). El pH y los ácidos orgánicos fueron similares para los cuatro niveles de N, mostrando características propias de un buen proceso de fermentación.

Se concluyó que irrespectivo del tipo de N (fuente inorgánica y orgánica) el maíz híbrido DKC 67-60 necesita de entre 112-185 kg/ha de N para un buen rendimiento de MS y alto valor nutritivo y se recomienda cosechas entre los 70 y 77 DDS.

## Abstract

The dairy cattle industry in Puerto Rico lacks forages of high nutritive value. Maize silage is a high energy value crop and offers potential for use in the industry, but its low protein concentration is a major concern. Information on use of organic or inorganic fertilizer and their effect on yield, nutritive value and fermentation characteristics of hybrid corn (DKC 67-60) grown for silage are limited.

Two experiments were conducted. The first experiment consisted of a maize planting to evaluate the effect of four N systems [conventional fertilization (CF; 185 kg/ha of 15-5-10), Maize-Mucuna (MM; *Mucuna pruriens* cv Vine 90-d), and two dairy of effluent rates (DFR<sup>1</sup>; 56 and DFR<sup>2</sup>; 112 kg N/ha) and harvesting at three growth stages (70, 77 84 DAP) on plant components (leaf, stem, ear), total yield, nutritive value and fermentation and aerobic stability of the corn silage. There was an effect ( $P < 0.05$ ) on leaf yield and total dry matter yield. Leaf yield was greater with CF. Total dry matter yield was also 1 t/ha higher with CF than other N systems. There was no effect of date of harvest on the variables measured, except for the leaf component. Crude protein concentration was greater with CF (8.67%) surpassing by two units the organic fertilization, but there was not effect on NDF. Harvest age did not affect CP concentration, but did have an effect on NDF. Maize harvested at 84 DAP (59.56 %) was higher than harvested at 77 DAP (58.4 %) or 70 DAP (56.15 %). The N treatments did not affect pH and organic acids of hybrid maize DKC 67-60 silage, presenting typical characteristics of anaerobic fermentation (pH 4.2; and adequate lactic acid production).

The second experiment consisted of two maize plantings. The effects of four N levels (0, 56, 112 and 185 kg of N/ha from 15-5-10 source) y three harvest dates (70, 77 y 84 DAP) on dry matter yield (DMY) of leaves, stem, ear and total yield, nutritive value (CP and NDF) of corn harvested prior to ensiling were determined. A second objective evaluated the same treatment effects on fermentation characteristics and aerobic stability of hybrid corn Dekalb (DKC 67-60). In both plantings the levels of N affected dry matter yields of leaves, stems, ears and total yield, exhibiting a quadratic response. This suggests that optimum N rate is between 112 and 185 kg/ha. Harvest date had an effect ( $P < 0.05$ ) on corn, stems, ears and total yield, but had no effect on leaves. Greater DMY were observed at 84 DAP. The CP concentration was greater in first in the first planting. Crude protein increased (2 unit differences over the control) with increasing N rates, but N rates had no effect on NDF. Harvest date had no effect on CP, but as expected there was increase in NDF with increasing harvest date. Both pH and the organic acids were similar for the N levels, indicating a good fermentation characteristic. There was no effect of N or harvest date on aerobic stability.

In conclusion, irrespective of the type of N (organic or inorganic) the hybrid corn DKC 67-60 requires between 112-185 kg/ha of N for optimum yield y high nutritive value and its recommended that the corn be harvested between 70 to 77 DAP.

## **Dedicatoria**

- A mis padres Ricardo Prieto Altamirano y Azucena Prieto Núñez, quiero agradecerles con todo mi corazón, por todo el apoyo incondicional para lograr mis metas.
- A mi bella esposa Lidia Yolanda Quintero Cuadra, por siempre brindarme su amor y su apoyo incondicional en mis decisiones. Gracias por tanto amor.
- A mis pequeños y especiales hijos; Richard Alexander y Katherine Nicole Prieto Quintero.
- A mis hermanos Ana Margarita y Denis Martín Prieto Prieto, por estar dispuestos a brindarme su colaboración cuando los necesito.
- A mi primo Hugo Altamirano, desde la distancia siempre has estado dispuesto a ayudarme.

## **Agradecimientos**

- Quiero agradecer a Dios, por ser el motor que me guía en cada meta que me propongo y por brindarme la sabiduría para enfrentar las situaciones que me presenta mi existencia.
- Al Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria, especialmente al Ing. Octavio Menocal por darme la oportunidad de superarme profesionalmente.
- Dr. Elide Valencia Chin, por haberme dado la oportunidad para lograr mis sueños. Gracias por sus críticas constructivas hacia los trabajos de investigación y por el interés mostrado en desarrollarnos como futuros investigadores.
- Dr. Abner Rodríguez Carías, gracias por haberme permitido trabajar con usted. Quiero reconocer el tiempo que dedico a dilucidar mis dudas y por su interés en el aprendizaje en el campo de la investigación.
- Dra. Julia O'Hallorans, gracias por ser parte de mi comité graduado y por dedicar tiempo para la revisión de este documento. Aproveche mucho su curso.
- Dr. James Beaver, gracias por haber aceptado ser parte de mi comité graduado y por dedicar tiempo a la revisión del documento.
- Quiero agradecer de manera especial a mis amigas Carmen Castañeyra y Glenda Zavala, siempre han estado dispuestas a ayudarme en lo que sea y a la hora que sea.
- Quiero agradecer el apoyo brindado por mis amigos; Bismarck Sandoval, Héctor Díaz, Amanda Acero, Enmanuel Feliciano, Karla Hernández, Alexander Recaman, Manuel Santana y Miguel Arango.

- Quiero agradecer el apoyo del Departamento de Agronomía y Suelos, en especial a Gloria Aguilar y Evelyn Roselló y Dr. Miguel Muñoz.



## Tabla de contenido

Resumen.....	ii
Abstract.....	iv
Dedicatoria.....	vi
Tabla de contenido.....	ix
Lista de cuadros .....	xi
Lista de figuras.....	xii
Lista de abreviaturas .....	xiii
<b>CAPITULO 1</b> .....	<b>1</b>
Revisión de Literatura.....	1
Introducción .....	1
Ensilajes .....	4
Estabilidad aeróbica.....	7
Ensilaje de maíz .....	7
Maíz .....	9
Efecto del tipo de híbrido sobre las características del maíz .....	10
Efecto de la etapa de madurez sobre el valor nutritivo del maíz. ....	12
Criterios para determinar el estado de madurez.....	13
Momento de cosecha.....	13
Leguminosas .....	15
Leguminosas forrajeras.....	15
Asociaciones de leguminosas .....	16
Asociaciones de leguminosas con maíz.....	17
<i>Mucuna pruriens</i> ( <i>Mucuna</i> vine 90-días) .....	18
Importancia del N en las plantas .....	19
Aplicación de estiércol o efluentes de vaquerías como fertilizante.....	20
Características y uso de las plantas modificadas genéticamente .....	21
Maíz transgénico Roundup Ready® .....	23
<b>CAPITULO 2</b> .....	<b>24</b>
Efecto de la fertilización inorgánica versus orgánica y edad de corte sobre características agronómicas, composición química y fermentativa de maíz .....	24
Introducción .....	24
Materiales y Métodos.....	26
Localización del experimento .....	26
Preparación de terreno y siembra.....	26
Muestreo de charca de oxidación.....	28
Muestreo y diseño experimental .....	29
Análisis estadístico.....	30
Proceso de ensilaje.....	31
Resultados y Discusión.....	34
Densidad y altura de maíz híbrido DKC-6760. ....	34

Rendimiento de los componentes de maíz híbrido DKC 67-60 (hojas, tallos y mazorcas) y rendimiento total. ....	34
Composición química del maíz híbrido DKC-6760. ....	38
Características fermentativas del maíz híbrido DKC 6760.....	40
Estabilidad aeróbica del maíz híbrido DKC 67-60.....	41
Conclusiones.....	42
Implicaciones.....	43
CAPITULO 3.....	48
Efecto de cuatro niveles de fertilización inorgánica y edad de corte sobre características agronómicas, composición química y fermentativa de maíz.....	48
Introducción.....	48
Materiales y Métodos.....	50
Localización del experimento.....	50
Preparación de terreno y siembra.....	50
Muestreo y diseño experimental.....	51
Análisis estadístico.....	52
Proceso de ensilaje.....	53
Resultados y Discusión.....	56
Rendimiento de los componentes del maíz híbrido DKC 67-60 (hojas, tallos y mazorcas) y rendimiento total.....	56
Composición química del híbrido de maíz.....	60
Características fermentativas del maíz híbrido DKC 6760.....	62
Estabilidad aeróbica del maíz híbrido DKC 67-60.....	63
Conclusiones.....	64
Implicaciones.....	65
Referencias.....	70

## Lista de cuadros

	Página
Cuadro 1. Efecto de cuatro sistemas de manejo de N sobre la altura de plantas del maíz híbrido DKC 67-60.	44
Cuadro 2. Efecto de cuatro sistemas de manejo sobre el rendimiento de MS/ha de los componentes de la planta y rendimiento total del maíz híbrido DKC 67-60.	45
Cuadro 3. Efecto de cuatro sistemas de manejo N, edad de corte y largo de fermentación sobre el pH y los productos de fermentación del ensilaje del maíz híbrido DKC 67-60.	46
Cuadro 4. Efecto de cuatro sistemas de manejo de N, edad de corte, largo de fermentación y días de exposición aeróbica sobre la estabilidad aeróbica del ensilaje del maíz híbrido DKC 67-60 al aire durante 4 días.	47
Cuadro 5. Efecto de la interacción época por niveles de N sobre el rendimiento de MS/ha de los componentes de la planta y rendimiento total del maíz híbrido DKC 67-60.	66
Cuadro 6. Efecto principal de la época y edad de corte sobre el rendimiento de MS/ha de los componentes de la planta y rendimiento total del maíz híbrido DKC 67-60.	67
Cuadro 7. Efecto de cuatro niveles de N, edad de corte por largo de fermentación sobre el pH y los productos de fermentación del ensilaje del maíz híbrido DKC 67-60.	68
Cuadro 8. Efecto de cuatro niveles de N, edad de corte, largo de fermentación y día de exposición aeróbica del maíz híbrido DKC 67-60 al aire durante 4 días.	69

## Lista de figuras

	Página
Figura 1. Promedio mensual de precipitación pluvial durante el año 2005 (EEA, Lajas).	27
Figura 2. Efecto de la edad de corte sobre el rendimiento de MS de hojas del maíz híbrido DKC 67-60.	37
Figura 3. Efecto de cuatro sistemas de manejo de N sobre el % de PB del material antes de ensilarse del maíz híbrido DKC 67-60.	38
Figura 4. Efecto de la edad de corte sobre el % de FDN del maíz híbrido DKC 67-60.	39
Figura 5. Promedio mensual de precipitación pluvial durante el año 2005 y 2006 (EEA, Lajas).	55
Figura 6. Efecto de la época de siembra sobre el % de PB.	61
Figura 7. Efecto de cuatro niveles de N sobre el % de PB en el material antes de ensilarse del maíz híbrido DKC 67-60.	61
Figura 8. Efecto de la edad de corte sobre el % de FDN del maíz híbrido DKC 67-60.	63

## Lista de abreviaturas

Bacterias productoras de ácido láctico	BPAL
Centímetros	cm
Días después de siembra	DDS
Efluentes de vaquerías	EFV
Fibra detergente neutro	FDN
Fibra detergente ácido	FDA
Fertilización convencional	FC
Gramíneas tropicales	GT
Ingrediente activo	ia
Kilogramos por hectárea	Kg/ha
Milímetros	mm
Maíz-mucuna	MM
Materia seca por hectárea	MS/ha
Materia seca	MS
Materia seca recuperada	MSR
Nitrógeno	N
Proteína bruta	PB

© *Ricardo José Prieto Prieto, 2007*

# **CAPITULO 1**

## **Revisión de Literatura**

### **Introducción**

Una de las limitantes en la alimentación de los rumiantes en las zonas tropicales reside en que la calidad de los forrajes tiende a poseer muy bajos niveles de nitrógeno (N) y altos contenidos de fibra (Humpheys, 1994). Esta característica dificulta el proceso de digestibilidad y el aprovechamiento que los rumiantes puedan alcanzar con el consumo de estos forrajes. Asociado a esto está la estacionalidad, que tiene primordial influencia en la disponibilidad y calidad de los forrajes. Las gramíneas tropicales (GT), ya sean introducidas o naturalizadas, presentan un alta tasa de crecimiento durante la época de lluvia resultando en altas producciones de materia seca (MS) de pobre o moderada calidad (Clavero et al., 1997).

Entre las alternativas utilizadas está la conservación de forrajes en forma de ensilaje (gramínea o leguminosa) durante la época lluviosa para utilizarlo en la estación seca. En condiciones tropicales donde el crecimiento del pasto es excesivo durante la época de lluvias, no practicar la conservación de forrajes implica desaprovechar los excedentes de pastos que oscilan entre 25 a 80%. Sin embargo, los ensilajes que normalmente se elaboran con GT presentan bajas concentraciones de proteína bruta (PB), contienen un alto nivel de fibra y poca presencia de carbohidratos solubles (Rojas et al., 1998). Esto afecta el proceso de fermentación y da como resultado fermentaciones pocos estables. Asimismo, las leguminosas han tomado parte importante en la alimentación de los rumiantes, por lo que se han realizado estudios para incorporarlas a los ensilajes en

asociaciones con GT ya que su follaje podría ser utilizado en ensilajes tropicales como una forma de añadir PB.

El ensilaje de maíz (*Zea mays L.*) es uno de los forrajes mas importantes en el mundo. Se usa ampliamente por sus altos rendimientos de MS por unidad de superficie y se puede obtener un alimento con buen valor energético y de alta palatabilidad (Roth y Undersander, 1995). Además, presenta las ventajas de no requerir ningún tratamiento previo al ser ensilado, la cosecha es rápida y los costos de almacenamiento son bajos (Mooi, 1991). El ensilaje de maíz es un forraje de alta energía cuando contiene entre un 40-50% de la MS en forma de grano. La energía es el factor más limitante en la dieta de vacas productoras en etapa temprana de lactancia, más aun aquellas alimentadas con forrajes de baja calidad (Kolver et al., 1998). Suministrar el ensilaje de maíz como único alimento tiene algunas limitantes, ya que posee una baja concentración de PB y minerales especialmente calcio. Para que el ensilaje pueda ser suministrado como único alimento al ganado se requiere el añadir algún suplemento de proteína para satisfacer los requerimientos nutricionales de los animales en producción.

La digestibilidad del maíz esta influenciada por el contenido de grano presente y por la calidad nutritiva de la planta sin mazorca. Por lo general, se considera que híbridos altamente productores de grano son también los mejores en calidad forrajera. Altas correlaciones han sido mencionadas entre el índice de cosecha y los contenidos de fibra y digestibilidad y no menos importante ha sido la contribución de la proporción de mazorcas en base seca sobre el contenido de energía metabolizable en un gran número de híbridos evaluados (Graybill et al., 1991).



El N es esencial en la obtención de proteína en el maíz y se requiere una dosis adecuada de fertilización nitrogenada para obtener el máximo de PB (Cox et al., 1993). Scharf et al. (2002) y Binder et al. (2000) señalaron que es conveniente aplicar los fertilizantes nitrogenados en parcialidades para obtener una mayor producción de maíz ya que el consumo de N es mínimo al inicio de crecimiento de la planta, aumentando hasta alcanzar un máximo entre la floración y la formación inicial del grano. Diversos autores han señalado que el aumento de la fertilización nitrogenada produce un incremento en el rendimiento de MS, aumentando además el contenido proteico del grano de maíz, (Sinclair y Muchow, 1995; Muchow y Sinclair, 1994; Bundy y Carter; 1988; Carlone y Russell, 1987).

Actualmente, existe gran interés en el uso de abonos orgánicos de origen animal, vegetal (ej. efluentes de vaquerías o asociación de leguminosas anuales fijadoras de N) para mejorar las características físicas, biológicas y químicas del suelo o aumentar la concentración de la PB en el ensilaje de maíz (Valencia et al., 2006; Contreras-Govea et al., 2006). Los efluentes es la mezcla de estiércol de vaquerías con agua de lavado y residuos de alimentos.

En Puerto Rico, la industria lechera genera grandes cantidades de estiércol que en forma de efluentes pueden ser utilizados como fertilizantes orgánicos y agua de riego si se manejan adecuadamente (Valencia et al., 2006). Asimismo, la asociación de gramíneas con leguminosas fijadoras de N representa una opción económica viable, para mejorar la calidad de las praderas tropicales particularmente en lo que se refiere a los contenidos de PB (Skerman et al., 1991). Además, éstas mantienen su calidad a través del

tiempo, incluso durante la época seca, cuando más la consumen los animales (Hernández et al., 1998).

Los objetivos del presente estudio fueron comparar cuatro sistemas de manejo de N y el efecto de la edad de corte sobre características agronómicas y fermentativas de un maíz híbrido.

### **Ensilajes**

La razón principal para la conservación de forrajes (ej. henos o ensilaje) en las áreas tropicales es la preservación de éste en su estado óptimo en las épocas en las que abunda, para ser ofrecidos a los animales durante las épocas de sequía cuando los pastos frescos son escasos. En los trópicos, los forrajes representan la fuente mas abundante de alimento y de menor costo disponible para la alimentación animal. Sin embargo, la estacionalidad de las lluvias es uno de los factores que determinan la producción de forraje. Durante los períodos de sequía prolongados estos son escasos y de baja calidad, por lo tanto los rumiantes se ven sometidos a una drástica disminución del consumo voluntario. Esto a su vez puede reducir la producción de leche y carne hasta en un 40% en relación a aquella obtenida durante períodos de lluvia, situación que puede afectar de manera negativa el comportamiento productivo y reproductivo del ganado. Es por esto que es imperativo disponer de reservas alimenticias durante los meses secos del año. Entre las alternativas utilizadas está el ensilaje de forrajes ya sea de gramíneas o leguminosas. El ensilaje es una tecnología antigua y se usa para la conservación de forraje producido durante la época de lluvia, y se distribuye al ganado en la temporada de escasez. El ensilaje es el resultado de una fermentación anaeróbica a partir de

microorganismos y sustratos presentes en el material vegetativo (Bolsen et al., 1996; Grant y Stock, 1996).

En Puerto Rico, la producción de ensilaje se ha incrementado durante los últimos años, reemplazando inclusive al heno entre algunos de los productores pecuarios. A diferencia del heno, el ensilaje puede evitar sustancialmente el daño causado por las lluvias (Owens et al., 1999) y disminuye las pérdidas del material vegetativo en el campo ocasionado por la actividad microbiana (Pitt, 1990). El éxito de la fermentación depende de la habilidad de las bacterias productoras de ácido láctico (BPAL) de crecer rápidamente y utilizar los carbohidratos solubles disponibles en el material ensilado (Muck y Limin, 1997). Estas condiciones ocasionan una disminución rápida en el pH, lo que evita la proliferación de otros microorganismos (ej. *Clostridium*, coliformes, hongos y levaduras) y la producción de compuestos indeseables (ej. ácido butírico, etanol y CO<sub>2</sub>). Sin embargo, si no se puede alcanzar una fermentación mayormente láctica, una alternativa es la producción de otros ácidos orgánicos mediante rutas heterofermentativas. Este tipo de fermentación puede ser eficiente en la preservación de energía, aún cuando hay pérdidas considerables de MS (McCullough, 1984).

