

inia

**INSTITUTO
NACIONAL DE
INVESTIGACIÓN
AGROPECUARIA**

URUGUAY



**EL CULTIVO DE MAÍZ
PARA LA PRODUCCIÓN
DE FORRAJE Y GRANO Y
LA INFLUENCIA DEL AGUA**

Febrero, 2018

SERIE
TÉCNICA

239

INIA

EL CULTIVO DE MAÍZ PARA LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE Y GRANO Y LA INFLUENCIA DEL AGUA

Autores: Fassio A.¹, Ibañez W.², Fernández E.³, Cozzolino D.⁴, Pérez O.⁵, Restaino E.⁶, Pascal A.⁷, Rabaza C.⁸, Vergara G.⁹

¹ Ing. Agr., Programa Nacional de Cultivos de Secano

² Tec. Agrop., Asesor Privado en Biometría

³ Ing. Agr. (MSc.) Economía Agrícola,

⁴ Ing. Agr. (PhD.), Laboratorio de Nutrición Animal INIA La Estanzuela, actualmente: Head of Agriculture, Central Queensland University, Rockhampton. Queensland

⁵ Ing. Agr. (Mag.) Programa Nacional de Cultivos de Secano

⁶ Ing. Agr. (MSc.), Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología

⁷ Ing. Agr., Asesor Privado

⁸ Asistente de Investigación, Programa Nacional de Cultivos de Secano

⁹ Auxiliar de Investigación, Programa Nacional de Cultivos de Secano

Título: EL CULTIVO DE MAÍZ PARA LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE Y GRANO Y LA INFLUENCIA DEL AGUA

Autores: Fassio A., Ibañez W., Fernández E., Cozzolino D., Pérez O., Restaino E.
Pascal A., Rabaza C., Vergara G

Serie Técnica N° 239

ISBN 978-9974-38-390-6

© 2018, INIA

Editado por la Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología del INIA
Andes 1365, Piso 12. Montevideo, Uruguay.
<http://www.inia.uy>

Quedan reservados todos los derechos de la presente edición. Esta publicación no se podrá reproducir total o parcialmente sin expreso consentimiento del INIA.

Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria

Integración de la Junta Directiva

D.M.T.V., Ph.D. José Luis Repetto - Presidente

Ing. Agr., M.Sc., Ph.D. Álvaro Roel - Vicepresidente



Ing. Agr., M.Sc. Diego Payssé Salgado

Ing. Agr. Jorge Peñaricano



Ing. Agr. Pablo Gorriti

Ing. Agr. Alberto Bozzo



CONTENIDO

Página

1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. Calidad forrajera	3
2.1.1. Características nutritivas del ensilaje.....	4
2.2. Efecto de las características genéticas sobre la calidad del forraje	6
2.2.1. Producción de materia seca	8
2.2.2. Digestibilidad	8
2.2.3. Índice de cosecha	10
2.2.4. Área foliar	13
2.2.5. Características del tallo.....	14
2.2.6. Relación: hoja/tallo	15
2.2.7. Capacidad de macollaje.....	16
2.2.8. Ciclo	17
2.2.9. Cultivares	17
2.3. Efectos ambientales sobre la calidad forrajera	18
2.3.1. Temperatura	18
2.3.2. Luz y fotoperiodo.....	20
2.3.3. Humedad del suelo.....	21
2.3.4. Siembra y población de plantas	21
2.3.5. Estadio de madurez y momento de cosecha	22
3. ENSAYOS REALIZADOS EN LA ESTANZUELA: Análisis de resultados experimentales.....	27
3.1. Composición de la varianza de maíz para la producción de forraje y grano..	27
3.1.1. Efecto del año, época y cultivar sobre el rendimiento en grano en seco..	27
3.1.2. Efecto del ambiente, población y ciclo sobre el rendimiento en grano y materia seca en seco y con agua no limitante.....	28
3.1.3. Efecto del ambiente, distribución y población por ciclo sobre el rendimiento en grano y materia seca en seco y con agua no limitante.....	30
3.2. Composición de la varianza de maíz para factores de calidad nutricional.....	31
3.2.1. Efecto del ambiente, ciclo y cultivar sobre parámetros de calidad nutricional en seco y con agua no limitante	31
3.3. Prácticas de manejo del cultivo que determinan rendimiento y calidad	32
3.3.1. Época de siembra	32
3.3.2. Población.....	37
3.3.3. Distribución	40
3.3.4. Cultivar.....	41
4. CONSIDERACIONES FINALES	43
5. BIBLIOGRAFÍA.....	45

1. INTRODUCCIÓN

En Uruguay, como en otras regiones templadas a subtropicales, es muy común que durante el verano se presenten deficiencias hídricas en la producción agropecuaria. Particularmente, para la producción animal este período ha sido casi siempre crítico, dado que normalmente se ven afectadas la producción y fundamentalmente, la calidad del forraje de las pasturas.