El éxito de producir un ensilaje de alto valor nutritivo y estable a condiciones aeróbicas dependerá de la materia prima ensilada y de las características fermentativas existentes dentro del silo. En la preservación de cualquier tipo de alimento, existen dos objetivos primordiales: composición química para indicar el contenido de nutrientes utilizables y los resultados de la fermentación y sus probables efectos en la ingestión del mismo (McCullough, 1995). Una vez que el material fresco ha sido almacenado,

compactado y cubierto para excluir el aire, el proceso del ensilaje se puede dividir en cuatro fases (Driehuis et al., 1999; Weinberg y Muck, 1996).

**La fase aeróbica dura pocas horas.** El oxígeno atmosférico presente en la masa vegetal disminuye rápidamente, debido a la respiración de los materiales vegetales y a los microorganismos aeróbicos y facultativos como las levaduras y las enterobacterias.

**La fase de fermentación** comienza al producirse un ambiente anaeróbico. Dura de varios días hasta varias semanas, dependiendo de las características del material ensilado y de las condiciones en el momento del ensilaje. Si la fermentación se desarrolla con éxito, la actividad de las BPAL proliferará y se convertirán en la población predominante. A causa de la producción de ácido láctico y otros ácidos, el pH bajará a valores entre 3.8 a 5.0. Mientras se mantenga el ambiente anaeróbico, ocurren pocos cambios. La mayoría de los microorganismos de la fase de fermentación lentamente reducen su presencia. Algunos microorganismos acidófilos sobreviven este período en estado inactivo; otros como *Clostridios* y bacilos, sobreviven como esporas. Sólo algunas proteasas y carbohidrasas, y microorganismos especializados, como *Lactobacillus buchneri* que toleran ambientes ácidos, continúan activos, pero a menor ritmo.

**La fase de deterioro aeróbico,** comienza con la apertura del silo y la exposición del ensilaje al aire. Esto es inevitable cuando se requiere extraer y distribuir el ensilaje, pero puede ocurrir antes de iniciar la explotación por daño de la cobertura del silo. El período de deterioro puede dividirse en dos etapas. La primera se debe al inicio de la degradación de los ácidos orgánicos que conservan el ensilaje, por acción de levaduras y ocasionalmente por bacterias que producen ácido acético. Esto induce un aumento en el valor de pH, lo que permite el inicio de la segunda etapa de deterioro. En esta segunda

fase se observa un aumento en la temperatura y la actividad de microorganismos que deterioran el ensilaje.

### **Estabilidad aeróbica**

La estabilidad aeróbica se refiere al deterioro del material ensilado al ser expuesto a condiciones aeróbicas, especialmente durante la fase de alimentación y ello resulta en una pérdida sustancial de MS (Woolford, 1990). La estabilidad aeróbica del ensilaje es importante especialmente para aquellos productores de leche y carne que a menudo transportan ensilaje suficiente para varios días de alimentación y lo almacenan al aire libre. Según Weinberg et al. (2001) y Rodríguez et al. (1998), ensilajes almacenados a altas temperaturas afecta negativamente el proceso fermentativo y estabilidad aeróbica. La estabilidad aeróbica puede ser medida utilizando como indicadores el incremento en pH y temperaturas causados por la utilización de los azúcares residuales y ácidos orgánicos por parte de los microorganismos asociados a este proceso (Johnson et al., 2002; Kung y Ranjit, 2001).

### **Ensilaje de maíz**

El maíz es originario de México y América Central, y se cultiva para grano en todo el mundo debido a sus altos rendimientos y excelentes características químicas para utilizarse en la alimentación animal y humana. El ensilaje de maíz ha sido el forraje principal de los bovinos en América del Norte y en menor medida en Europa. Provee el 40% del valor nutritivo del forraje que consume el ganado lechero en los Estados Unidos y constituye una fuente importante en la alimentación de vacunos para carne (Roth y

Undersander, 1995). La planta de maíz tiene una alta capacidad de conversión de la radiación solar a material vegetativo. El elevado contenido de almidón en el grano de maíz hace que tenga un contenido energético mas alto que el heno o el forraje de sorgo, por lo cual es, un material ideal para ensilar (Mooi, 1991). Su follaje, fuente de fibra, contiene grandes proporciones de nutrientes digeribles, carbohidratos estructurales, los cuales son necesarios para mantener un buen funcionamiento del rumen. Posee mejores características para ensilarse que otras gramíneas y leguminosas y esto se debe a sus altos contenidos de azúcares que le imparten características fermentativas deseables. El maíz es capaz de conservarse por un período de tiempo con una mínima pérdida de nutrientes y de MS (Johnson, 1991).

El maíz, además de su mayor contenido de carbohidratos solubles en agua sobre otras gramíneas o leguminosas, presenta la ventaja de tener una baja capacidad amortiguadora, o capacidad de resistir cambios en el pH. Por lo general, después del corte no requiere de un período de marchites, lo que reduce el riesgo de afectar su contenido nutricional por efecto de las lluvias y otros factores ambientales. Sin embargo, la calidad del ensilaje de maíz dependerá, entre otros factores de la variedad o híbrido de la planta a ensilar y de su estado de madurez (Arias, 1998). Este efecto ha sido estudiado por décadas, observándose diferencias significativas en la producción de leche y en la ganancia de peso por los animales al consumir ensilados de diversas materias primas (Roth, 1993).

Rojas y Manríquez (2001), evaluaron ensilajes de trigo cosechados en dos estados fenológicos, comparado con ensilaje de maíz en el engorda invernal de novillos. El mayor consumo de alimentos, base MS, se obtuvo en los novillos que disponían de

ensilajes de trigo, comparado a los novillos que disponían de ensilaje de maíz. Al relacionar los consumos de MS con el peso vivo promedio de los animales, se obtuvieron porcentajes de 2.29%, 2.46% y 2.93% para el ensilaje de maíz, trigo grano lechoso harinoso y ensilaje trigo grano harinoso suave a duro, respectivamente. Estos porcentajes de consumo se encuentran en los rangos normales para el tipo de animal y raciones empleadas, especialmente para los ensilajes de maíz y de trigo grano lechoso harinoso, pero son más altos que los estándares alimenticios, para el caso del ensilaje de trigo grano harinoso suave a duro.

Aminha et al. (1998) evaluaron la calidad nutritiva de ensilaje de forrajes tropicales sobre la producción de leche. Encontraron que el maíz y el sorgo forrajero produjeron un buen ensilaje con  $\text{pH} < 4.0$  y valores de ácido láctico de 2.72 y 3.7% respectivamente. *Setaria spp* y *Pennisetum spp.*, produjeron un ensilaje aceptable con  $\text{pH}$  de 4.07 y 3.96 respectivamente sin uso de aditivos. El  $\text{pH}$  del ensilaje de gramíneas bajó al usar 4% de melaza como aditivo. El promedio de producción de leche diaria fue más alta para las vacas alimentadas con ensilaje de sorgo (7.93 kg/vaca/día) que las del grupo testigo (7.01kg/vaca/día). El valor promedio para la conversión de alimento para las vacas con dietas que incluían ensilaje fue mayor (1.37 kg MS total/kg de leche producida) que aquellas vacas que recibieron forraje y forraje+ensilaje (2.16 y 2.65 kg MS total/kg, respectivamente).

## **Maíz**

El maíz pertenece a la familia de las gramíneas, y constituye uno de los alimentos de mayor importancia en el mundo. En relación a la producción mundial por especies

cultivadas ocupa el tercer lugar después del trigo (*Triticum aestivum* L.) y el arroz (*Oryza sativa* L.) (Paliwal, 2001). Se utiliza para consumo directo del hombre, industrial, como alimento procesado o como alimento concentrado para el ganado de carne y leche y en la elaboración de balanceados para la explotación avícola y como fuente de combustible (Robles, 1983; Sánchez, 1981)

El maíz es un cultivo anual que requiere de una temperatura de entre 24-30°C para su desarrollo y producción. La planta de maíz se adapta a todo tipo de suelo, pero los más apropiados son los de tipo lómico-arenoso, pueden crecer en suelos con pH desde 5.6 a 7.5. Los niveles promedios de precipitación anual óptimo para el cultivo del maíz oscila entre 450 y 600 mm. Monar (1992) encontró que la aplicación de riego no influyó en la productividad de maíz cuando las precipitaciones llegaron a 500 mm bien distribuidas.

El maíz posee características que permiten obtener ventajas económicas en la producción de ensilaje. Posee la capacidad de producir grandes rendimientos y la MS es de alta digestibilidad (Elizondo y Boschini, 2003; Johnson, 1991). El contenido de MS varía de 15 a 25% en la planta verde y la composición química es de 4 a 11% de PB, 1 a 3.5% de extracto etéreo, 27 a 35% de FDN, 34 a 55% de extracto libre de nitrógeno y de 7 a 10% de ceniza en la MS (Johnson, 1991).

### **Efecto del tipo de híbrido sobre las características del maíz**

La selección de híbridos para ensilaje es cada vez más compleja debido a la gran cantidad de factores que intervienen en esta decisión (Roth y Undersander, 1995; Allen y Oba, 1996). El criterio tradicional para seleccionar híbridos está basado principalmente en factores agronómicos, incluyendo rendimiento, precocidad, resistencia a



enfermedades, tolerancia a sequía y características de almacenamiento. En cambio hay poco énfasis en su composición química, que es uno de los aspectos más importantes a considerar en la producción de ensilaje (Cox et al., 1993). Hasta hace poco tiempo se usaban los mismos híbridos para ensilaje y grano. Sin embargo, con el avance en los métodos de mejoramiento genético y selección, ha aumentado en la disponibilidad de materiales por lo que se deben incorporar otros factores en la evaluación, tales como: digestibilidad, materia verde, respuesta animal y otros.

Existe cada vez más evidencia científica de que hay diferencias en la respuesta animal con una alimentación con ensilajes proveniente de diferentes híbridos. Aunque estas diferencias son pequeñas de detectar, se puede afirmar que hay algunos híbridos que presentan mejor rendimiento de leche y carne que otros (Jahn y Bermedo, 2003).

Investigaciones recientes han señalado variaciones en digestibilidad, contenido de proteína y características de la fibra del forraje en 32 híbridos comerciales de maíz (Allen et al., 1997). Johnson (1991), comparó 13 híbridos de maíz y encontró una gran variación en proporción al rendimiento del grano, pero no así en los rendimientos de MS.

El inconveniente con estos híbridos, es que el mejoramiento genético que se realiza es para la producción de grano, sin considerar características de ensilado. Se busca lograr cañas gruesas y resistentes al vuelco, con una maduración uniforme entre espiga, tallo y hojas. Sin embargo, esto provoca que cuando el grano se encuentra en la madurez óptima para la cosecha, la planta está demasiado seca, disminuyendo la digestibilidad de la fibra y dificultando la compactación del material ensilado.

### **Efecto de la etapa de madurez sobre el valor nutritivo del maíz.**

Las características fermentativas del maíz pueden afectarse por la edad de madurez y el tipo genético (híbrido comercial o variedad). La madurez incrementa el contenido de MS y fibra (celulosa y lignina) disminuyendo la digestibilidad (Roth y Lauer, 1997). La planta de maíz al ensilarse a excesiva humedad trae como resultado pérdida de nutrientes como efluentes, afectando negativamente los procesos de fermentación, elevando el pH y contribuyendo a la formación de grandes cantidades de ácido butírico (Miller, 1989). En contraste, el maíz cosechado en un estado de madurez óptimo fermenta rápidamente y el ácido láctico formado preserva el forraje por un largo período de tiempo (Peñagaricano, 1992). La edad de cosecha del maíz para ensilaje tiene efecto sobre la concentración de FDN (Van Soest, 1994). Un alto contenido de FDN dificulta la compactación del material al llenar el silo. Allen y Oba (1996) observó que en maíz, los valores de FDN, FDA y lignina declinaron por 11, 13 y 6%, respectivamente, y la digestibilidad de la fibra decreció en un 10% al incrementarse el contenido de MS entre 30 y 41%. Los cambios en FDN y FDA con la edad de madurez son mas consistentes, mientras el efecto sobre la PB varía entre diferentes híbridos.

En estudios realizados por Allen y Oba (1996) encontraron que el contenido de almidón en el grano aumentó con la edad de madurez disminuyendo el contenido de azúcares. Todos estos cambios en la composición química del maíz debido a la edad de madurez, podrían afectar las características fermentativas del mismo, al momento de ensilar.

## **Criterios para determinar el estado de madurez**

Las plantas de maíz ofrecen signos visibles de madurez y cosecharlas en el momento óptimo puede ser la diferencia entre un ensilaje de alta o baja calidad. Un estado óptimo de madurez asegura un contenido adecuado de azúcares para ser utilizado por las bacterias durante la fermentación, logrando así una buena preservación del ensilaje y reducción de pérdidas de nutrientes (Mahana, 1993). Un indicador muy utilizado para dicha determinación es la línea de leche del grano.

La línea de leche, es el límite entre el endospermo líquido y el endospermo sólido y se hace visible por la parte exterior de la semilla de maíz luego de ésta haberse dentado. A medida que madura, se vuelve pastosa, mientras que en su interior sigue siendo lechosa. Posteriormente, la línea de leche desaparece al alcanzar la semilla su peso seco final sin ningún endospermo lechoso. Según recomendaciones de la Universidad de Wisconsin y de Minnesota, los límites de humedad se hallan entre el 61 a 68%, lo que sitúa la etapa de la semilla entre 1/2 leche y pasado 1/4 de leche (Crookston y Kurle, 1987). El rendimiento máximo de la planta de maíz generalmente ocurre al alcanzar el estado de 1/2 a 1/4 de la línea de leche. En dicho estado se encuentran niveles óptimos de contenido de pared celular, porcentaje de grano, digestibilidad de la fibra, almidón y azúcares (Roth y Lauer, 1997).

## **Momento de cosecha**

El momento en que se cosecha el cultivo de maíz para ensilaje puede afectar la producción de forraje, la composición morfológica de la planta, el estado general de la planta y la calidad del forraje. Si bien extensamente se señala un momento óptimo de

corte que, según el criterio adoptado, puede ser madurez fisiológica, 35% de materia seca de la planta entera o 1/2 a 1/4 de leche, este varía según el híbrido y el ambiente.

Boschini y Elizondo (2004) evaluaron el efecto de seis fechas de corte (70, 84, 98, 112, 126 y 154 días) sobre el rendimiento de MS y composición química del híbrido de maíz 3002 W blanco (Pioneer) para ensilaje. Encontraron que los contenidos de PB fueron altos hasta los 84 días (>12% PB) y medios hasta los 112 días (>9% PB), con contenidos de MS inferiores a 15%. Los mayores rendimientos de MS se obtuvieron a los 126 días de crecimiento con 17.9 t/ha, y 20% de MS, 7.9% de PB, 76% de FDN y 4.8% de lignina.

Núñez et al. (2005) evaluaron cuatro híbridos y tres estados de madurez (grano masoso, grano en 1/4 de la línea de leche y grano en 1/3 de la línea de leche) con el objetivo de evaluar la interacción por estado de madurez y obtener información de cuándo cosechar para mejorar la producción y calidad del maíz forrajero. Encontraron que no hubo interacción híbridos por estado de madurez para producción de MS/ha, porcentaje de MS, contenido de FDN y digestibilidad *in vitro*. Las producciones de MS/ha fueron similares en los tres estados de madurez, pero la digestibilidad *in vitro* fue mayor a 1/4 y 1/3 de avance de la línea de leche ( $P < 0.05$ ). Los autores concluyeron que cosechar el grano de maíz a 1/4 de avance de la línea de leche permitió mayor digestibilidad *in vitro*, un porcentaje de MS adecuado para una buena fermentación.

Elizondo y Boschini (2003) compararon el valor nutricional y la MS de dos cultivares de maíz (híbrido y criollo) a igualdad de edad y estado fisiológico, sembrados a diferentes distancias entre plantas (50x70, 25x70, 16x70 y 8x70 cms). Se realizaron muestreos a los 119, 133 y 147 días de establecido. Encontraron que la calidad nutritiva

difirió significativamente ( $P < 0.05$ ) al variar la distancia entre plantas. La PB en la planta entera fluctuó entre 8.94 y 9.96%, el contenido de MS en el maíz híbrido y criollo fueron similares en igual estado fisiológico, obteniéndose valores de 15.76 y 12.05% respectivamente. El contenido de FDA y la celulosa en la planta entera, fueron inferiores en un 12% en el cultivar híbrido comparado con el criollo a igualdad de edad.

### **Leguminosas**

Las leguminosas constituyen una de las extensas familias del reino vegetal. Gutteridge y Shelton (1994), señalaron que son el tercer grupo de plantas con flor con más de 18,000 especies en 650 géneros. La mayoría de sus componentes pueden ser utilizados en forma directa, como base alimenticia al consumir frutos, semillas, hojas y flores, o bien en forma indirecta, aprovechando los múltiples usos que de ellas se obtienen. Además, Chongo y Galindo (1985), señalaron que una de las características principales de las leguminosas es su elevado contenido de PB, además de la presencia de carbohidratos, fibra, minerales (calcio, fósforo, hierro, potasio, etc.) y su contenido en vitaminas (complejo B, retinol).

### **Leguminosas forrajeras**

Las leguminosas se encuentran ampliamente distribuidas en todo el mundo y juegan un papel preponderante en la agricultura y en la fertilidad de los suelos. Se utilizan para consumo humano, como abono verde, cultivos de cobertura y como productores de forraje (Bernal, 1994). Su habilidad para fijar N del aire y su alto contenido de PB y minerales, las hacen indispensables en la mayor parte de las praderas. Las leguminosas

forrajeras son un componente importante en la dieta del animal en pastoreo. Su adaptación es muy amplia en lo que a clima y suelos se refiere, por lo tanto, es posible encontrar leguminosas forrajeras en casi todas las formaciones ecológicas existentes, ya sea en asociaciones con gramíneas, bancos de proteínas, o cultivos en franjas (Becerra, 1986).

### **Asociaciones de leguminosas**

La asociación de gramíneas con leguminosas representa una opción económica viable para mejorar la producción animal en las regiones tropicales (Sánchez, 1998; Hess y Lascano, 1997). La asociación de cultivos puede definirse como un sistema en el cual dos a más especies cultivadas se encuentran con suficiente proximidad en un espacio donde hay competencia por recursos como radiación solar, agua y nutrientes del suelo. Estas asociaciones se pueden realizar con leguminosas nativas que se encuentran en el pastizal o con especies introducidas (Sánchez, 1998). Esta interacción resulta en una mayor estabilidad del ecosistema ya que reduce la multiplicación de plagas, enfermedades y malezas (Fussel y Serafín, 1987; Sánchez, 1981; Haizel, 1974).

Los adelantos tecnológicos han causado impacto principalmente en la agricultura de monocultivo, por lo que las investigaciones han estado dirigidas y basadas en este sistema con más énfasis que en otros. Posiblemente, la justificación más frecuente citada para este énfasis, es que los cultivos asociados son difíciles de manejar en la agricultura desarrollada, particularmente cuando se trata de introducir maquinaria o control químico de malezas (Contreras et al., 1989). Sin embargo, la práctica de intercalar dos o más cultivos en el mismo campo aún persiste, principalmente en la agricultura de subsistencia

en los trópicos y subtropicos del mundo (García y Davis, 1985). Se ha demostrado a través de varios trabajos que la asociación de cultivos es una opción viable para los agricultores. El beneficio económico que proporcionan los cultivos intercalados en la mayoría de los casos es significativamente más alto que los que otorgan los monocultivos. Esto es importante para los pequeños productores que se enfrentan a una gran cantidad de factores adversos relacionados con la producción, dando como resultado una mayor estabilidad de producción en diferentes épocas del año y el mejor uso de los recursos disponibles. Otras ventajas del sistema son la utilización más eficiente del espacio, un cultivo usaría el área no cubierta por el otro, interceptara mayor radiación y disminuirá la disponibilidad de luz para el desarrollo de malezas (Anzules, 1986).

Una mayor eficiencia en la absorción de nutrientes ha sido considerada como la causa básica de los aumentos observados en los rendimientos en los cultivos asociados (Hall, 1974). En lo que respecta a la nutrición, las leguminosas tienen la capacidad de obtener de la atmósfera una considerable proporción del nitrógeno que requieren mediante la simbiosis con *Rhizobium*. Esta proporción dependerá de la especie hospedera, la cepa de *Rhizobium* e interacciones con el medio ambiente.

### **Asociaciones de leguminosas con maíz**

La asociación del maíz con leguminosas tropicales como método para incrementar la calidad nutricional del rastrojo y la producción forrajera por superficie, ha sido estudiada recientemente con resultados positivos. Sinclair et al. (1991), compararon el pastoreo de rastrojo de maíz solo y asociado con la leguminosa *Lablab purpureus*, encontrando un incremento en la producción de MS a favor de la asociación (5.7 t/ha

versus 3.4 t/ha). Similares resultados fueron encontrados por Espinoza y Pezo (1990) al asociar maíz con *Pueraria phasoloides*, *Centrosema plumieri*, *Centrosema pubescens* y *Lablab purpureus*. Además, concluyeron que las distintas asociaciones mejoraron el consumo y la calidad nutritiva del rastrojo al incrementarse significativamente su digestibilidad y su contenido de PB.

### ***Mucuna pruriens* (Mucuna vine 90-días)**

Esta especie se comporta y desarrolla satisfactoriamente bajo condiciones desde el nivel del mar hasta los 1600 metros sobre el nivel del mar (m s. n. m); entre los 20 a 28 °C. Se adapta bien a una gran diversidad de suelos y climas. Se desarrolla con mayor éxito bajo condiciones de suelo bien drenado y fértil y no tolera sequías prolongadas (Bernal, 1994). Crece más o menos bien en suelos pesados y compite satisfactoriamente con las malezas. En suelos pobres, rojos y orgánicos cuyo pH es inferior a 5.5 crece muy lentamente y las hojas se tornan de color amarillento. La mucuna se utiliza como abono verde, cultivo de cobertura, de rotación de cultivos y también como forraje suplementario (Bernal, 1994). En este caso puede usarse en combinación con gramíneas. Se puede ensilar en mezcla con maíz, sorgo (*Sorghum bicolor. L*) y pasto elefante (*Pennisetum purpureum. Schum*) principalmente, para pastorear, henificar o ensilar.

Generalmente la siembra se hace en surcos a 90 cm de distancia entre hileras y utilizando alrededor de 20 a 40 kg/ha de semilla colocando una o dos semillas cada 10 o 15 cm. Yuncosa et al. (2006) evaluaron cinco especies de leguminosas (*Mucuna pruriens*, *Stizolobium aterrimum*, *Vigna unvellab*, *Vigna unguiculata* y *Crotalaria juncea*) para ser usadas como cobertura. Las variables estudiadas fueron: altura de dosel y grado cobertura



de las leguminosas, altura y cobertura de las malezas un mes después del corte, peso fresco y seco de las malezas. Encontraron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre los tratamientos para todas las variables estudiadas, siendo el frijol común (*Vigna unguiculata*) y la mucuna (*Mucuna pruriens*) los más protectores de suelo. La mucuna fue la cobertura que mejor impidió el crecimiento de malezas.

Muraoka et al. (2001) evaluaron la eficiencia de abonos verdes (*Crotalaria juncea* y *Mucuna aterrima*) y urea aplicados solo o juntamente como fuente de N para el cultivo de arroz. Ellos encontraron una fijación de 149 y 362 kg de N/ha al año para *C. juncea* y *M. aterrima*, respectivamente.

### **Importancia del N en las plantas**

El N en las plantas está asociado a funciones de síntesis proteica, participa en la actividad fotosintética y en la utilización de carbohidratos y además forma parte de la estructura de la molécula de clorofila (Havlin et al., 1999). Esto implica que el N está muy relacionado con el crecimiento, desarrollo y rendimiento que puede alcanzar un cultivo. Es parte de los aminoácidos de los cuales se forma la PB, la que contiene aproximadamente 16% de N (Monar, 1992; Altieri, 1983). La planta toma el N del suelo en forma de amonio ( $\text{NH}_4$ ) y mayormente en forma de nitrato ( $\text{NO}_3$ ). El N es uno de los nutrientes esenciales que más limitan el rendimiento de maíz. Su deficiencia provoca reducciones severas en el crecimiento del cultivo, básicamente por una menor tasa de crecimiento y expansión foliar que reducen la captación de la radiación activa.

El maíz es exigente en los principales nutrientes, especialmente N, P, Mg y S. El maíz absorbe N en forma de nitrato ( $\text{NO}_3$ ). Inicialmente la absorción del N por parte de

las plantas se realiza a un ritmo lento, pero cuando se aproxima el momento de floración, la absorción es más rápida. Las deficiencias de este elemento se observan con una clorosis marcada en las hojas más viejas de las plantas y que se encuentran ubicadas debajo de la mazorca principal, si la deficiencia es severa las mismas llegan a secarse prematuramente.

Los cereales en los trópicos extraen alrededor de 30kg/ha de N por cada 1000kg de grano (Aldrich, 1980). Esto está en equilibrio con la capacidad de la mayoría de los suelos tropicales de suministrar N a la planta. En niveles de rendimiento moderadamente altos (4 a 5 ton/ha), la extracción de N es del orden de 100 a 150 kg/ha. Aldrich (1980), indica que en muchos lugares del mundo la carencia de N limita el rendimiento de los cultivos, más que la ausencia de cualquier otro nutrimento en la planta. Además, concluyó que en los trópicos las formas solubles de N se afectan por las lluvias y el calor, perdiéndose por el drenaje y por volatilización.

### **Aplicación de estiércol o efluentes de vaquerías como fertilizante**

Uno de los usos más frecuentes y deseables del estiércol o efluentes de vaquerías es su aplicación como fertilizante. El uso de efluentes de vaquerías para fertilizar cultivos debe planificarse y se debe reducir a un mínimo el riesgo de afectar la calidad del agua y la salud pública. En ese sentido se debe considerar el equilibrio de nutrientes, y la frecuencia y métodos de aplicación (USDA, 1999; USEPA, 1999). El equilibrio de nutrientes busca el nivel requerido (ej. N y P) para cultivar el producto deseado, tomando en consideración los nutrientes presentes en el suelo con los agregados en el estiércol y los fertilizantes comerciales. Se debe evitar niveles que excedan la capacidad de

asimilación del suelo y los cultivos. El suelo, los efluentes y las plantas deben analizarse para determinar los nutrientes óptimos (USDA, 1999; USEPA, 1999).

Charlón y Taverna (1998) evaluaron el efecto de tres niveles de efluentes de vaquerías (0, 50 y 100kg/ha de N), sobre número de plantas, producción de materia verde y seca de maíz para ensilaje. Sus resultados demostraron que no hubo diferencias significativas sobre las variables evaluadas. Concluyeron que la falta de una clara diferencia entre tratamientos en la cantidad y evolución del N existente se debía explicar a través de la pérdida por volatilización que existe cuando el efluente se esparce en forma líquida sobre el suelo. Esta pérdida puede alcanzar hasta un 95% del total.

Hirzel et al. (2004) compararon el efecto de dosis de fertilización inorgánica (NPK) y fuente orgánica (estiércol de pollos parrilleros) sobre la producción de maíz para ensilaje y la fertilidad del suelo en dos localidades y encontraron una mayor producción de MS seca con la aplicación de fuente orgánica (30.8 y 20.11 t/ MS/ha). Estudios realizados por Fernández y Aguirre (2005) evaluaron el efecto de cuatro niveles de fertilizante (0, 50, 75 y 150 kg/ha de N) en maíz dulce sobre el rendimiento y la altura de las plantas y encontraron que no hubo diferencias entre los tratamientos, pero se evidenció una marcada tendencia numérica hacia el tratamiento de 150 Kg/ha de N.

### **Características y uso de las plantas modificadas genéticamente**

Durante los últimos 10 mil años los agricultores han mejorado el rendimiento y calidad de los cultivos a través de la selección de características fenotípicas. Desde principios del siglo 20 los programas de fitomejoramiento han desarrollado nuevas variedades de cultivos a través del cruzamiento de diferentes genotipos de la misma

especie y la selección en poblaciones segregantes. Una planta transgénica puede definirse como aquella planta cuyo genoma ha sido modificado mediante ingeniería genética, bien para introducir uno o varios genes de otra especie o para modificar la función de un gen propio. La ingeniería genética es una técnica promisorio para desarrollar plantas superiores mediante el uso de ADN recombinante. Esta técnica permite transferir fragmentos del material genético entre organismos no relacionados (Grasser y Fraley, 1992). La construcción de plantas transgénicas permite desarrollar nuevas variedades de cultivos con nuevas características de interés. Con las nuevas técnicas se han obtenido plantas resistentes a herbicidas e insectos, utilizando los mismos genes de los patógenos y por lo tanto más productivas (Gilbertson et al., 1990; Grumet, 1990).

La tecnología de obtención de plantas transgénicas incorpora dos ventajas fundamentales respecto de las técnicas convencionales de mejoramiento genético basadas en la hibridación. Primero, los genes (características) que se van a incorporar pueden ser de cualquier procedencia y no es necesario que se encuentren en plantas que pueden ser híbridadas entre sí. Segundo, en la planta transgénica se puede introducir un único gen nuevo con lo que se preservan en su descendencia el resto de los genes de la planta original. Podemos así modificar propiedades de las plantas de manera más amplia, precisa y rápida. Sin embargo, alterar significativamente la evolución de las especies puede tener consecuencias imprevisibles en un equilibrio ecológico, por otra parte ya muy dañado y de difícil solución. Las técnicas de ingeniería genética alteran todas las limitaciones que la propia naturaleza pone para la relación entre organismos de especies alejadas o no emparentadas. El desarrollo de estas ventajas competitivas por parte de los organismos transgénicos, como resistencia a herbicidas e insectos puede ocasionar la

invasión por parte de estas especies de hábitat que no le son propios y cuyo equilibrio se vería amenazado al desplazar otras especies o favorecer su extinción.

### **Maíz transgénico Roundup Ready®**

Mediante la utilización de técnicas de biotecnología, Monsanto® ha desarrollado híbridos de maíz con tolerancia al glifosato, ingrediente activo del herbicida Roundup®, mediante la producción de proteínas 5-enolpiruvilsikimato-3-fosfato sintasa (EPSPS), que confieren tolerancia natural al herbicida glifosato. Monsanto es una compañía de investigación envuelta con los cultivos de maíz, soya, sorgo y girasol, ahora operando como vivero de invierno (producción de semilla) para algunos estados de los Estados Unidos.

En sus fases iniciales de desarrollo (3-12 hojas), el maíz es muy sensible a la competencia con las malezas por luz, agua y nutrientes. El control de malezas en la agricultura convencional generalmente ocurre antes o poco después de germinar el cultivo para eliminar las malezas pequeñas. Para ello, es frecuente el uso de mezclas de herbicidas activos a través del suelo con otros de absorción foliar. Los cultivos tolerantes a herbicidas están siendo desarrollados desde 1980 respondiendo a la demanda de los agricultores, que buscan sistemas más sencillos, más eficientes y que permitan una agricultura más compatible con el medio ambiente. Las características de tolerancia a herbicidas permiten mayor flexibilidad en el control de malezas usando un menor número de materias activas. La adopción del maíz tolerante a herbicidas tiene potencial para reducir el uso de herbicidas en ciertas situaciones. Se ha citado una reducción de hasta el 30% en comparación con programas convencionales (Phipps y Park, 2002).

## CAPITULO 2

### **Efecto de la fertilización inorgánica versus orgánica y edad de corte sobre características agronómicas, composición química y fermentativa de maíz**

#### **Introducción**

En Latinoamérica y el Caribe, la principal fuente de alimentación de los rumiantes en los sistemas de producción de leche y animales de engorde, son praderas compuestas por pastos naturales de baja calidad [(bajo en nitrógeno (N) y digestibilidad] (Clavero et al., 1997). Estos factores crean la necesidad de sustituir estos forrajes de baja calidad por fuentes alternas forrajeras y/o suplementar las dietas de los rumiantes con fuentes de energía y proteína para satisfacer sus requerimientos nutricionales y así mejorar la producción de leche y carne

En Puerto Rico, la industria lechera carece de forrajes de alto valor nutritivo y de fácil manejo bajo pastoreo, particularmente por la limitación de terreno (Valencia et al., 2005). Los sistemas de producción de leche se basan en alimentación con heno de gramíneas tropicales (ej. pasto pajón; *Dichanthium annulatum*) y otras. Aunque la conservación de heno en Puerto Rico es una tecnología conocida, su producción se dificulta en las épocas lluviosas pues no permite un secado eficaz y confiable. Una técnica popular en América del Norte es la preservación de maíz (*Zea mays* L.) por fermentación (ensilaje). Sin embargo, hay poca información en Puerto Rico en relación al ensilaje de maíz, particularmente las necesidades de fertilización, edad de la planta al corte y características agronómicas y su subsiguiente efecto sobre la composición química, características fermentativas y estabilidad aeróbica.

El uso del ensilaje en la industria ganadera ha aumentado especialmente el ensilaje de maíz, tanto en dietas para ganado de carne como de leche. El elevado contenido en almidón de su grano hace que tenga un contenido energético mas alto que el heno, por lo tanto, es un cultivo ideal para ensilar (Mooi, 1991). La producción del ensilaje, sin embargo, depende de un buen manejo agronómico, donde la aplicación de fertilizante y agroquímicos se consideran los mayores rubros. Además de la fertilización, otros factores que pueden ocasionar que los rendimientos de MS/ha y calidad nutricional sean bajos, es la cosecha del maíz forrajero en estado temprano de madurez (lechoso), densidad de siembra y la competencia con las malezas. En la actualidad existen híbridos tolerantes a herbicidas [(ej. Roundup Ready<sup>®</sup> Dekalb (DKC 67-60)] que permiten mayor flexibilidad en el control de malezas y por ende una mejor producción de ensilaje (Valencia et al., 2005).

Diversos investigadores señalan que un incremento en la fertilización nitrogenada produce una mayor producción de MS, aumentando además la concentración de PB (Carlone y Russell, 1987; Bundy y Carter, 1988; Muchow y Sinclair, 1994; Sinclair y Muchow, 1995). Actualmente, existe gran interés en el uso de materiales orgánicos (ej. efluentes de vaquerías o asociación de leguminosas anuales) para mejorar el suelo o aumentar la concentración de la proteína en el ensilaje de maíz (Valencia et al., 2006; Contreras-Govea et al., 2006).

Los objetivos del presente estudio fue el determinar el rendimiento de MS, composición química, características fermentativas y estabilidad aeróbica del ensilaje resultante de un maíz transgénico Dekalb (DKC 67-60) bajo cuatro sistemas de manejo de N y tres edades de corte. La determinación del rendimiento de MS incluye hojas, tallos

y mazorcas. Para la evaluación del valor nutritivo se determinará la concentración de PB y FDN del material antes de ensilarse. Los cuatro sistemas de manejo de N a evaluarse incluye fertilización comercial con 185 kg/ha de N, una asociación maíz y mucuna y dos niveles de efluente de vaquerías (56 y 112 kg/ha de N). Las edades de corte a evaluar son 70, 77 y 84 días después de siembra.

## **Materiales y Métodos**

### **Localización del experimento**

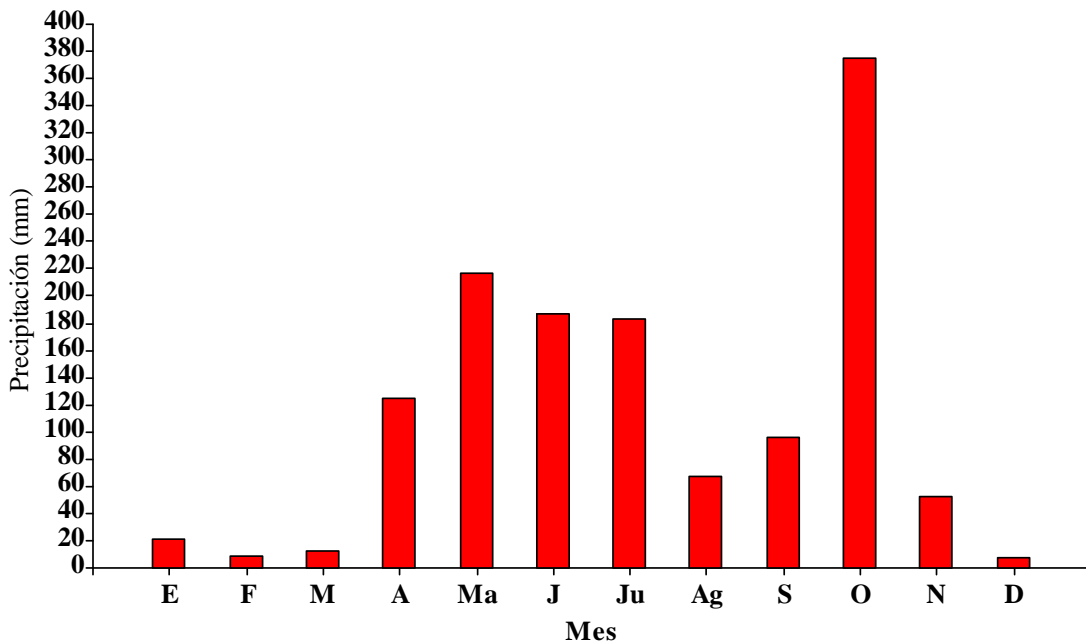
La investigación se llevó a cabo en la Estación Experimental de Lajas, Universidad de Puerto Rico. La Estación esta ubicada a 18° latitud norte y 67° longitud oeste a 30 metros sobre el nivel del mar. El suelo predominante pertenece a la serie San Antón (Fino-lómico, mixto, isohipertérmico Cumulic Haptustolls) (Beinroth et al., 2003). La temperatura media anual fluctúa desde 16 °C a 32 °C, con precipitaciones promedio anual de 1067- mm. Existe un período seco entre los meses de enero a marzo y un período lluvioso entre los meses de agosto a noviembre. En este estudio agronómico se compararon cuatro sistemas de manejo de N para el maíz DKC 67-60 [FC, dos tasas de efluentes de vaquerías (EFV<sup>1</sup> y EFV<sup>2</sup>) y MM] y tres edades de madurez (70, 77 y 84 DDS).

### **Preparación de terreno y siembra**

La preparación del terreno consistió de dos cortes de arado a una profundidad de 30-cm y dos rastrillados, a fin de lograr un suelo bastante fino y mullido que permitiera el crecimiento uniforme y sin restricciones de la planta. Previo a la instalación del experimento, se realizó un análisis de suelo para determinar el pH, el porcentaje de



materia orgánica y las concentraciones de fósforo, potasio, calcio y magnesio. Se tomó una muestra de suelo a 15-cm de profundidad, la cual fue analizada en el laboratorio de suelos del Departamento de Agronomía y Suelos del Recinto Universitario de Mayagüez. El análisis químico promedio en las parcelas experimentales, indicaron un pH básico (7.4) con contenido moderado de materia orgánica (2.5%) y calcio (35.32 cmol/kg), y un alto contenido de fósforo (16 ppm), potasio (0.17 cmol/kg) y magnesio (17.47 cmol/kg). Se tomaron datos mensuales de precipitación pluvial (Figura 1).