Ya sea con el objetivo de mejorar la producción y la calidad del forraje que se ofrece durante el verano, o el de confeccionar reservas de alimento para suplementar animales en los periodos de menor disponibilidad de forraje como otoño-invierno, la mejor opción que han tenido los productores ha sido la de sembrar verdes o cultivos de ciclo estival. En ese contexto, y sin realizar consideraciones de riesgos y costos, el maíz ha sido siempre el cultivo por excelencia en sistemas de producción intensivos de leche y carne.

Características bien conocidas del cultivo de maíz son su alto valor nutritivo; su alta tasa de crecimiento ya que es una especie tipo C4, lo que le permite producir un gran volumen de forraje en un período de tiempo relativamente corto y que puede sembrarse en un rango amplio de fechas, dándole esto una mayor flexibilidad cuando se lo incluye en rotaciones intensivas. Adicionalmente, la

oferta de maíces transgénicos con resistencia a insectos y tolerancia a herbicidas, ha aportado al productor una ventaja adicional a la hora de optar por el cultivo de esta especie.

Cuando el suelo y el clima son adecuados para el crecimiento del maíz, el ensilaje de la planta entera puede producir mucha energía digestible por hectárea, constituyéndose en una excelente fuente energética.

En Uruguay, el cultivo de maíz para forraje se ofrece al ganado como: 1) fundamentalmente, en forma de ensilaje de planta entera luego de cortado y picado (conservación en medio ácido); 2) forraje verde cortado y luego picado o no y mezclado o no con otros alimentos; 3) forraje verde para pastoreo y 4) rastrojo o residuos de cosecha. Es muy poco frecuente hoy, el forraje de maíz secado en parvas con mazorcas o sin ellas.

En este trabajo no será tratada la producción de maíz para silo de grano húmedo, debido a que en dicha producción, no se incluyen hojas ni tallos.

Conocer el valor nutritivo y las características de fermentación del material ensilado es de fundamental importancia, no sólo en los aspectos de producción, sino en lo que respecta a costos económico-financieros del establecimiento. Los requisitos de los cultivos





destinados a grano no son los mismos que aquellos destinados a forraje. En este sentido, la Evaluación Nacional de Cultivares de Uruguay (convenio INASE-INIA), evalúa los cultivares de maíz para grano en experimentos separados y con un protocolo diferente que los cultivares para silo.

Esta publicación consta de dos partes principales. En la primera se intenta recopilar los antecedentes bibliográficos relevantes en relación a la calidad y valor nutritivo del maíz para alimentación animal. Se exploran los trabajos relativos a la incidencia de los factores ambientales y genéticos sobre sus características nutritivas y su rendimiento. La segunda parte compila el resultado de varios años de ensayos, realizados en diferentes localidades y fechas, intentando cuantificar la importancia de componentes

ambientales y de manejo sobre el rendimiento, la calidad y las características agronómicas del cultivo.

En base a literatura recabada y resultados de experimentos realizados en la Estación Experimental INIA La Estanzuela, este trabajo tiene como objetivo contribuir a un mejor conocimiento sobre la productividad y la calidad del maíz para uso forrajero, teniendo en cuenta cómo influyen en la performance animal y como se ven afectadas por las características genéticas de la planta y los efectos ambientales que ocurren durante su ciclo de crecimiento. Una mayor comprensión de estas consideraciones, contribuye a una correcta toma de decisiones e implementar medidas de manejo tendientes a maximizar la producción y calidad de forraje para nuestras condiciones.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Calidad forrajera