**Figura 1. Promedio mensual de precipitación pluvial durante el año 2005 (EEA, Lajas).**

Se utilizó el maíz DKC67-60 con tolerancia a Glifosato. La siembra se realizó el 11 de mayo de 2005 de forma mecanizada con una distancia entre hileras de 76-cm y 10-cm entre plantas. Se realizó una aplicación de el herbicida postmergente Roundup® [N-(phosphonomethyl) glycine] a razón de 1.44 litros ia/ha, cuando la planta de maíz alcanzo una altura de 30-cm para el control de hierba Johnson [*Sorghum halepense* (L)]. Para el

control de insectos se realizaron dos controles químicos en las épocas de más incidencia de las mismas, utilizando los insecticidas Dipel (*Bacillus thuringiensis*) variedad kurstaki y Lannate Pw (S-methyl-N-[(methylcarbamoil) oxy] thioacetimidate) a razón de 3.0 litros/ha y 0.27 kg ia/ha respectivamente, aplicados con bombas de presión, para el control de cogollero [*Spodoptera frugiperda* (Smith)].

El establecimiento de la mucuna cultivar vine 90-d se realizó de forma manual cuando el maíz tenía 21 días de establecido, colocando una semilla entre las hileras de maíz a 20-cm entre plantas. La FC y aplicación de efluentes se realizó en bandas a las cuatro semanas después de sembrado el maíz. Se utilizó la formula compuesta 15-5-10 (N-P-K) como fuente de N para la FC.

### **Muestreo de charca de oxidación**

Para determinar la cantidad de nutrientes en los efluentes de vaquerías se realizó un muestreo de la charca de oxidación para cuantificar el N disponible. Se tomaron de 15 a 20 submuestras de forma aleatoria alrededor de la charca. El material se agitó previamente por espacio de una hora con un tractor para mantener los sólidos en suspensión. Las submuestras fueron combinadas en un cubo para obtener una muestra compuesta y se colocaron en una bandeja y se secaron al aire a temperatura ambiente. De estas muestras se determinó el porcentaje de N por el método de Kjeldahl (AOAC, 1990) (el promedio de N fue 1.5%), el cual se utilizo para calcular la cantidad total de efluentes a aplicar.

### **Muestreo y diseño experimental**

Se realizó un muestreo de germinación en dos sitios al azar en cada una de las parcelas (1.52 m<sup>2</sup>), a los 5 y 14 días después de la siembra. En dos sitios al azar se tomaron altura de cuatro plantas de maíz por replica a los 28 y 42 días luego de la siembra, respectivamente.

Como área de muestreo se cosecharon los tres surcos centrales que fueron aleatorizados al momento de cada corte. Se cosecharon 10-m lineales (7.60 m<sup>2</sup>) por tratamiento a una altura de 5-cm sobre el nivel del suelo. Las plantas cosechadas fueron pesadas para estimar la producción de biomasa verde por hectárea. Se seleccionaron al azar un total de seis plantas, tres de las cuales fueron separadas en hojas, tallos, mazorcas para determinar materia seca para cada tejido y tres se utilizaron para determinar materia seca de la planta entera. Las muestras señaladas anteriormente correspondiente a cada tratamiento fueron secadas en un horno de aire forzado (65° C/72 h), posteriormente fueron molidas en un molino Wiley y filtradas a través de un cedazo de 1-mm de porosidad. El porcentaje de N se determinó por el método micro-Kjeldhal (utilizando el analizador de nitrógeno *Kjeltec system 1002*). La concentración de proteína bruta se calculó utilizando el porcentaje de N en la siguiente formula  $PB=N* 6.25$ . La fibra detergente neutro (FDN) se determinó utilizando el *Fiber Analyzer Ankon 200*, descrito por la técnica de Van Soest et al. (1991). La PB y FDN se analizaron únicamente para plantas enteras y fueron analizadas en las facilidades del Laboratorio de Nutrición Animal de la Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez.

El diseño experimental utilizado fue uno completamente aleatorizado (DCA) con arreglo en parcelas divididas con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones para un total de 16 parcelas experimentales. Cada parcela consistió de 40 metros cuadrados (4 x 10-m)

con cinco hileras de maíz. Las parcelas completas correspondieron a cuatro sistemas de manejo de nutrientes FC, EFV<sup>1</sup>, EFV<sup>2</sup> y MM y las subparcelas correspondieron a las tres edades de corte 70, 77 y 84 DDS.

### **Análisis estadístico**

Los datos se analizaron utilizando el programa estadístico (SAS, 1990). La interacción tratamiento por corte fue incluida en el modelo, pero esta no fue significativa por lo que la discusión se basa en los efectos principales (sistemas de manejo de N y edad de corte). Se utilizó la prueba de contrastes para la comparación de medias de los cuatro sistemas de manejo de N [FC (control) versus MM, EFV<sup>1</sup> y EFV<sup>2</sup>; MM versus EFV<sup>1</sup> y EFV<sup>2</sup> y EFV<sup>1</sup> versus EFV<sup>2</sup>]. Para la separación de medias por corte se utilizó la prueba LSD (P=0.05). Los datos se analizaron mediante el siguiente modelo lineal:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \delta_{k(i)} + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

**Y<sub>ijk</sub>**= Variable dependientes de vigor (% germinación, altura de plantas), rendimiento de materia seca

**μ**= media general estimada

**α<sub>i</sub>**= efecto del tratamiento del factor A [(FC (185 Kg/ha de N de 15-5-10), MM y dos tasas de efluentes de vaquerías ((EFV<sup>1</sup> y EFV<sup>2</sup>)).

**δ<sub>k(i)</sub>**= error de la parcela completa.

**β<sub>j</sub>**= efecto del tratamiento del factor B (edad de corte 70, 77 y 84 DDS)

$\alpha\beta_i$ = efecto de la interacción del factor A y del factor B (niveles de fertilización por la edad de corte)

$\epsilon_{ijk}$ = error de la subparcela.

### **Proceso de ensilaje**

El maíz se cosechó a tres edades de madurez (70, 77 y 84 DDS). El forraje cosechado fue picado a 2-cm con un picador mecánico (Craftman) y ensilado en microsilos preparados en el laboratorio construidos con tubería PVC y con capacidad de 1.8 kg. Los microsilos estaban provistos de una válvula en su parte superior para el escape de gases y se almacenaron a temperatura ambiente (26-29°C) hasta ser abiertos a los 45 días. Se tomaron muestras de 500 gramos del material homogenizado en bolsas plásticas con capacidad de 1 kg y conservadas en termos que con hielo para evitar la fermentación. Una vez llevadas al laboratorio de Nutrición Animal se analizaron para contenido de MS (65 °C/72 horas) pH, ácidos orgánicos, PB y FDN por edad de corte.

Se abrieron muestras cuadruplicadas de cada tratamiento después de 45 días de fermentación y el ensilaje resultante se evaluó para determinar pH, MS, estabilidad aeróbica y ácidos orgánicos. Para la determinación del pH, se mezclaron 50 g de ensilaje de cada tratamiento correspondiente a cada día de fermentación con 450 ml de agua deionizada (pH 7.0) que se homogenizaron en bolsas esterilizadas (Stomacher 3500) por espacio de dos minutos para ser filtradas a través de gasa esterilizada. El extracto se utilizó para medir el pH con un metro de pH con electrodo de combinación (Beckman Model 510 pH Meter)

Los ácidos orgánicos (acético, propiónico, butírico y láctico) del material antes de ensilarse y después de 45 días de fermentación fueron analizados en un laboratorio comercial (*Dairy one Forage Lab*, Ithaca, New York), utilizando los extractos de la solución homogenizada centrifugadas a 2500 revoluciones por minuto, por 15 minutos.

Los datos referentes al ensilaje de maíz se analizaron mediante análisis de varianza para un diseño completamente aleatorizado, con un arreglo factorial de tratamientos, cuatro sistemas (FC, EFV<sup>1</sup>, EFV<sup>2</sup> y MM); y tres cortes, (70, 77 y 84 DDS); y dos largos de fermentación, (0 y 45 días) y 4 repeticiones, utilizando el procedimiento de modelo lineal en SAS (1990). Para la separación de medias, se utilizó la prueba de Bonferroni. El modelo para las características fermentativas fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + C_j + L_k + T_x C_{ij} + T_x L_{ik} + C_x L_{jk} + T_x C_x L_{ijk} + E_{ijkl}$$

**Y**=variable individual medida (ej. pH)

**μ**= media general estimada

**T<sub>i</sub>**= efecto de tratamiento

**C<sub>j</sub>**= efecto de la edad de corte

**L<sub>k</sub>**= efecto del largo de fermentación (45 días)

**T<sub>x</sub>C<sub>ij</sub>**= interacción entre tratamiento por edad de corte

**T<sub>x</sub>L<sub>ik</sub>**= interacción entre tratamiento por largo de fermentación

**C<sub>x</sub>L<sub>jk</sub>**= interacción entre edad de corte y largo de fermentación

**T<sub>x</sub>C<sub>x</sub>L<sub>ijk</sub>**= interacción entre tratamiento por corte por largo de fermentación

**E<sub>ijkl</sub>**= error experimental.

Para la estabilidad aeróbica se obtuvieron muestras de 800 g de ensilaje de cada tratamiento por edad de corte y se dejaron expuestas al medio ambiente por un período de

5 días en bolsas plásticas colocadas en envases de isopropileno. Las muestras de cada tratamiento se analizaron 0, 1, 3 y 5 días de exposición aeróbica para determinar pH y MS por los métodos descritos anteriormente. Además, a cada muestra se le colocó un termómetro en el medio de la masa del ensilaje y se tomaron lecturas de temperaturas cada 6 horas durante las primeras 24 horas de exposición aeróbica y cada 12 horas del tercer hasta el quinto día. Se calculó el porcentaje de MSR después del 0, 1, 3 y 5 días de exposición aeróbica utilizando el peso inicial y peso final del ensilaje expuesto a condiciones aeróbicas corregido por el contenido de materia seca ( $65^{\circ}\text{C}/72$  horas).

Los datos se analizaron mediante análisis de varianza para un diseño completamente aleatorizado con 4 tratamientos y 4 repeticiones, con un arreglo factorial de tratamientos, (FC, EFV<sup>1</sup>, EFV<sup>2</sup>; y MM); tres edades de corte, (70, 77 y 84 DDS); y cuatro días de exposición aeróbica (0, 1, 3 y 5 días), utilizando el procedimiento de modelo lineal en SAS (1990). Para la separación de medias, se utilizó la prueba de Bonferroni. La estabilidad aeróbica se analizó con el modelo descrito anteriormente.

## **Resultados y Discusión**

### **Densidad y altura de maíz híbrido DKC-6760.**

Las precipitaciones totales registradas de mayo a julio del 2005 fueron de 587 mm, presentando una buena distribución a través del ciclo del cultivo. Durante este período el maíz no presentó síntomas de estrés visible.

A los 5 y 14 días no se encontró diferencias significativas ( $P>0.05$ ) entre los cuatro sistemas de N para densidad poblacional. La densidad poblacional promedio fue de 118, 165 y 116, 210 plantas/ha, respectivamente. Sin embargo, se encontró diferencias ( $P<0.05$ ) para altura de plantas entre los cuatro sistemas de manejo de N a los 28 días, pero no se encontró diferencias a los 42 días (Cuadro 1). La altura del maíz fue mayor en promedio 10 cm, cuando se comparó la FC con los tratamientos MM, EFV<sup>1</sup> y EFV<sup>2</sup>, pero no hubo diferencias entre MM, EFV<sup>1</sup> y EFV<sup>2</sup>.

Las diferencias encontradas en altura de plantas para la primera evaluación entre los sistemas de manejo de N, puede deberse a que el N estuvo más disponible en la FC, asegurando una mejor absorción por parte de la planta. Está documentado que el incremento en la disponibilidad de N aumenta el crecimiento y vigor de la planta, mientras que la deficiencia resulta en plantas pequeñas (Below, 2004).

### **Rendimiento de los componentes de maíz híbrido DKC 67-60 (hojas, tallos y mazorcas) y rendimiento total.**

No se observaron interacciones entre los sistemas de N y edad de corte para producción de MS, porcentaje de PB y de FDN. Por lo tanto, las comparaciones de medias y discusión se basan para los efectos principales (sistemas de manejo de N y edad



de corte). El cuadro 2 muestra el efecto de cuatro sistemas de manejo de N sobre el rendimiento de MS/ha de los componentes de la planta (hojas tallos, mazorca) y rendimiento total. Para los cuatro sistemas de manejo de N, el rendimiento de MS/ha de hojas presentó diferencias significativas ( $P < 0.05$ ). Sin embargo, no se encontró efecto ( $P > 0.05$ ) sobre el rendimiento de MS de tallos y mazorcas. La FC superó en 0.54 ton/ha en promedio a los tratamientos MM, EFV<sup>1</sup> y EFV<sup>2</sup>.

Estos resultados indican que la FC tuvo un efecto positivo en el incremento del área foliar. Esta característica le permitió ser más eficiente en la absorción de N y agua, lo cual se manifestó en una mayor acumulación de MS de las hojas. Está documentado que la deficiencia de N afecta la captación solar, en consecuencia la fotosíntesis afectando la acumulación de MS (Below, 2004).

Para rendimiento total de MS/ha se encontró diferencias significativas entre los cuatro sistemas de manejo de N ( $P < 0.05$ ). Se encontró diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) al comparar la FC versus MM, EFV<sup>1</sup> y EFV<sup>2</sup>. Entre las fuentes orgánicas no se encontró diferencias significativas ( $P > 0.05$ ). La FC superó por sobre 1 t/ha de MS a los otros tratamientos (Cuadro 2). Cabe mencionar que la leguminosa mucuna no tuvo ningún efecto sobre el rendimiento de MS. Este comportamiento se atribuye a que la fecha de establecimiento de la mucuna cultivar vine 90-d no fue la adecuada (21 días después de la fecha de siembra del maíz). Asociado a esto la mucuna cultivar vine 90 no tolera suelos mal drenados por lo que presentó poco crecimiento y las plantas que lograron crecer fueron afectadas por plagas, debido a que esta leguminosa es bien apetecible por los insectos.

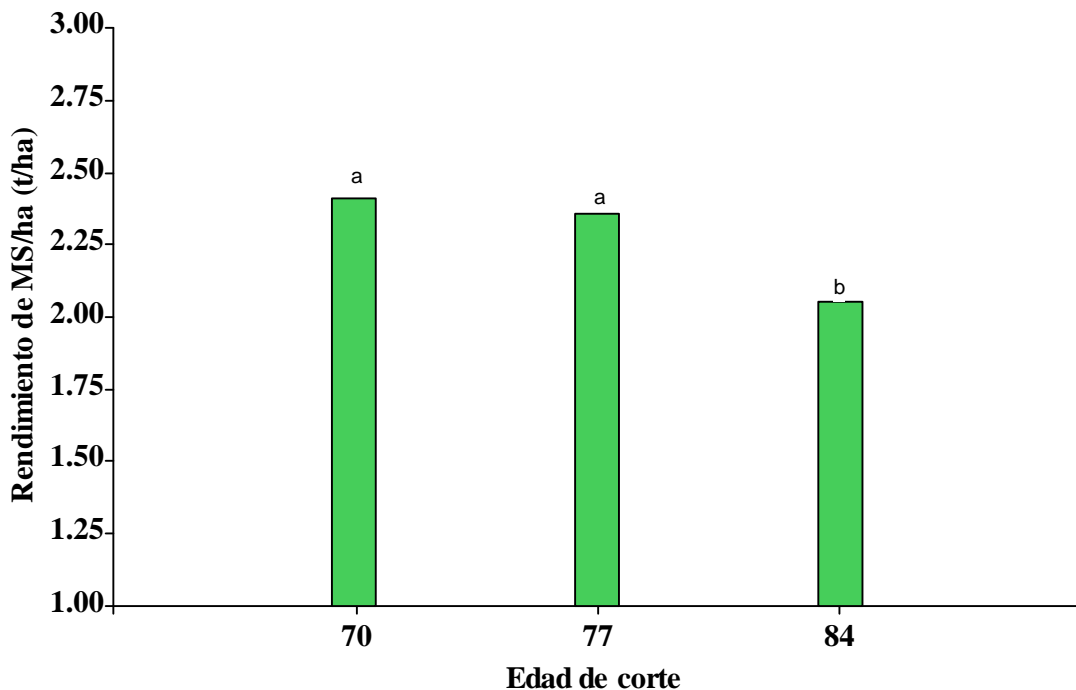
Estos resultados son inferiores a los encontrados por Hirzel et al. (2004), al evaluar fertilización inorgánica (NPK) y fuente orgánica (estiércol de pollos parrilleros) sobre la producción de maíz para ensilaje. Encontraron que la producción de MS fue similar para la fuente orgánica (20.11 t/ha) en comparación con la inorgánica (19.25 t/ha). Wing et al. (2005), sin embargo, reportó mayores rendimientos de MS en sorgo forrajero con fertilización inorgánica. En otros trabajos relacionados, Charlón y Taverna (1998) no encontraron diferencias entre tasas de efluentes (0, 50 y 100 kg de N/ha) sobre producción de MS de maíz para ensilaje. El rendimiento promedio para los tratamientos fue de 14 t/ha.

En base a estos resultados podemos inferir que posiblemente la disponibilidad de N con base en la FC tuvo un efecto positivo sobre todos los componentes de la planta de maíz que intervienen en el rendimiento de MS. También estas tendencias crecientes en rendimiento de MS total fueron reportadas por Soto et al. (2002), quienes observaron un aumento en la producción de forraje de maíz a medida que se aumenta la disponibilidad de N. Está documentado que el N desempeña varios roles importantes en la planta de maíz que finalmente se expresan en el incremento en el rendimiento de MS (Below, 2004).

Entre las edades de corte se encontró diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) para rendimiento de MS/ha de hojas (Figura 2), pero no hubo diferencias para tallos y mazorcas. El mayor rendimiento de MS para hojas se obtuvo cuando el maíz se cosechó a los 70 DDS (2.41 t/ha), se observó una disminución de un 15% a los 84 DDS (2.05 t/ha). Estos resultados difieren a lo encontrado por Boschini y Elizondo (2004) al evaluar dos fechas de corte (70 y 84 DDS) sobre el rendimiento de MS/ha en maíz híbrido para

ensilaje. Reportaron rendimientos similares de MS de hojas a los 70 DDS (2.45 t/ha), aumentando en 67% a los 84 DDS (4.01 t/ha). El rendimiento de MS/ha de tallos de maíz cosechado a los 70, 77 y 84 DDS fue de 4.19, 4.45 y 4.39 t/ha. El rendimiento de MS/ha de mazorcas de maíz cosechado a los 70 DDS fue de 3.01 t/ha y 3.43 t/ha a los 77 y 84 DDS. Entre las edades de corte no se observó diferencias ( $P>0.05$ ) en rendimiento de MS total. El rendimiento promedio total de MS de maíz cosechado a los 70, 77 y 84 DDS fue de 9.60, 10.26 y 9.74 t/ha, respectivamente.

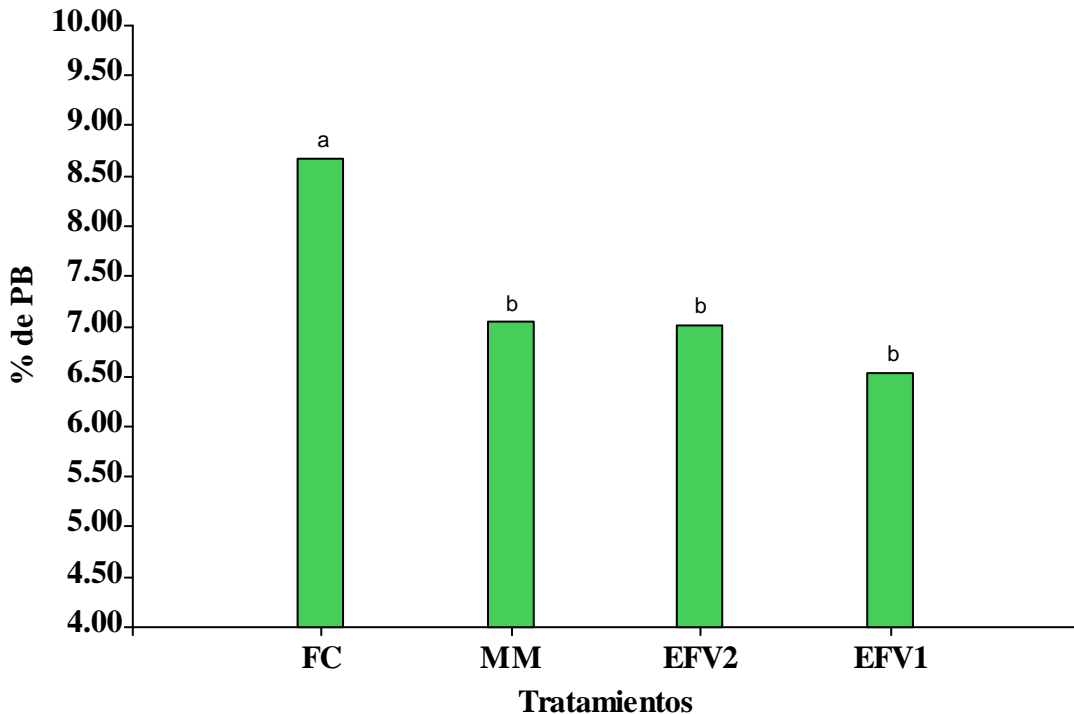
En base a los resultados encontrados podemos inferir, que a medida que avanza el estado de madurez del cultivo de maíz híbrido, el rendimiento de hojas disminuye, debido a una disminución en la relación hoja-tallo. Además, los rendimientos disminuyen por una reducción en el contenido de humedad de las hojas.



**Figura 2. Efecto de la edad de corte sobre el rendimiento de MS de hojas del maíz híbrido DKC-6760.**

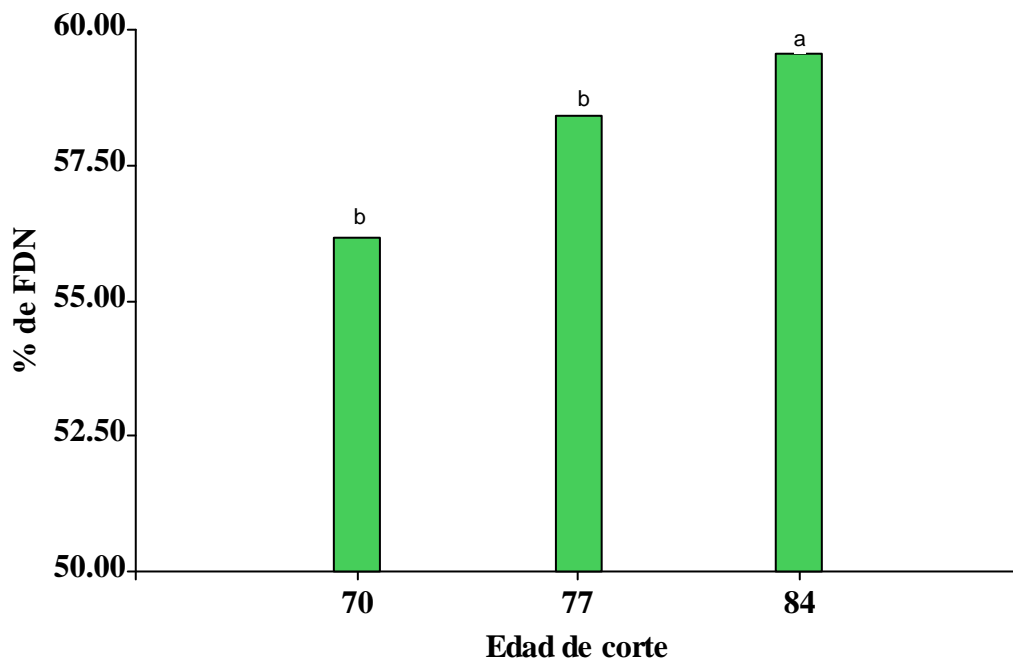
### Composición química del maíz híbrido DKC-6760.

Se encontró diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre los cuatro sistemas de manejo de N en la concentración de PB (Figura 3). La PB con FC (8.67 %) superó en 2 unidades a los tratamientos MM, EFV<sup>1</sup> y EFV<sup>2</sup>. Esta respuesta fue similar a lo encontrado por Soto et al. (2004) en la cual reportaron 2.4 unidades de diferencia en PB al aumentar la fertilización con base inorgánica de 0 a 400 kg de N/ha. También coinciden con lo reportado por (Wing et al., 2005 y Soto et al., 2002) quienes observaron un aumento en la concentración de PB en el forraje de maíz a medida que se aumenta la FC. Estos resultados indican que la concentración de PB en maíz para ensilaje se incrementa con la disponibilidad de N con base en la FC. Esta documentado que el N juega un papel importante en numerosos compuestos esenciales en la planta, pero la mayoría (>90%) está presente en las proteínas (Below, 2004)



**Figura 3. Efecto de cuatro sistemas de manejo de N sobre el % de PB en el material antes de ensilarse del maíz híbrido DKC 67-60.**

La edad de corte no afectó ( $P>0.05$ ) la concentración de PB ( $P>0.05$ ). Las concentraciones promedio de PB fue de 7.27, 7.66, 7.01%, a los 70, 77, 84 DDS, respectivamente. Los cuatro sistemas de manejo de N no afectaron ( $P>0.05$ ) la concentración de FDN (promedio de 56%). Sin embargo, la concentración de FDN fue afectada ( $P<0.05$ ) por la edad de corte (Figura 4). Resultados similares han sido reportados por Arias (1998) con maíz tropical. Reportó que la concentración de FDN aumentó con la edad de corte. En trabajos relacionados, Valencia et al. (2005) reportaron valores de 57% para maíz DKC67-60 al cosecharse a los 90 DDS. Estos resultados sugieren que la concentración de FDN va asociado al crecimiento del forraje, por lo tanto se incrementa a medida que aumenta la edad, provocando una disminución en el valor nutritivo de la planta. Está documentado que la FDN aumenta con la edad de las gramíneas (Van Soest et al., 1994).



**Figura 4. Efecto de la edad de corte sobre el % de FDN del maíz híbrido DKC 67-60**

### **Características fermentativas del maíz híbrido DKC 6760**

Los cuatro sistemas de N afectaron ( $P < 0.05$ ) el pH y ácido butírico, pero no afectaron el contenido de ácido láctico y acético (Cuadro 3). El pH decreció a medida que se incremento la disponibilidad de N con base en la fertilización inorgánica e orgánica. El pH mayor (4.29) se observó con el tratamiento MM y EFV<sup>2</sup>, y el pH menor (3.99) con la FC 185 kg de N/ha. El rango de pH observado coincide con lo recomendado (4.2) para definir un ensilaje como estable y de buena calidad (Armstrong et al., 2005). Estos resultados sugieren que al incrementarse la PB por efecto del N, se incrementa la cantidad de sustratos para los microorganismos productores de ácido láctico responsables de la disminución del pH.

El mayor contenido de ácido butírico se encontró con la FC (0.38) y la menor con el tratamiento MM (0.08). Es posible relacionar estos resultados con la producción de proteasas en la primera fase de ensilado, induciendo a una mayor proteolisis de la PB y por consiguiente al incremento del ácido butírico. Está documentado que la proteolisis de la PB ocurre durante los primeros días de ensilado (Ohshima y Mcdonald, 1978).

La edad de corte afectó significativamente ( $P < 0.05$ ) el pH y los ácidos orgánicos (Cuadro 3). El pH mayor se encontró en el maíz ensilado a los 84 DDS (4.51) decreciendo en 0.54 unidades en relación al maíz ensilado a los 70 DDS (3.97). Estos resultados son similares a los encontrados por (Arias, 1998) al evaluar 3 edades de corte (70, 84 y 90 DDS) en maíz tropical. Encontró que el mayor pH se obtuvo en el maíz ensilado a los 90 DDS (4.68) decreciendo en 0.19 unidades en el maíz ensilado a los 70 DDS (4.49). Como podemos observar en el cuadro 3 que el pH menor se asoció con una mayor concentración de ácido láctico. En relación al contenido de ácido láctico, la mayor concentración se encontró en el maíz ensilado a los 70 DDS (1.97), decreciendo en 1.57

unidades en relación al maíz ensilado a los 84 DDS (0.40). Esto sugiere que al cosechar las plantas en etapas más tempranas hay una mayor concentración de ácidos orgánicos causantes de la disminución en el pH. Esto difiere de lo encontrado por Arias, (1998) que encontró la mayor concentración de ácido láctico en maíz ensilado a los 80 DDS.

En relación al contenido de ácido acético, se observó que fue mayor en el maíz ensilado a los 77 DDS (0.66) que en el ensilado a los 70 DDS (0.47) y a los 84 DDS (0.44). Estos resultados pueden atribuirse a que la concentración de carbohidratos solubles cambia a medida que la planta va madurando, ya que son utilizados para la formación de carbohidratos estructurales. Además, el contenido de ácido acético luego de 45 días de fermentación demuestra que el ensilaje resultante en este experimento sean altos en acetatos, lo que está en acuerdo con estudios previos que relacionan ensilajes tropicales con altos contenidos de ácido acético y bajos contenidos de ácido láctico (Arias, 1998).

Referente al ácido butírico, este se incrementó con la edad de corte, pasando de 0.04 a 0.43 de los 70 a los 84 DDS. Estos resultados pueden estar relacionados con la degradación del ácido láctico y otros ácidos orgánicos que inducen un incremento en el ácido butírico.

### **Estabilidad aeróbica del maíz híbrido DKC 67-60**

El pH, temperatura y la MSR se presentan en el Cuadro 4. No se observó diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) en pH, temperatura y porcentaje de materia seca recuperada (MSR) atribuibles a los cuatro sistemas de manejo de N. Se observó diferencias significativa ( $P < 0.05$ ) en pH atribuibles a la edad de corte y día de exposición

aeróbica. Se observó que el pH y la temperatura fueron mayores en el maíz cosechado a los 70 DDS que en el de 77 ó 84 DDS. El pH del ensilaje al día cero presentó un promedio de 4.17 incrementándose de forma lineal a 5.52 para el quinto día de exposición aeróbica. Se encontró diferencias significativas en temperatura atribuibles a la edad de corte y día de exposición aeróbica. También se encontró diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en la MSR favorable a la edad de 70 DDS.

Estos resultados pueden sugerir que el maíz DKC 67-60 ensilado en etapas tempranas (70 DDS) resultó en ensilajes mas inestables bajo condiciones aeróbicas que maíz ensilado a etapas intermedias (77 DDS) o tardías (84 DDS) de edad. Estos resultados están en concordancia con estudios conducidos en ambientes templados (Wardynsky, 1991) y tropicales (Rodríguez, 1996). En estos experimentos el aumento en días en exposición aeróbica resultó en un mayor deterioro del ensilaje. Esto se observa por el incremento en pH y temperatura y MSR según aumento el día de exposición aeróbica de los ensilajes. Además, estos resultados evidencian que la estabilidad del ensilaje depende de la especie, contenido de MS y duración de la fermentación del material ensilado (McDonald, 1981).

### **Conclusiones**

Los resultados de la presente investigación señalan que la FC tuvo un efecto mayor que las fuentes orgánicas en la producción de MS de hojas y rendimiento total. La composición química del maíz también se mejoró con la FC (PB aumentó sobre dos unidades con la FC en comparación con las fuentes orgánicas). La contribución de la mucuna Vine 90 días en rendimiento de MS y PB fue mínima debido a que la fecha de



intercalar (21 días después de establecido el maíz) no fue la adecuada. Los efluentes no mejoraron el rendimiento de MS y composición química, y esto se puede atribuir a que el N es liberado de forma lenta. Cosechas tempranas resultaron en mayor cantidad de hojas, y como era de esperarse menor FDN. La FC y orgánicas y las edades de corte resultaron en una buena fermentación, evidenciado por promedios de pH y ácido láctico que estuvieron entre los rangos de un buen ensilaje, pero estas no contribuyeron a una mejor estabilidad aeróbica del ensilaje. Para un rendimiento adecuado del maíz híbrido DKC67-60 para ensilar se recomienda 185 kg/ha de N con base en la fertilización inorgánica y una fecha óptima de corte entre los 70 y 77 DDS.

### **Implicaciones**

El presente trabajo aporta información sobre el efecto de la fertilización con N (fuentes inorgánicas y orgánicas) y edad de corte sobre las características agronómicas, composición química y la capacidad fermentativa del maíz DKC 67-60. Queda demostrado que la FC mejora los rendimientos de MS/ha y la composición química del forraje de maíz. Sin embargo, es necesario evaluar esta respuesta bajo otras condiciones ambientales a fin de obtener las mismas respuestas de las variables en estudio y poder hacer una recomendación con más exactitud. Además, estos resultados sugieren que las fuentes orgánicas representan una alternativa viable en la producción de maíz para ensilar, reduciendo los insumos externos utilizados en los sistemas de producción de leche. Esta es una meta que los productores de leche deben alcanzar para hacer más rentable el sistema. Sin embargo la fertilización orgánica es limitada por los altos volúmenes a aplicar.

**Cuadro 1. Efecto de cuatro sistemas de manejo de N sobre la altura de plantas del maíz híbrido DKC 67-60.**

Sistemas de manejo de N	Altura 28 días (cm)	Altura 42 días
FC	96.00	197.00
EFV <sup>1</sup>	84.00	198.00
EFV <sup>2</sup>	84.00	201.00
MM	90.00	197.00
Media general	88.00	198.00
Tratamiento	*	ns
Contrastes		
FC vs MM, EFV <sup>1</sup> y EFV <sup>2</sup>	*	ns
MM vs EFV <sup>1</sup> y EFV <sup>2</sup>	ns	ns
EFV <sup>1</sup> vs EFV <sup>2</sup>	ns	ns

**\*P= 0.05**

**ns=no significativo.**

**FC=Fertilización convencional (185 kg de N/ha).**

**EFV<sup>1</sup>= Efluentes de vaquerías (56 kg de N/ha).**

**EFV<sup>2</sup>= Efluentes de vaquerías (112 kg de N/ha).**

**MM= Maíz-Mucuna.**

**Cuadro 2. Efecto de cuatro sistemas de manejo de N sobre el rendimiento de MS/ha de los componentes de la planta y rendimiento total del maíz híbrido DKC 67-60.**

Sistemas de manejo de N	Hojas	Tallos	Mazorcas	Rendimiento Total
	t/ha			
FC	2.68	4.57	3.62	10.87
EFV <sup>1</sup>	2.32	4.24	3.24	9.80
EFV <sup>2</sup>	2.04	4.39	3.26	9.69
MM	2.05	3.99	3.05	9.09
Tratamientos	*	ns	ns	*
Contrastes				
FC vs MM, EFV <sup>1</sup> y EFV <sup>2</sup>	*	ns	ns	*
MM vs EFV <sup>1</sup> y EFV <sup>2</sup>	ns	ns	ns	ns
EFV <sup>1</sup> vs EFV <sup>2</sup>	ns	ns	ns	ns

\*(P= 0.05)

ns, no significativo.

FC=Fertilización convencional (185 kg de N/ha)

EFV<sup>1</sup>= Efluentes de vaquerías (56 kg de N/ha).

EFV<sup>2</sup>= Efluentes de vaquerías (112 kg de N/ha).

MM= Maíz - Mucuna

**Cuadro 3. Efecto de cuatro sistemas de manejo N, edad de corte y largo de fermentación sobre el pH y los productos de fermentación del ensilaje del maíz híbrido DKC 67-60.**

Característica	Largo de fermentación (días)	Tratamientos				Edad de corte (días)		
		FC	EFV <sup>1</sup>	EFV <sup>2</sup>	MM	70	77	84
pH	0	6.49a	6.52a	6.49a	6.51a	6.43b	6.34b	6.73a
	45	3.99b	4.20a	4.29a	4.29a	3.97b	4.10b	4.51a
<u>Productos de fermentación(g/100 gMS)</u>								
Acido láctico	0	0.01a	0.01a	0.01a	0.02a	0.00a	0.01a	0.01a
	45	1.01a	1.26a	1.24a	1.54a	1.97a	1.42b	0.40c
Acido acético	0	0.01a	0.02a	0.01a	0.03a	0.01a	0.03a	0.02a
	45	0.54a	0.61a	0.56a	0.39a	0.47ab	0.66a	0.44b
Acido butírico	0	0.00a	0.00a	0.00a	0.00a	0.00a	0.00a	0.00a
	45	0.38a	0.12bc	0.24ab	0.08bc	0.04b	0.14b	0.43a

**Medias en la misma fila dentro de subtítulos con distintas letras difieren significativamente (P<0.05).**

**FC= Fertilización convencional (185 kg de N/ha).**

**EFV<sup>1</sup>= Efluentes de vaquerías (56 kg de N/ha).**

**EFV<sup>2</sup>= Efluentes de vaquerías (112 kg de N/ha).**

**MM= Maíz-Mucuna**

**Cuadro 4. Efecto de cuatro sistemas de manejo de N, edad de corte, largo de fermentación y días de exposición aeróbica sobre la estabilidad aeróbica del ensilaje del maíz híbrido DKC 67-60 al aire durante 4 días.**

Característica	Sistema de manejo de N				Edad de corte (días)			Largo de exposición aeróbica			
	FC	EFV <sup>1</sup>	EFV <sup>2</sup>	MM	70	77	84	0	1	3	5
pH	4.59a	4.73a	4.66a	4.68a	4.82a	4.63ab	4.55b	4.15c	4.17c	4.82b	5.52a
Temperatura	29.31a	29.65a	29.25a	29.33a	31.65a	28.79b	27.72c	26.20c	30.46a	30.48a	27.54b
MSR	87.04a	87.10a	87.10a	87.02a	88.12a	87.17b	85.90c	100a	87.21b	83.38c	77.68d

**Medias en la misma fila dentro de subtítulos con distintas letras difieren significativamente (P<0.05).**

**FC=Fertilización convencional (185 kg de N/ha).**

**EFV<sup>1</sup>= Efluentes de vaquerías (56 kg de N/ha).**

**EFV<sup>2</sup>= Efluentes de vaquerías (112 kg de N/ha).**

**MM= Maíz-Mucuna**

## CAPITULO 3

### **Efecto de cuatro niveles de fertilización inorgánica y edad de corte sobre características agronómicas, composición química y fermentativa de maíz**

#### **Introducción**

El ensilaje de maíz (*Zea mays* L.) es un forraje de importancia para la industria lechera por su alto rendimiento de biomasa y su alto valor energético (Armstrong et al., 2005). Sin embargo, la baja concentración de proteína en el ensilaje de maíz es una limitante en la dieta de vacas lecheras. En Puerto Rico, la alimentación de vacas lecheras a base de Raciones Completas es de gran interés, pero el bajo valor nutritivo de gramíneas tropicales limitan su adopción (Valencia et al., 2005). Información sobre la producción de ensilaje de maíz en Puerto Rico es escasa. Por lo tanto, la evaluación de forrajes de alto valor nutritivo con potencial para ensilar es necesaria.

En el trópico, las siembras de maíz se afectan por invasión de malezas y daños por insectos lo cual limitan su rendimiento de materia seca. Sin embargo, se ha demostrado que los maíces tropicales (ej. Mayorbela y Diente de Caballo) tienen buenas características fermentativas y estables cuando se ensilan a una edad temprana (Arias, 1998). Recientemente compañías han liberado híbridos de maíz transgénicos los cuales ofrecen una oportunidad de manejar los yerbajos en este cultivo. Estos híbridos tienen un buen rendimiento de ensilaje y buenas características fermentativas por lo cual representan un potencial para la producción de ensilaje en Puerto Rico (Valencia et al., 2005).