Por su origen y diferenciación evolutiva, las especies de plantas difieren en su estructura física y en su composición química, entre otros aspectos. En gran medida, las diferencias mencionadas hace que las especies sean más o menos preferidas, más o menos palatables, más o menos tóxicas y más o menos nutritivas para el consumo de los animales. Respecto a las características nutritivas, la mayoría de los alimentos clasificados como forrajes presentan alto contenido de fibra cruda y bajos contenidos relativos de proteína y de energía. El Consejo Norteamericano de Investigación (NRC) (1982) clasifica como forrajes a los alimentos de baja digestibilidad que contienen más de 18 % de fibra cruda. El maíz es una especie forrajera destacada porque presenta un alto volumen de forraje, un contenido de fibra cruda igual o superior a 18 %, y sobre todo porque presenta un contenido de nutrientes digestibles totales superior a 70 % en base seca.

La composición nutritiva del forraje es más variable que la del grano, difiere según genotipo, estadio fenológico de la planta y factores ambientales. Debido a esta variabilidad es importante conocer la calidad del forraje que se va a ofrecer a los animales, de forma de poder presupuestar mejor el alimento y tomar mejores decisiones de manejo en lo que alimentación de los animales se refiere. Las definiciones de calidad del forraje son muchas y variadas, pero las más útiles son las que conciernen a respuestas biológicas de performance animal o de consumo voluntario de energía digestible (Moore, 1980).

El maíz como forraje, se cultiva con el objetivo principal de ser transformado en carne

y leche. El valor del cultivo estaría determinado por la eficiencia de conversión de forraje a producto animal. Esta conversión es afectada por la digestibilidad del forraje, el consumo animal y la eficiencia de utilización del alimento. Estos factores están influidos tanto por las características del animal como por las de la planta. El consumo y la eficiencia del alimento sólo pueden ser medidos utilizando animales en experimentos costosos. En cambio, la digestibilidad puede ser predicha con seguridad por medio de la incubación *in vitro* de forraje molido en fluido ruminal (Deinum *et al.*, 1984). La aptitud del maíz para obtener un ensilaje de calidad está estrechamente relacionada con la concentración de lignina, con la digestibilidad de la pared celular de la planta (principalmente del tallo) y con