No existe información actualizada sobre el efecto de la fertilización nitrogenada y estado de madurez óptima para ensilar el maíz en Puerto Rico. Se ha demostrado que el N es el que con más frecuencia limita su crecimiento, desarrollo y rendimiento de maíz (Below, 2004). Si bien el efecto del N sobre el rendimiento de maíz es conocido, es necesario conocer la respuesta del maíz a diferentes niveles de N para determinar la dosis que asegure un rendimiento óptimo de ensilaje.

Por otro lado, existe información limitada sobre la edad óptima de cosecha del maíz híbrido DKC 67-60 para ensilar. Un estado de madurez tardía afecta los rendimientos de MS/ha, la composición bromatológica y calidad del forraje. Núñez et al. (2005) señala que un momento óptimo de corte puede ser su madurez fisiológica, 35% de MS de la planta entera o la línea de leche, pero esta varía según el híbrido, el suelo y fertilización.

El objetivo del estudio fue determinar el efecto de cuatro niveles de N [0, 56, 112 y 185 kg de N/ha) y tres edades de corte (70, 77 y 84 días después de siembra) sobre el rendimiento de MS (hojas, tallos, mazorcas y rendimiento total), composición química (PB y FDN del material antes de ensilar), características fermentativas y estabilidad aeróbica del ensilaje resultante del maíz híbrido.

## **Materiales y Métodos**

### **Localización del experimento**

El experimento se llevó a cabo en la Estación Experimental de Lajas, Universidad de Puerto Rico. La Estación esta ubicada a 18° latitud norte y 67° longitud oeste y a 30 metros sobre el nivel del mar. Beinroth et al. (2003) determinaron que el suelo predominante pertenece a la serie San Antón (Fino-lómico, mixto, isohipertérmico Cumulic Haptustolls). En este experimento agronómico se evaluaron cuatro niveles de N para el maíz DKC 67-60 para ensilaje (0, 56, 112 y 185 kg de N/ha de 15-5-10) y tres edades de madurez (70, 77 y 84 días después de siembra). El experimento consistió de 2 siembras y ha ambas se le dio el mismo manejo agronómico.

### **Preparación de terreno y siembra**

La preparación del terreno y el muestreo de suelo fue igual que el experimento 1. El análisis químico promedio en las parcelas experimentales, indicaron un pH básico (7.3) con contenido moderado de materia orgánica (2.25%) y calcio (35.43 cmol/kg), y un alto contenido de fósforo (17 ppm), potasio (0.16 cmol/kg) y magnesio (16.41 cmol/kg). La precipitación pluvial promedio mensual se muestran el la figura 5.

Se utilizó el maíz con tolerancia a Glifosato. La primera siembra se realizo el 16 de septiembre del 2005 y la segunda fue el 16 de febrero del 2006. Estas fueron de forma mecanizada con una distancia entre hileras de 76-cm y 10-cm entre plantas. Se realizo una aplicación de herbicida post-emergente de Roundup [N-(phosphonomethyl) glycine] a razón de 1.44 litros ia/ha, cuando la planta alcanzo una altura de 30 cm para el control



de hierba Johnson [*Sorghum halepense* (L)]. Para el control de insectos se realizaron dos controles químicos en las épocas de más incidencia de las mismas, utilizando los insecticidas Dipel<sup>®</sup> (*Bacillus thuringiensis*) variedad kurstaki y Lannate<sup>®</sup> Pw (S-methyl-N-[(methylcarbamoil) oxy] thioacetimidate) a razón de 3.0 litros/ha y 0.27 kg ia/ha respectivamente, aplicados con bombas de presión, para el control de cogollero [*Spodoptera frugiperda* (Smith)]. La fertilización se realizó en bandas a las cuatro semanas después de sembrado el maíz. Se utilizó abono granulado 15-5-10 (N-P-K) como fuente de N.

### **Muestreo y diseño experimental**

Como área de muestreo se cosecharon los tres surcos centrales que fueron aleatorizados al momento de cada corte. Se cosecharon 10-m lineales (7.60 m<sup>2</sup>) por tratamiento a una altura de 5-cm sobre el nivel del suelo. Las plantas cosechadas fueron pesadas para estimar la producción de biomasa verde por hectárea.

Seis plantas por unidad experimental fueron seleccionadas, tres de las cuales fueron separadas en hojas, tallos y mazorcas para determinar materia seca para cada tejido y tres se utilizaron para determinar materia seca de la planta entera. Las muestras señaladas anteriormente correspondiente a cada tratamiento fueron secadas en un horno de aire forzado (65 °C / 72 h), y posteriormente fueron molidas en un molino Wiley y filtradas a través de un cedazo de 1-mm de porosidad. Estas muestras se analizaron por el método micro- Kjeldhal (utilizando el analizador de nitrógeno *Kjeltec system 1002*) para determinar el porcentaje de N total y luego calcular la concentración de PB ( $PB=N*6.25$ ). La FDN se determino siguiendo el procedimiento descrito por Van Soest et al. (1991). La

PB se determinaron únicamente para plantas enteras para las dos épocas, pero la FDN se cuantificó únicamente para la primera época. Estas fueron analizadas en las facilidades del Laboratorio de Nutrición de la Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez

El diseño experimental utilizado fue uno completamente aleatorizado (DCA) con arreglo en parcelas divididas con 2 épocas, 4 tratamientos y 4 repeticiones para un total de 32 parcelas experimentales. Cada parcela consistió de 40 metros cuadrados (4 x 10 m), conteniendo 5 hileras de maíz. La parcela completa correspondió a la época de siembra (1 y 2). La subparcela correspondió a los cuatro niveles de N (0, 56, 122 y 185 kg de N/ha de 15-5-10) y edades de corte (70, 77 y 84 DDS).

### **Análisis estadístico**

Los datos se sometieron a un análisis de varianza utilizando el programa estadístico (SAS, 1990). En el modelo se incluyó época, nivel de N, edad de corte, corte x nivel, corte x época, nivel de N x época y corte x nivel de N x época. Se encontró diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) para corte y para la interacción nivel de N x época. Por lo tanto, los resultados se discutieron para la interacción nivel x época y para el efecto principal de corte. Se utilizó la prueba de contrastes para la comparación de medias de los cuatro niveles de N (0 (control) versus 56, 112 y 185 kg N/ha, 56 versus 112 kg de N/ha y 56 y 112 kg de N/ha versus 185 kg de N/ha)). Para la separación de medias por edad de corte se utilizó la prueba LSD. Los datos se analizaron mediante el siguiente modelo lineal:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \delta_{k(i)} + \beta_j + \gamma_k + \alpha\beta_{ij} + \gamma\beta_{ik} + \alpha\beta\gamma_{ijk} + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

$Y_{ijk}$  = Variable dependientes de vigor (% germinación, altura de plantas), rendimiento de materia seca

$\mu$  = media general estimada

$\alpha_i$  = efecto del factor A (época)

$\delta_{k(i)}$  = error de la de la parcela completa.

$\beta_j$  = efecto del factor B(niveles de N)

$\gamma_k$  = efecto del factor C (edad de corte)

$\alpha\beta_{ij}$  = efecto de la interacción entre la época y niveles de N

$\gamma\beta_{ik}$  = efecto de la interacción entre niveles de N por edad de corte

$\alpha\beta\gamma_{ijk}$  = efecto de la interacción entre época por niveles por edad de corte

$\varepsilon_{ijk}$  = error de la subparcela.

### **Proceso de ensilaje**

Procedimiento fue igual al capítulo 2. Sin embargo, hay que destacar que los ácidos orgánicos se analizaron solamente para la primera época.

Los datos del ensilaje de maíz se analizaron mediante análisis de varianza para un diseño completamente aleatorizado con cuatro repeticiones, con un arreglo factorial de tratamientos, cuatro niveles (0, 56, 112, 185 kg de N/ha); tres edad de corte, (70, 77 y 84 DDS); y dos largos de fermentación, (0 y 45 días), utilizando el procedimiento de modelo lineal en (SAS, 1990). Para la separación de medias se utilizó la prueba de Bonferroni. El modelo para las características fermentativas y ácidos orgánicos fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + C_j + L_k + T_x C_{ij} + T_x L_{ik} C_x L_{jk} + T_x C_x L_{ijk} + E_{ijkl}$$

**Y**=variable individual medida (ej. pH)

**μ**= media general estimada

**T<sub>i</sub>**= efecto de tratamiento

**C<sub>j</sub>**= efecto de la edad de corte

**L<sub>k</sub>**= efecto del largo de fermentación (45 días)

**T<sub>x</sub>C<sub>ij</sub>**= interacción entre tratamiento por edad de corte

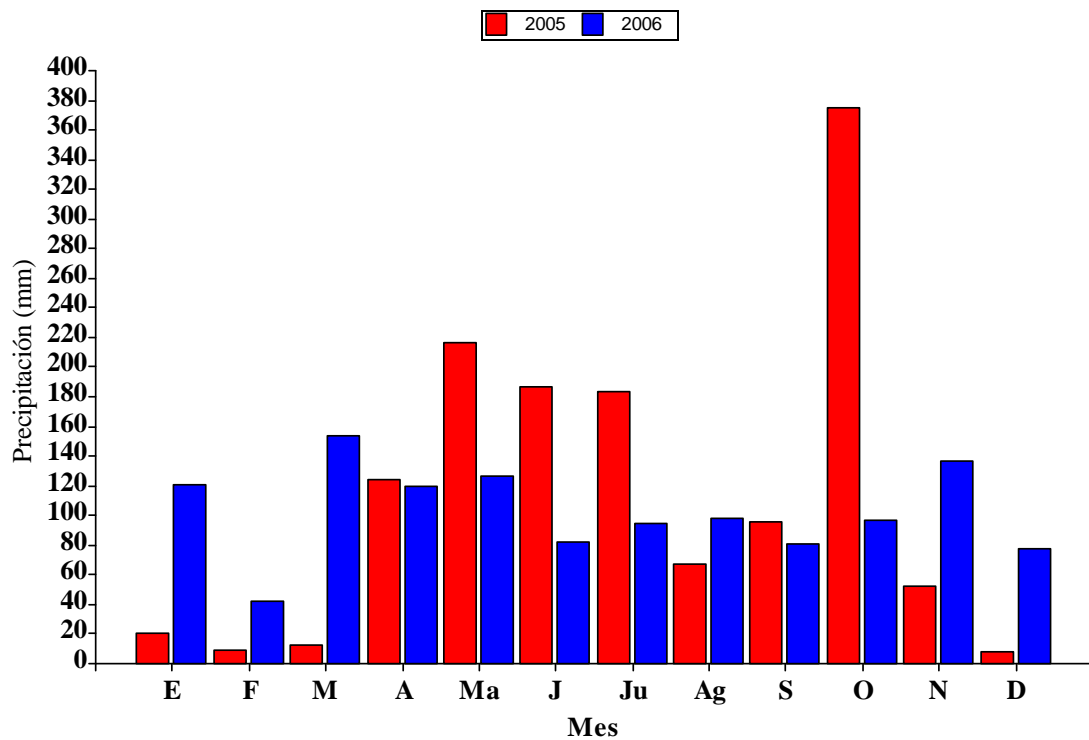
**T<sub>x</sub>L<sub>ik</sub>**= interacción entre tratamiento por largo de fermentación

**C<sub>x</sub>L<sub>jk</sub>**= interacción entre edad de corte y largo de fermentación

**T<sub>x</sub>C<sub>x</sub>L<sub>ijk</sub>**= interacción entre tratamiento por corte por largo de fermentación

**E<sub>ijkl</sub>**= error experimental.

Los datos se analizaron mediante análisis de varianza para un diseño completamente aleatorizado con cuatro repeticiones, con un arreglo factorial de tratamientos, con cuatro niveles (0, 56, 112 y 185 kg/ha de 15-5-10); tres edades de corte, (70, 77 y 84 DDS); y cuatro largos de exposición aeróbica (0, 1, 3 y 5), utilizando el procedimiento de modelo lineal en SAS (1990). Para la separación de medias, se utilizó la prueba de Bonferroni. El modelo para la estabilidad aeróbica fue igual al descrito anteriormente para los ácidos orgánicos.



**Figura 5. Promedio mensual de precipitación pluvial en 2005 y 2006 (EEA, Lajas).**

## Resultados y Discusión

### **Rendimiento de los componentes del maíz híbrido DKC 67-60 (hojas, tallos y mazorcas) y rendimiento total.**

Las precipitaciones totales registradas de septiembre a noviembre del 2005 y de febrero a abril del 2006 fueron de 523 y 442 mm, respectivamente (Figura 5). En ambas épocas se registraron abundantes precipitaciones. Sin embargo, la distribución de las precipitaciones fue mejor en la segunda época. Durante la primera época se registraron sobre 400 mm durante un período de 45 días, provocando una zona de saturación de agua en el suelo, limitando la difusión de oxígeno hacia la raíz y en consecuencia induciendo un estrés en la planta que se manifiesta en el poco crecimiento y desarrollo.

Se encontraron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) para la interacción nivel de N x época y edad de corte para la mayoría de las variables de respuesta. Por lo tanto, las comparaciones de medias y discusión se presentan para la interacción nivel de N x época y edad de corte.

En el Cuadro 5 se presenta el efecto de la interacción entre cuatro niveles de N x época sobre el rendimiento de los componentes de la planta (hojas, tallos, mazorcas) y rendimiento total. Estas variables mostraron una respuesta lineal y cuadrática, a excepción del componente tallo que solo presentó una tendencia cuadrática.

Referente al rendimiento de MS/ha de hojas, al comparar el control versus los otros niveles, y 56 y 112 versus 185 kg de N/ha se encontró diferencias significativas ( $P < 0.05$ ), pero no se encontró diferencias ( $P > 0.05$ ) entre las dosis de 56 y 112 kg de N/ha. En ambas épocas la mayor producción de MS/ha de hojas se obtuvo con las dosis de 185 kg de N/ha (1.43 y 2.85 t/ha) respectivamente. En trabajos relacionados

Betancourt et al. (1998) evaluó cuatro niveles de fertilizante (0, 60, 80 y 100 kg de N/ha) sobre el área foliar de la hoja de maíz. Encontraron que el mayor incremento de área foliar se presentó con la aplicación de 100 kg de N/ha. Estos resultados nos indican que el componente hoja presentó un incremento en el rendimiento de MS/ha al aumentar la dosis de N.

En relación al rendimiento de MS/ha de tallos, al comparar el control versus los otros tratamientos y la dosis de 56, 112 versus 185 kg de N/ha se observó diferencias significativas ( $P < 0.05$ ), sin embargo, no se encontró diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) entre las dosis de 56 y 112 kg de N/ha. En ambas épocas los mayores rendimientos de MS/ha de tallos se obtuvieron con la mayor aplicación de N (2.23 y 5.64 t/ha). En trabajos relacionados Betancourt et al. (1998) encontraron la misma respuesta al evaluar cuatro niveles de fertilizante (0, 60, 80 y 100 kg de N/ha) sobre el diámetro de tallo de maíz. Estos investigadores reportaron que el mayor incremento en el diámetro de tallo se presentó con la dosis de 100 kg de N/ha. Estos resultados indican que los niveles de N afectaron positivamente los rendimientos de MS/ha de tallos.

Referente a la producción de MS/ha de mazorcas, al comparar el tratamiento sin fertilizar versus los otros niveles y las dosis de 56 y 112 versus 185 kg de N/ha se aumentaron ( $P < 0.05$ ) los rendimientos de MS/ha de mazorcas, pero entre las dosis de 56 y 112 kg de N/ha no se afectó ( $P > 0.05$ ) el rendimiento de MS. En ambas épocas la mayor producción de MS/ha se obtuvo con la aplicación de 185 kg de N/ha (2.36, 5.47 t/ha) respectivamente. El mayor nivel superó por sobre 1 t/ha de MS a los otros tratamientos. Los resultados encontrados sugieren que el N en dosis crecientes juega un papel importante en el llenado y la formación de granos que repercute en el aumento en el

rendimiento de mazorcas. Está documentado que la disponibilidad de N juega un papel importante durante la formación y desarrollo de los granos, reduciendo el aborto de granos y por consiguiente incrementando los rendimientos (Below, 2004).

En ambas épocas los mayores rendimientos de MS/ha total se presentaron con la aplicación de 185 kg de N/ha (6.04 y 13.96 t/ha). La mayor dosis superó por sobre 1 t/ha a los otros tratamientos. Los rendimientos de MS con las dosis de 56 y 112 kg de N/ha fueron estadísticamente similares y superiores al tratamiento sin fertilizar. En trabajos relacionados Peña et al. (2006) al evaluar dos fechas de siembra (temprana y tardía) y dos niveles de fertilización (180 y 240 kg de N/ha), encontraron que estos dos niveles de fertilización no afectaron ( $P>0.05$ ) los rendimientos de MS.

La respuesta de maíz a la adición de N es afectada por factores ambientales, culturales y del suelo. Por esta razón las respuestas al N pueden variar bastante entre localidades. Estas diferencias en rendimientos de MS/ha para los componentes de la planta y rendimiento total entre las épocas pueden atribuirse a la cantidad de precipitación pluvial registrada durante el crecimiento y desarrollo del cultivo. Como se puede observar en la figura 5, las precipitaciones registradas durante los meses de septiembre y octubre sobrepasaron los 400-mm. Monar (1992) encontró que 500 mm de precipitación pluvial bien distribuidas no afectan los rendimientos de maíz.

Es conocido que en la Estación Experimental de Lajas predominan los suelos pesados con baja capacidad de infiltración, lo cual genera problemas de drenaje interno y externo cuando son afectados por altas precipitaciones. Estas condiciones limitan la difusión de oxígeno hacia la raíz, afectando el crecimiento, desarrollo de las plantas y el rendimiento de MS. Está documentado que el exceso de humedad afecta el crecimiento,



desarrollo y rendimiento de maíz (Meléndez et al., 2001). A pesar de esta limitante, los resultados indican que los rendimientos de MS/ha se aumentaron por dosis crecientes de N. Está documentado que la fertilización nitrogenada beneficia la producción de MS, debido a que influye directamente en el desarrollo del área foliar, el mantenimiento del área foliar, diámetro de tallo y formación de grano (Muchow, 1988; citado por Peña et al., 2006).

En el Cuadro 6 se muestra el efecto de la época y edad de corte sobre el rendimiento de los componentes de planta (hojas, tallos y mazorcas) y rendimiento total. Para época se encontró diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) para los componentes de la planta y rendimiento total. Tanto para hojas (1.13 y 2.36 t/ha), tallos (1.84 y 5.19 t/ha), mazorcas (1.69 y 4.50 t/ha) y rendimiento total (4.66 y 12.05 t/ha) los mayores rendimientos se encontraron en la época 2.

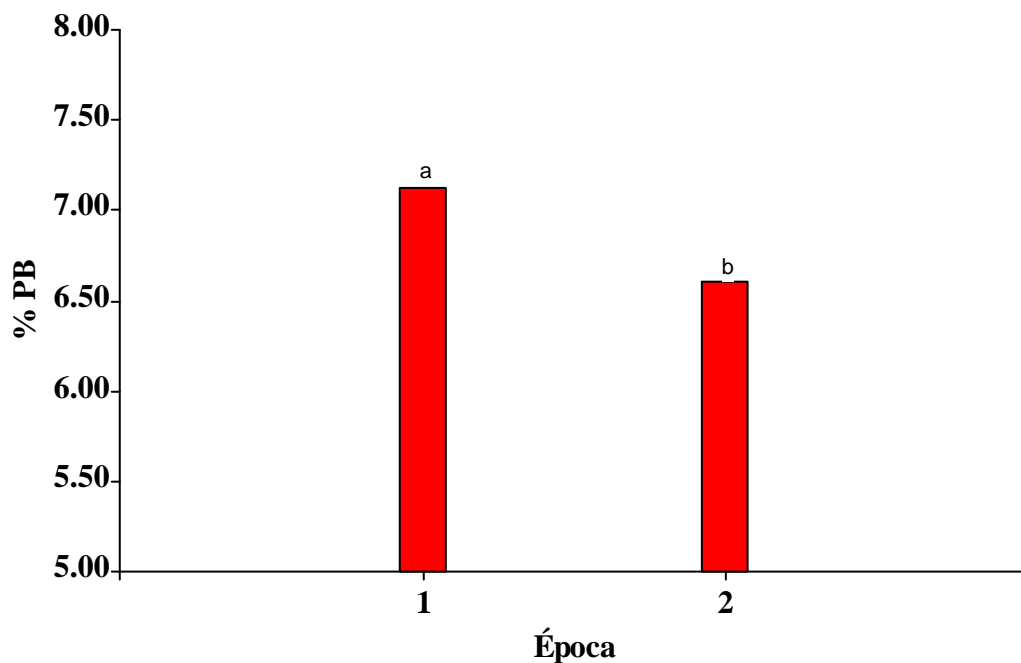
La edad de corte no afectó ( $P > 0.05$ ) los rendimientos de MS/ha para hojas, pero si tuvo efecto sobre tallos, mazorcas y rendimiento total. Para tallos los mayores rendimientos se encontraron a los 70 DDS (3.82 t/ha) y los menores rendimientos a los 77 DDS (3.35 t/ha) y 84 DDS (3.38 t/ha) similares estadísticamente. Tanto para mazorcas (4.04 t/ha) como para rendimiento total (9.13 t/ha) los mayores rendimientos de MS se encontraron a los 84 DDS. En ambas variables el rendimiento aumento por sobre 1 t/ha de MS de los 70 a los 84 DDS. Estos resultados son similares a los encontrados por Elizondo y Boschini (2001) al evaluar dos estados de madurez (70 y 84 DDS). Ellos encontraron que los mayores rendimientos de mazorcas y total se presentaron a los 84 DDS. Sin embargo Núñez et al. (2005) encontraron producciones similares ( $P > 0.05$ ) en rendimiento de MS total en tres estados de madurez.

Estos resultados indican que los rendimientos de MS/ha de mazorcas y rendimiento total se incrementan con la edad de corte a excepción del rendimiento de tallos el cual decreció. Es importante mencionar que la mazorca adquiere mayor importancia relativa con la edad de corte en comparación con los componentes hojas y tallos el cual disminuyen sus rendimientos a medida que se incrementa la edad de corte.

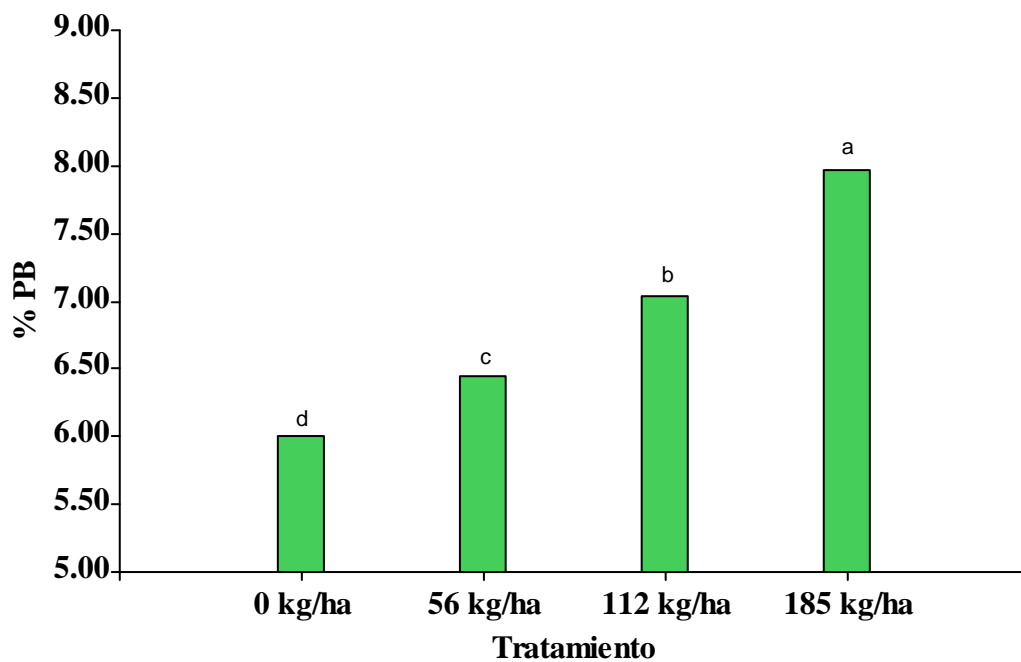
### **Composición química del híbrido de maíz**

Para PB se encontró diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) por época y niveles de N, pero no se encontró diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) para edad de corte ni para ninguna de las interacciones. En la figura 6 se puede observar que la concentración de PB en la época 1 (7.12 %) fue mayor ( $P < 0.05$ ) que en la época 2 (6.60 %). Estas diferencias en época para PB pueden deberse a cambios en las proporciones de los componentes de la planta en la época 2. Los rendimientos de tallos duplicaron los rendimientos de hojas y es posible que esta relación haya ocasionado una dilución en la concentración de PB.

Para niveles de N se encontró tendencias lineales y cuadráticas significativas ( $P < 0.05$ ). Las mayores concentraciones de PB se obtuvieron con la dosis de 185 kg de N/ha (7.97%), superando por 2 unidades al tratamiento sin fertilizar (6.01) (Figura 7). Esta respuesta fue similar a lo encontrado por Soto et al. (2002) en la cual reportaron 2.2 unidades de diferencia en PB al aumentar la fertilización de 150 a 450 kg de N/ha. Estos resultados indican que el incremento de los niveles de N en maíz para ensilaje aumenta la concentración de PB. Esta documentado que el N se incorpora en numerosos compuestos esenciales en la planta, pero la mayoría (>90%) está presente en las proteínas (Below, 2004).



**Figura 6. Efecto de la época de siembra sobre el % de PB en el material antes de ensilarse del maíz híbrido DKC 67-60.**



**Figura 7. Efecto de cuatro niveles de N sobre el % de PB en el material antes de ensilarse del maíz híbrido DKC 67-60**

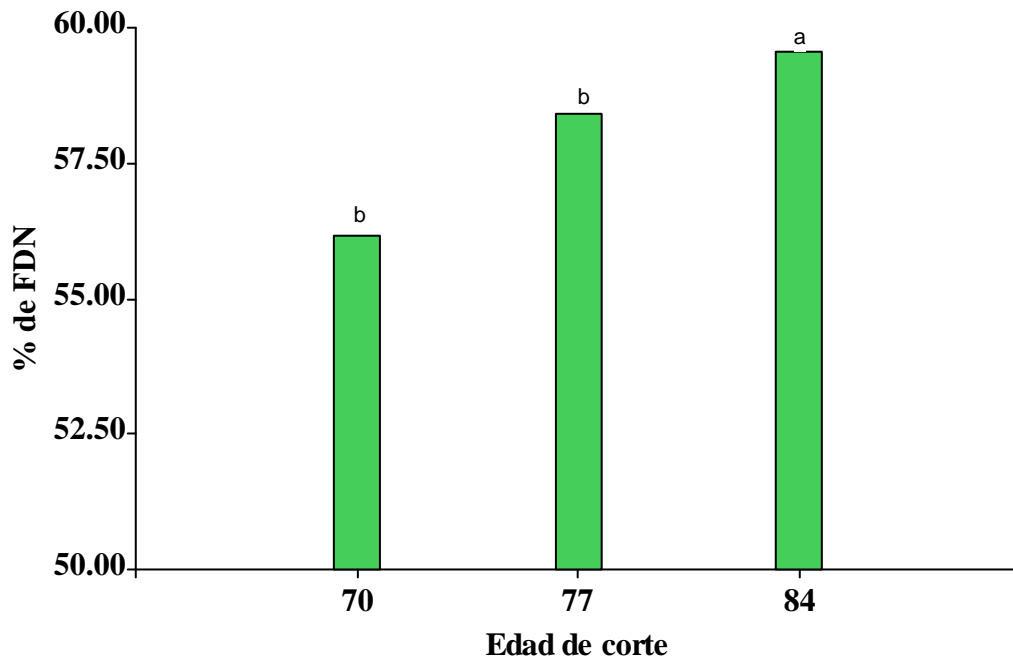
La edad de corte no afectó ( $P > 0.05$ ) la concentración de PB, sin embargo, hubo diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en la concentración de FDN. La concentración de

FDN de maíz híbrido cosechado a los 84 DDS (59.47 %) fue mayor ( $P < 0.05$ ) que el cosechado a los 77 DDS (58.27 %) o 70 DDS (56.52 %) (Figura 8). Resultados similares de FDN han sido reportados por (Núñez et al., 2005; Arias, 1998) con variedades de maíz tropical e híbridos comerciales. En trabajos relacionados, Valencia et al. (2005) reportó valores de 57% para maíz híbrido DKC67-60 al cosecharse a los 90 DDS. La concentración de FDN va asociado al crecimiento del forraje por lo tanto se incrementa a medida que aumenta la edad de corte. Esto concuerda con lo expresado por (Van Soest et al., 1991) que encontró que el valor nutritivo de las gramíneas cambia de acuerdo con las condiciones ambientales y con la madurez de la planta. Además, el clima tropical favorece una rápida maduración de la planta aumentando el contenido de carbohidratos estructurales.

#### **Características fermentativas del maíz híbrido DKC 6760**

No se encontraron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) entre los niveles de N y edad de corte para pH y ácidos orgánicos (Cuadro 7). Sin embargo, el pH promedio para los niveles de N y edad de corte fue de 3.73, siendo indicativo que el ensilaje fue estable y de alta calidad (Valencia et al. 2005). Esta respuesta sugiere que los microorganismos hicieron un uso eficiente de los carbohidratos solubles en agua, provocando una disminución en el pH, por el aumento en la producción de ácido láctico. La concentración de ácido láctico fue el principal producto resultante de la fermentación del ensilaje del maíz híbrido, sin embargo la concentración final de lactato fue de 1.5% del forraje en base seca, que es la concentración mínima recomendada para considerar un ensilaje estable como producto de una fermentación homoláctica (Arias, 1998). La concentración

promedio de ácido acético fue de 0.29% en base seca, que también es indicativo de un ensilaje de calidad.



**Figura 8. Efecto de la edad de corte sobre el % de FDN del maíz híbrido DKC 67-60**

#### **Estabilidad aeróbica del maíz híbrido DKC 67-60**

Los niveles de N no afectaron ( $P > 0.05$ ) el pH, temperatura y MS recuperada, pero si hubo efecto de la edad de corte y largo de exposición aeróbica sobre las variables analizadas para determinar la estabilidad aeróbica (Cuadro 8). El deterioro aeróbico de los ensilajes se debe a la degradación de ácidos orgánicos y los carbohidratos solubles en agua restantes por hongos y levaduras y ocasionalmente por bacterias productoras de ácido acético. Este deterioro puede causar aumentos en el pH, en la temperatura y en la actividad de organismos aeróbicos (Driehuis et al., 1999).

Se observó que el pH fue mayor a los 70 DDS (4.72) que en el de 77 (4.50) ó 84 DDS (4.36). El pH del ensilaje al día cero presento un promedio de 3.71 incrementándose

de forma lineal a un promedio de 6.30 para el quinto día de exposición aeróbica. También se encontró que la temperatura fue mayor en el maíz cosechado a los 77 DDS (31.65) que en el de 70 (28.79) ó 84 DDS (27.72). En relación al largo de fermentación, la temperatura se incrementó de forma lineal del día cero al quinto día de exposición aeróbica. Estos resultados concuerdan con estudios conducidos en ambientes templados (Wardynsky, 1991) y tropicales (Rodríguez, 1996). En estos experimentos el aumento en días en exposición aeróbica resultó en un mayor deterioro del ensilaje. Esto se indica por el incremento en pH y temperatura y MSR según aumento el largo de exposición al aire de los ensilajes. Además estos resultados evidencian que la estabilidad del ensilaje depende de la especie, contenido de MS y duración de la fermentación del material ensilado (McDonald, 1981).

Referente a la MSR, esta fue más favorable a los cortes de 70 DDS. Estos resultados sugieren que el maíz híbrido DKC 67-60 ensilado a etapas tempranas (70 DDS) de edad resulta en ensilajes mas inestables bajo condiciones aeróbicas que maíz ensilado a etapas intermedias (77 DDS) ó tardías (84 DDS) de edad.

## **Conclusiones**

Los resultados de la presente investigación indican que mayores niveles de N aumentaron la producción de MS en ambas siembras. En la época 2 los rendimientos de MS fueron mayores, y estas diferencias en rendimiento se atribuyen a factores climáticos, particularmente a las precipitaciones pluviales registradas durante la primera siembra. La cantidad de precipitación pluvial registrada estuvo por encima de 400 mm (en la etapa inicial de crecimiento del maíz en la primera siembra) lo que afectó el desarrollo de la

planta. En ambas épocas los niveles más altos de N produjeron los mayores rendimientos de MS de hojas, tallos, mazorcas y rendimiento total, exhibiendo una respuesta lineal y cuadrática, por lo que la dosis óptima pudiera estar entre los niveles de 112 y 185 kg de N/ha. La edad de corte no tuvo efecto en los rendimientos de hojas, pero si aumentó el rendimiento de tallos y mazorcas, resultando en mayor rendimiento total. La concentración de PB fue mayor en la época 1. La concentración de PB aumentó con el incremento de N y la edad de corte solo tuvo efecto en la FDN. Los niveles de N y edad de corte no afectaron el pH y ácidos orgánicos del maíz DKC 67-60, ni impidieron el deterioro aeróbico del ensilaje. Se concluye que para un buen rendimiento y alto valor nutritivo se necesita aplicar N entre 112 y 185 kg de N/ha y una fecha óptima de corte entre los 70 y 77 DDS.

### **Implicaciones**

El presente trabajo aporta información sobre el efecto de la fertilización inorgánica y edad de corte sobre características agronómicas, composición química y la capacidad fermentativa del maíz híbrido DKC 67-60. Queda demostrado que dosis crecientes de N inorgánico mejora la producción y la composición química del forraje de maíz para ensilar. Además, quedo demostrado que el maíz DKC 67-60 presenta buenas características fermentativas. Sin embargo, es necesario evaluar otros niveles de N inorgánico a fin de obtener el nivel óptimo económico y productivo para hacer más rentable los sistemas de producción. Los resultados obtenidos en esta investigación sugieren que la fertilización inorgánica es la mas adecuada para incrementar los rendimientos de MS/ha y la concentración de PB.

**Cuadro 5. Efecto de la interacción época por niveles de N sobre el rendimiento de MS/ha de los componentes de la planta y rendimiento total del maíz híbrido DKC 67-60.**

Niveles de N	Época 1				Época 2			
	Hojas	Tallos	Mazorcas	Rendimiento total	Hojas	Tallos	Mazorcas	Rendimiento total
	t/ha							
0 kg/ha	0.84	1.13	1.03	3.00	1.90	4.39	3.39	9.68
56 kg/ha	1.06	1.81	1.56	4.43	2.34	5.42	4.60	12.36
112 kg/ha	1.21	2.18	1.82	5.21	2.35	5.33	4.53	12.21
185 kg/ha	1.43	2.23	2.36	6.02	2.85	5.64	5.47	13.96
Tratamientos	*	*	*	*	*	*	*	*
Contrastes								
N-lineal	*	<b>ns</b>	*	*	*	<b>ns</b>	*	*
N-Cuadrático	*	*	*	*	*	*	*	*

**\*P= (0.05), ns= no significativo.**



**Cuadro 6. Efecto principal de la época y edad de corte sobre el rendimiento de MS de los componentes de la planta y rendimiento total del maíz híbrido DKC 67-60.**

Componente de la planta (t/ha)	Época		Edad de corte (días)		
	1	2	70	77	84
Hojas	1.13b	2.36a	1.87a	1.70a	1.67a
Tallos	1.84b	5.19a	3.82a	3.35b	3.38b
Mazorcas	1.69b	4.50a	2.25c	2.99b	4.04a
Rendimiento total	4.66b	12.05a	7.94b	8.04b	9.09a

**Medias en la misma fila dentro de cada subtítulos difieren significativamente (P<0.05).**

**Cuadro 7. Efecto de cuatro niveles de N, edad de corte por largo de fermentación sobre el pH y los productos de fermentación del ensilaje del maíz híbrido DKC 67-60**

Característica	Largo de fermentación	Niveles de fertilización (kg/ha)				Edad de corte (días)		
		0	56	112	185	70	77	84
pH	0	5.85a	5.83a	5.89a	5.96a	5.89a	5.86a	5.90a
	45	3.72a	3.72a	3.77a	3.74a	3.67a	3.76a	3.79a
<u>Productos de fermentación(g/100 gMS)</u>								
Acido láctico	0	0.01a	0.01a	0.01a	0.00a	0.01a	0.01a	0.01a
	45	1.22a	1.26a	1.21a	1.23a	1.32a	1.20a	1.17a
Acido acético	0	0.02a	0.02a	0.02a	0.02a	0.02a	0.02a	0.02a
	45	0.27a	0.28a	0.28a	0.31a	0.31a	0.29a	0.25a
Acido butírico	0	0.00a	0.00a	0.00a	0.00a	0.00a	0.00a	0.00a
	45	0.01a	0.02a	0.01a	0.00a	0.01a	0.01a	0.01a

**Medias en la misma fila dentro de subtítulos con distintas letras difieren significativamente (P<0.05).**

**Cuadro 8. Efecto de cuatro niveles de N, edad de corte, largo de fermentación y día de exposición aeróbica sobre la estabilidad aeróbica de ensilaje del maíz híbrido DKC 67-60 al aire durante 4 días.**

característica	Niveles de N (kg/ha)				Edad de corte (días)			Día de exposición aeróbica			
	0	56	112	185	70	77	84	0	1	3	5
pH	4.59a	4.47a	4.53a	4.52a	4.72a	4.50b	4.36b	3.71c	3.72c	4.37b	6.30a
Temperatura	29.65a	29.25a	29.31a	29.33a	31.65a	28.79b	27.72c	23.29c	24.89c	32.83a	30.27b
Recuperada	88.84a	88.86a	88.79a	88.87a	89.51a	89.29b	87.72c	100a	88.07b	85.65c	81.65d

**Medias en la misma fila dentro de subtítulos con distintas letras difieren significativamente (P<0.05)**

## Referencias

- Aldrich, S.R. 1980. Nitrogen in relation to food, environment and energy. Special Publication 61. Agricultural Experimental Station, College of Agriculture. University of Illinois, Urbana-Champaign.
- Altieri, M. 1983. Significado de las interacciones entre malezas e insectos en el manejo de plagas en sistemas tradicionales de los trópicos. P-75-78. En: Manejo integrado de plagas insectiles en la agricultura. Estado actual y futuro. Keith L. Andrews y José Rufino Quezada Editores. Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, Honduras. 623 pp.
- Allen, M.S. and M. Oba. 1996. Fiber digestibility of forages. Proc. 57<sup>th</sup> Minnesota Nutr. Conf. and Protiva Tech. Symp., Extension Special Programs, Univ. of MN, St. Paul.
- Allen, M.S., M. Oba and B.R. Coi. 1997. Nutritionist's perspective on corn hybrids for silage. Proc. Silage: Field to Feedbunk. North American. Conference. NRAES-99:25-36.
- Aminah, A., C. Abu Bakar y A. Izham. 1998. Ensilaje de forrajes tropicales: calidad nutritiva y producción de leche. Depósitos de documentos FAO.
- Anzules, V. 1986. Evaluación agronómica de la intercalación yuca-frijol considerando limitaciones de pequeños productores. Tesis MS. Universidad de Puerto Rico, Mayagüez, Puerto Rico 83pp.
- AOAC. Association of Oficial Analytical Chemist. 1990. Oficial Methods of Analysis. Arlington, VA.
- Arias Carrasquillo, F. 1998. Características fermentativas y estabilidad aeróbica de dos variedades de maíz tropical y hierba guinea ensilada a diferentes estados de madurez. MS Tesis. Universidad de Puerto Rico, Mayagüez, Puerto Rico 77pp.
- Armstrong, K., K. Albrecht, J. Lauer, H. Riday. 2005. Intercropping climbing beans with corn for silage. American Forage and Grassland Council Conference Proceedings. p. 173.
- Becerra, J. 1986. Leguminosas forrajeras tropicales. Actualización sobre producción de forrajes en la costa del Pacífico. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. México. pp 1-19.
- Beinroth, F., R. Engel, J. Lugo, C. Santiago, S. Ríos y G. Brannon. 2003. Updated Taxonomic Classification of the Soil of Puerto Rico, 2002. Estación Experimental Agrícola, Recinto Universitario de Mayaguez, Universidad de Puerto Rico. Boletín 303, 77p.