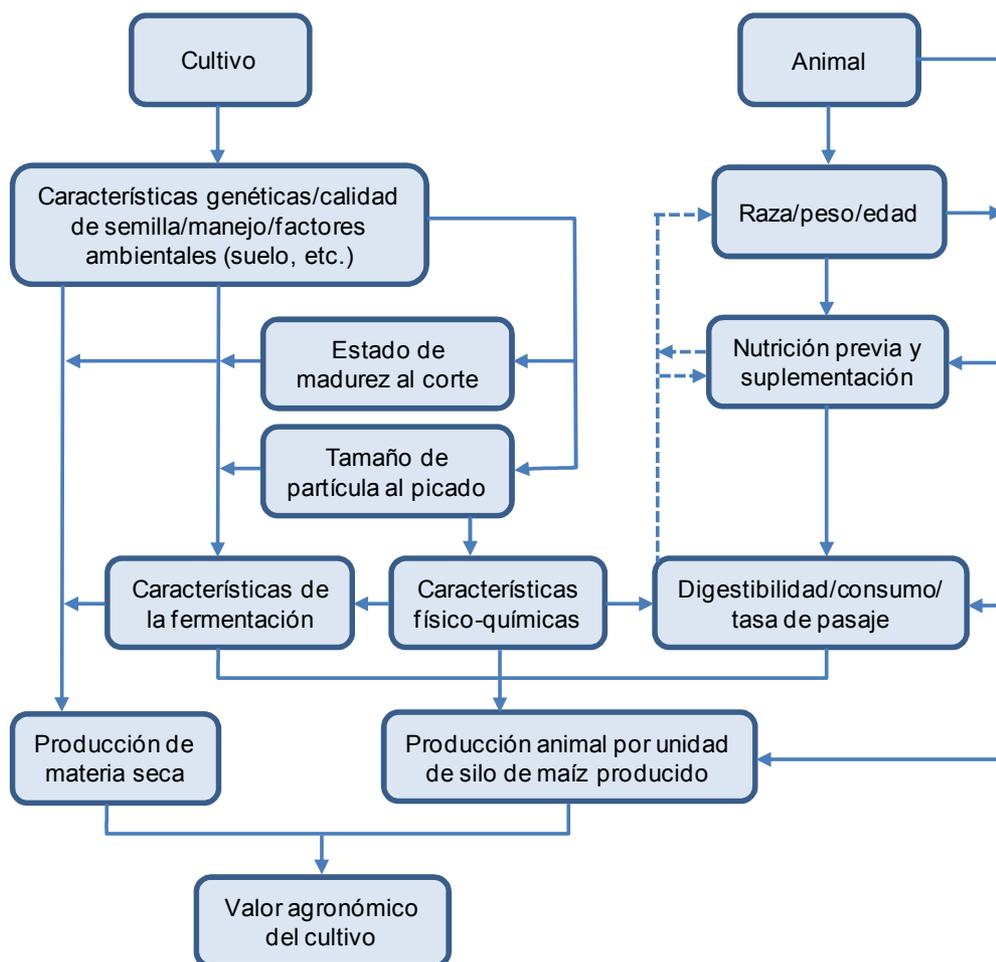


Figura 1. Factores involucrados en el valor agronómico de un cultivo de maíz forrajero.

el contenido de granos en relación a la biomasa total al momento de ensilar (Fisher y Burns, 1987).

El maíz forrajero es utilizado principalmente como fuente de energía en la alimentación animal. Como alimento es insuficiente para cubrir los requerimientos de proteína de categorías de alta producción; a la vez que también es deficiente en algunas vitaminas y minerales (Deinum y Struik, 1986).

El valor nutritivo del maíz está determinado por factores que afectan la distribución de la materia seca (MS), el envejecimiento y la preservación. La Figura 1 indica los factores involucrados en el valor agronómico de un cultivo de maíz forrajero.

Los objetivos principales en la producción de maíz forrajero son la obtención de un alto rendimiento de MS, alta calidad alimenticia para los rumiantes y un adecuado porcentaje de MS para asegurar una apropiada fermentación y consumo por parte del ganado.

2.1.1. Características nutritivas del ensilaje

El ensilaje de maíz de planta entera es de alto contenido energético, debido a que gran porcentaje de su MS se constituye de almidón y azúcares solubles, componentes de la fracción "Extracto no Nitrogenado" (ENN). La fracción ENN presenta una digestibilidad de 70 a 75 % y constituye aproximadamente 60 % de la MS. La fibra cruda está constituida principalmente por celulosa, hemicelulosa y

pentosanos; siendo su digestibilidad del orden de 60 %. El ensilaje de maíz no es una buena fuente proteica. Su contenido de proteína cruda (PC) varía entre 6 y 12 %, según la fertilidad del suelo y las diferentes condiciones de crecimiento (Jorgensen y Crowley, 1988) resultando en un aporte insuficiente de proteína para algunas categorías animales cuando se consume como único alimento.

El contenido de caroteno del ensilaje de maíz puede variar entre 0 y 44 mg kg⁻¹. Cuanto más verde está la planta, mayor es el contenido de caroteno. Los factores que pueden disminuir el contenido de caroteno en el ensilaje de maíz son: la madurez avanzada, el daño por heladas y el daño por calor durante el almacenamiento (Jorgensen y Crowley, 1988). Un ensilaje de maíz bien conservado debería proveer adecuada cantidad de caroteno para cubrir los requerimientos de vitamina A del ganado. En cambio, el ensilaje de maíz no es una buena fuente de vitamina D, calcio y fósforo.

En Uruguay, al analizar la calidad de 30 silos de planta entera de maíz presentados

al 7mo. Concurso Nacional de Silos (INIA-IPA-Diario Rural, 2007), provenientes mayormente de las regiones centro sur y litoral, se encontró un contenido promedio de energía metabolizable (EM) de 2,32 Mcal kg⁻¹ de MS, variando entre 1,9 y 2,69 Mcal kg⁻¹ de MS. La digestibilidad promedio de la materia orgánica fue de 62,9 %, con un mínimo de 55,5 % y un máximo de 69,9 %; los valores de PC fueron de una media de 6,8 %, variando entre 5,4 y 9,0 %; y los de fibra detergente ácido (FDA) de 33,4 %, con un mínimo de 25,2 % y un máximo de 43,5 % .