Below, F.E. 2004. Fisiología, nutrición y fertilización nitrogenada del maíz. Informaciones agronómicas. No. 54. INPOFOS

Bernal, E.J. 1994. Pastos y Forrajes Tropicales. Producción y Manejo. 3a. Edición. Santafé de Bogotá, Doc., Colombia. P. 418-420.

Betancourt, P., González, J. Figueroa y Figueroa, B. 1998. Cobertura vegetativa y fertilización nitrogenada en la producción de maíz. Terra vol 16 no. 3

Binder, D.L., D.H. Sander and D.T. Walters. 2000. Maize response to time of nitrogen application as affected by level of nitrogen deficiency. Agron. J. 92:1228-1236.

Boschini, C. y J. Elizondo. 2004. Desarrollo productivo y cualitativo de maíz híbrido para ensilaje. Agronomía Mesoamericana. 15(1): 31-37.

Bolsen, K.K., B.E. Brent, M.A. Young, M.K. Siefers, G.L Huck and J.E. Turner. 1996. Improving silage quality. Cattleman's Day. Kansas State University, pp.62-64.

Bundy, L.G. and P.R. Carter. 1988. Corn hybrid response to nitrogen fertilization in the Northern Corn Belt. J. Prod. Agric. 1:99-104

Carlone, M.R. and W.A. Russell. 1987. Response to plant densities and nitrogen levels for four maize cultivars from different years of breeding. Crop Sci. 27:465-470.

Contreras-Govea, F., K. Albrecht, R.E. Muck. 2006. Spring yield and silage characteristics of kura clover, winter wheat, and mixtures. Agron. J. 98:781-787.

Contreras, E., D. Marín, J. Viera. 1989. Evaluación ecofisiológica de cultivos asociados. II. Canavalia-Maiz. Agronomía Tropical 39: (1-3) 45-61.

Clavero, T., R. Razz, O. Araujo-Febres, J. Morales y A. Rodríguez-Petit. 1997. Metabolismo del nitrógeno en ovinos suplementados con *Leucaena leucocephala*. Arch. Latinoam. Prod. Anim. 5(Supl. 1):226-228.

Cox, W.J., S. Kalonge, D.J.R. Cherney and W.S. Reid. 1993. Growth yield and quality of forage maize under different nitrogen management practices. Agron. J. 85:341-347

Crookston, R.K. and J.E. Kurle. 1987. Corn kernel milk line: use it as key for harvesting silage. American Society of Agronomy, In Crops and Soils Magazine. 39 (7): 14-15.

Charlón, V. y M. Taverna. 1998. Respuesta productiva de la aplicación de efluentes de tambos en un cultivo de Maíz para silo. Estación Experimental Agrícola INTA Rafaela. Argentina.

Chongo, B. y J. Galindo. 1985. Bases fisiológicas del uso de las leguminosas en Cuba. XXX Aniversario Instituto de Ciencia Animal. Seminario Científico Internacional. La Habana, Cuba. Pp. 73-75.

Driehuis, F., O. Elferink, J.C. Gottschal y S.F. Spoelstra. 1999. Los procesos de fermentación del ensilaje y su manipulación. Memorias de la Conferencia Electrónica de la FAO sobre el ensilaje en los trópicos. <http://www.fao.org/docrep/fao/005.pdf>.

Elizondo, J. y C. Boschini. 2003. Valoración nutricional de dos variedades de maíz usadas en la producción de forraje para bovinos. Pastos y Forrajes, Vol. 26, No. 4.

Elizondo, J. Y C. Boschini. 2001. Efecto de la densidad de siembra sobre el rendimiento y calidad del forraje de maíz. Agronomía Mesoamericana 12(2): 181-187.

Espinoza, R.J. y D. Pezo. 1990. Consumo y digestibilidad en rastrojos de maíz cultivado solo o en asocio con leguminosas forrajeras. En: Anais da 12<sup>a</sup> Reuniao da ALPA. Fundacao de Estudios Agrarios Luiz de Queiroz (ed.). Campinas, S. P., Brasil. P.2

Fernández, N.N. y C.M. Aguirre. 2005. Fertilización orgánica en Maíz dulce (*Zea mays* L.) var. Saccharata. Facultad de Ciencias Agrarias-Argentina.

Fussel, L and P. Serafín. 1987. Intercropping its future as a cropping system in the drought prone Semi-arid tropics of west Africa. p. 557-565. In: Food Grain Production in semi-arid Africa. J. Menyonga, T. Bezuneh and A. Youdeowei editors. Redwood Bunn. Ltd. London, Great Britain. 683 p.

Garcia, S. y J. Davis. 1985. Principios básicos de la asociación de cultivos. p 363-370. En: Frijol: Investigación y Producción. Copilado y editado por: M. López, F. Fernández y A. Schoonhoven. PNUD, CIAT. Editorial XYZ Cali, Colombia 420pp.

Grasser, C.S. y R.T. Fraley. 1992. Genetically engineering plants for crop improvement. Science.244: 1293-1299.

Grant, R and R. Stock. 1996. Harvesting and preserving hay crop silage. Cooperative Extension, Institute of Agricultural and Natural Resources, University of Nebraska. G74-142-A.

Graybill, J.S., W.J. Cox and D.J. Otis. 1991 Yield and quality of forage maize as influenced by hybrid, planting date, and plant density. Agron J. (83): 559-564.

Gilbertson, R.L., J.C. Faria, S.F. Hanson, P.G. Ahlquist, F.J. Morales, D.P. Maxwell and D.R. Russel. 1990. Infection on bean (*Phaseolus vulgaris*) with cloned geminivirus DNA mediated by electric discharge particle acceleration. Annual Report of the Bean Improvement Cooperative Program 33: 165-166.

Grumet, R.M. 1990. Genetically engineered plant virus resistance. Hortscience 25(5): 508-513

Gutteridge, R.C and H.M. Shelton. 1994. The role of forage tree legumes in cropping and grazing systems. In: R.C. Gutteridge and H.M. Shelton (Ed.) Forage Tree Legumes in Tropical Agriculture. CAB International. Queensland, Australia. p. 3-11

Haizel, K. 1974. The agronomic significance of mixed cropping. 1. Maize interplanted with cowpea. Journal Agriculture Science. 7: 169-78.

Hall, R. 1974. Analysis of the nature of interference between plants of different species I. Concepts and extension of the wit analysis to examine effects. Australian Journal of Agricultural Research 25: 739: 747.

Havlin, J., L. Beaton, J.D. Tisdale and S.L. Nelson. 1999. Soil Fertility and Fertilizers. An Introduction to Nutrient Management. 86-153.

Hess, H.D. y C.E. Lascano. 1997. Comportamiento de forraje por novillos en pasturas de gramínea sola y asociada con una leguminosa. Pasturas Tropicales. 19 (2): 12-20.

Hernández, D., M. Carballo., C. Mendoza y C. Fung, 1998. Estudio del Manejo de *Chloris gayana* cv. Callide para la producción de leche. I. Efecto del tiempo de estancia. Pastos y Forrajes. (17):165-172.

Hirzel, J., N Rodríguez y E. Zagal. 2004. Efecto de diferentes dosis de fertilización inorgánica con N, P, K y fuente orgánica (estiércol de broiler) sobre la producción de maíz y la fertilidad del suelo. Agric. Téc. vol, 64, no.4, p.365-374. ISSN 0365-2807.

Humphreys, L. R. 1994. Tropical Forages: Their Role in Sustainable Agriculture. Longman Scientific & Technical, England. 166pp.

Janh, E. y J. Bermedo. 2003. Calidad de ensilaje de maíz. Boletín informativo. [www.inia.cl/quilamapu/publicaciones/articulos/bioleche/boletin2003/BOLETIN88.html](http://www.inia.cl/quilamapu/publicaciones/articulos/bioleche/boletin2003/BOLETIN88.html) - 40k.

Johnson, L.M., J.H. Harrison, D. Davidson, W.C. Mahanna, K. Shinnors and D. Linder. 2002. Corn Silage Management: Effect of maturity, inoculation, and mechanical processing on pack density and aerobic stability. J. Dairy Sci 85:434-444.

Johnson, J.C. 1991 Tropical Corn Silage. Proc. Southern Regional. Symp. Univ. of Florida, Quincy.

Kolver, E.S., L.D. Muller, G.A. Varga and T.J. Cassidy. 1998. Synchronization of ruminal degradation of carbohydrate with pasture nitrogen in lactating dairy cows. J. Dairy. Sci. 81:2017-2028.

Kung, L and N.K. Ranjit. 2001. The effect of *Lactobacillus buchneri* and other additives on the fermentation and aerobic stability of barley silage. J. Dairy Sci. 84:1149-1115.

Mahana, B. 1993. Troubleshotting silage problems. Pioneer Hi-Bred Int'l, Inc. Four state Applied Nutrition Conference, LaCrosse, Wisc., June 29-30.

McCullough, M.E. 1984. Feeding Quality Silage. *Animal Nutrition and Health* 39:30-35.

McCullough, M.E. 1995. Los resultados de la fermentación dictan la calidad del ensilado. *Hoard's Dairyman* en español, pp. 989-990.

McDonald, P. 1981. *The Biochemistry of Silage*. John Wiley and Sons, New York. 226pp.

Meléndez, L., J. Lisazo y R. Ramírez. 2001. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre dos variedades de maíz (*Zea mays* L.) sometidas a exceso de humedad en el suelo. *Bioagro* 13(3): 111-116.

Miller, W.J. 1989 *Nutrición y Alimentación del Ganado Vacuno lechero*. Ed. Acribia, Zaragoza. España.

Monar, C. 1992. Efecto de épocas de siembra y densidades maíz (*Zea mays* L.) en el sistema intercalado con caupi (*Vigna unguiculata* Walp). Tesis M.S. Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez.

Mooi, K.C. 1991. Varietal and density effects on vegetable corn and forage production. *MARDI Research Journal*. 19:217-223.

Muchow, R. C and T. R. Sinclair. 1994. Nitrogen response of leaf photosynthesis and canopy radiation use efficiency in field-grown maize and sorghum. *Crop Sci.* 34:721-727.

Muck, R. and J.R. Limin. 1997. Effects of silage additives on ensiling. *Proc. Silage: Field to Feedbunk*. North American Conference. NRAES-99: 187-199.

Muraoka, T., E. J. Ambrosano., F. Zapata., N. Bortoletto., A. L. Martins., P. C. Trivelin., A. E. Boaretto y W. B. Scivittaro, 2001. Eficiencia de abonos verdes (*Crotalaria* y *Mucuna*) y urea aplicados solos o juntamente, como fuente de N para el cultivo. *Terra* (20): 17-23.

Núñez, H.G., G.F. Contreras y C.R. Faz. 2005. Madurez de híbridos de maíz a la cosecha para mejorar la producción y calidad del forraje. *Tec Pecu Méx* 41(1):37-48.

Ohshima, M and P. McDonald. 1978. A review of the changes in nitrogenous compounds of herbage during ensilage. *J. Sci. Fd Agric.* 29: 497-505.

O'Leary, M.J, G.W. Rehn. 1990. Nitrogen and sulfur effects on the yield and quality of corn grown for grain and silage. *J. Prod. Agric.* 3:135-140.



Owens, V.N., K.A. Albrecht, R.E. Muck and S.H. Duke. 1999. Protein degradation and fermentation characteristics of red clover and alfalfa silage harvested with varying levels of total nonstructural carbohydrates. *Crop Sci.* 39:1873-1880.

Paliwal, R.L. 2001. El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción. Colección FAO: Producción y Protección vegetal (28): 1-369.

Peña, A., F. González, F y G. Núñez. 2006. Producción y calidad forrajera de híbridos precoces de maíz en respuesta a fechas de siembra, nitrógeno y densidad de población. *Revista Fitotecnia Mexicana, Chapingo, México* vol. 29, No. 003. pp. 207-213.

Peñagaricano, J.A. 1992. Ensilaje de maíz, una buena reserva para alimentar ganado. Ed. Hemisferio Sur. Montevideo, Uruguay.

Pitt, R.E. 1990. Silage and Hay Preservation. NRAES-5 Northeast Reg. Agri. Eng. Service. Ithaca, NY.

Phipps R and J. Park. 2002. Environmental benefits of genetically modified crops-global and European perspectives on their ability to reduce pesticide use. *Journal of Animal and Food Sciences* 11:1-18.

Robles, R. 1983. Cultivo del maíz (*Zea mays, L*). En: Producción de Granos y Forrajes. p 9-14. R. S. Robles editor. Cuarta edición. Editorial LIMUSA. Monterrey, México. P. 610.

Rodríguez, A.A., E.O. Riquelme and J.A. Acevedo. 1998. Effect of temperature on the aerobic stability of forage sorghum silage. *J. Anim. Sci.* 81 (Suppl.), 193.

Rodriguez, A.A. 1996. Studies on the efficacy of a homofermentative lactic acid producing bacterial inoculant and commercial plant cell wall-degrading enzyme mixtures to enhance the fermentation characteristics and aerobic stability of forages ensiled in temperate and tropical environments. Doctoral Research Dissertation. Michigan State University, East Lansing, MI, USA. 351pp.

Rojas-Bourrillón, A. H. Ugalde y D. Aguirre. 1998. Efecto de la adición de pejibaye (*Bactris gasipaes*) sobre las características nutricionales del ensilaje de pasto gigante (*Pennisetum purpureum*). *Agronomía Costarricense* 22 (2): 145-151.

Rojas, C. y M. Manríquez. 2001. Comparación de ensilaje de trigo y de maíz en la engorda invernal de novillos. *Agric. Téc.*, oct. 2001, vol.61, no. 4, p. 444-451. ISSN 0365-2807.

Roth, G.W. 1993. Consistency of corn hybrids quality differences for silage in the Northeast US. Proc. Silage Production From Seed to Animal. Nat. Silage Production Conference. NRAES 67: 28-35.

Roth, G.W. and D. Undersander. 1995. Corn silage production, management and feeding. American Society of Agronomy, Inc., Crops Science Society of America, and Soil Science Society of America, Inc. Weinberg et al., 1996.

Roth, G.W. and J.G. Lauer. 1997. Agronomist's perspective of corn hybrids for silage. Proc. Silage: Field to Feedbank. North American Conference. NRAES-99: 15-24.

Sánchez, P. 1981. Suelos del trópico: Características y manejo. Traducido del inglés por Edilberto Camacho. Primera edición. San José, Costa Rica: IICA. P. 660.

Sánchez, A. 1998. Leguminosas como potencial forrajero en la alimentación bovina. FONAIAP. Estación Experimental del Estado de Falcón. Venezuela.  
(<http://www.Ceniap.gov.ve/publica/divulga/fd50/leguminosas.htm>)

SAS Inst., 1990. SAS/STAT User's Guide (version 6.12). SAS Inst. Inc., Cary, N.C.

Scharf, P.C., W.J. Wiebold and J.A. Lory. 2002. Corn yield response to nitrogen fertilizer timing and deficiency level. Agron. J. 94:435-4.

Skerman, P. J. 1991. Gramíneas tropicales. Colección FAO: Producción y protección vegetal. (23):1-730.

Sinclair, R., L Wedge y A. Romero. 1991. Utilización de rastrojos en la alimentación de animales. Pasturas Tropicales 13(3): 20-22.

Sinclair, T.R. and R.C. Muchow. 1995. Effect of nitrogen supply on maize yield. I. Modeling physiological responses. Agron. J. 87:632-64.

Soto, P., E. Jahn y S. Arredondo. 2002. Población y fertilización nitrogenada en un híbrido de maíz para ensilaje en el valle central Regado. Agric. Téc. Abr. 2002, vol. 62, no.2, p.255-265.

Soto, P., E. Jahn y S. Arredondo. 2004. Mejoramiento del porcentaje de proteína en maíz para ensilaje con el aumento y parcialización de la fertilización nitrogenada. Agric. Téc. Abr. 2004, vol. 64 no. 2, p.156-162.

USDA (U.S. Dept. Agr.). 1999. Economics of Water Quality Protection from Non-point Source: Theory and Practice. Washington D.C. 107 pp.

USEPA (United Environmental Protection Agency); USDA (U.S. Dept. Agr.). 1999. Estrategia Unificada para Operaciones de alimentación Animal. Office of Wastewater Management. Washington D.C. 72 pp.

Van Soest, P.J., J.B. Robertson and B.A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and starch polysaccharides in relation to animal nutrition. Journal of Dairy Science. 74:3583.

Van Soest P.J. 1994. Nutritional Ecology of the Ruminant 2ed. Comstock Publ. Assoc., Ithaca, N.Y. p. 112.

Valencia, E., R. Sanabria, K. Tous and A.A Rodríguez. 2005. Silage yield, fermentation characteristics and aerobic stability of two hybrids corns. American Forage and Grassland Council. p 185-189.

Valencia, E., R. Tirado, H. Díaz and M. Adjei. 2006. Dairy effluents rate effects on herbage mass nutritive value of stargrass (*Cynodon nlemfuensis* *Vanderyst* var. *nlemfuensis*) pastures. Abst. ASA Indianapolis.

Wardynsky, F.A. 1991. Effects of microbial cultures and various other additives on the feeding quality, fermentation pattern, dry matter recovery and aerobic stability of high moisture corn. M.S. Department of Animal Science, Michigan State University.

Weinberg, Z.G., G. Szakacs, G. Ashbell and Y. Hen. 2001. The effect of temperature on the ensiling process of corn and wheat. J. Appl. Bacteriol. 90 (4): 561-566

Weinberg, Z.G. and R.E. Muck. 1996. New trends and opportunities in the development and use of inoculants for silage. FEMS Microbiol. Rev., 19: 53-68.

Wing Ching, R., A. Rojas y A. Quan. 2005. Nitrógeno orgánico y químico en sorgo negro con cobertura permanente de maní forrajero. I. Características nutritivas y de producción. Agronomía Costarricense 29(1): 29-39.

Woolford, M.K. 1990. The detrimental effects of air on silage. J. Appl. Bacteriol. 68:101-116.

Yuncosa, N., Ch. Benlinger y T. Pérez. 2006. Evaluación preliminar de cinco leguminosas para ser usadas como cobertura en el municipio Andrés Bello, estado de Trujillo, Venezuela. Simposio-Taller: Experiencias en Agroforestería ejecutadas o en proceso por INIA. Venezuela.