El silo de maíz de acuerdo a su estado a la cosecha (desde grano lechoso a maduro) puede poseer de 8 a 9 % de PC, 65 a 72 % de nutrientes digestibles totales, 32 a 27 % de FDA, 0,40 a 0,28 % de calcio y 0,27 a 0,23 % de fósforo respectivamente; todos los contenidos expresados sobre base seca (Beef Magazine, 2011). En el Cuadro 1 se muestran valores nutritivos de ensilaje de planta entera de maíz y de estructuras separadas de la planta.

Cuadro 1. Valor nutritivo de ensilaje de planta entera de maíz y de sus estructuras por separado.

Alimento	Materia Seca (MS)		Composición de la MS					
			Proteína Cruda		Fibra Cruda		Nutrientes Digestibles Totales	
	%	Rango	%	Rango	%	Rango	%	Rango
Ensilaje de planta entera								
% MS < 32	26	20-32	10.4	7-16	23	19-36	71	60-72
32 < % MS < 38	35	32-38	9.4	5-15	21	19-33	68	63-75
% MS > 38	50	38-72	9.0	6-14	19	16-30	67	60-72
Partes de la planta								
Chala	40	27-78	6.8	4-8	34	28-42	58	46-62
Marlo	75	60-90	2.5	2-5	36	30-42	47	44-54
Ensilaje de mazorca molida de maíz.	32	28-36	9.2	7-12	6	3-9	84	-
Ensilaje de grano de maíz.	30	25-35	9.5	7-12	2	2-3	91	-
Ensilaje de maíz sin grano o maíz de alto contenido de azúcar.	22	20-28	9.6	8-11	33	25-36	65	-

Tomado de Jorgensen y Crowley (1988)

Los híbridos androestériles poseen un alto contenido de azúcares y mayor cantidad de carbohidratos solubles que el maíz amiláceo dentado común. Los híbridos comunes tienen 8 a 10 % de azúcares en su MS, mientras que en los cultivares sin grano, el contenido de azúcares puede alcanzar entre 16 y 18 % de la MS (Jorgensen y Crowley, 1988).

La digestibilidad y valor energético de la MS son similares en el ensilaje de maíz con alto contenido de azúcares y el ensilaje de maíz dentado amiláceo. El primero tiene una leve mayor digestibilidad de la proteína, aunque a la vez una menor producción de MS ha-1 que el dentado amiláceo.

En relación al consumo y respuesta animal en consumo bajo pastoreo directo, en Uruguay, Acosta *et al.* (1984) compararon la variación de peso, contenido de grasa y producción de leche sin corregir y corregida por contenido de grasa, de un pastoreo de sudangrás con uno de maíz en estadio de grano lechoso temprano. Los autores no observaron diferencias significativas entre especies para los parámetros evaluados, excepto en la variación de peso ($P < 0,001$) (Cuadro 2).

También para producción de leche bajo pastoreo, Mieres *et al.* (1985) evaluaron durante 22 días una dieta con sudangrás y otra con maíz en dos estadios fisiológicos, vegetativo y lechoso. Si bien los tratamientos tuvieron similar aptitud para la producción de leche, con el maíz hubo una pérdida de peso de los animales utilizados.

2.2. Efecto de las características genéticas sobre la calidad del forraje

Las especies forrajeras difieren ampliamente en su composición química y valor nutritivo, aún cuando se cultiven bajo las mismas condiciones ambientales. Incluso plantas individuales dentro de una misma especie pueden diferir en su valor nutritivo. Es posible por lo tanto la selección de forrajes más nutritivos para una mejor performance animal (Hoveland y Monson, 1980). Existe en el maíz, una variación genética sustancial del rendimiento y calidad de la parte vegetativa en los materiales de mejoramiento comunes; existiendo un amplio rango de rendimiento de MS de la parte verde y del contenido de energía metabolizable (Geiger *et al.*, 1986).

Sin embargo, pretender aumentar la digestibilidad del maíz para silo requiere especial cuidado, debido a que su fisiología, patrón de producción y composición química se desvían de otros forrajes comúnmente utilizados.

Debido a que la mayoría de los cultivares comerciales comúnmente utilizados han sido seleccionados sólo por rendimiento de grano, Vattikonda y Hunter (1983) estimaron la variación de caracteres deseados para ensilaje de forraje de planta entera. El estudio se realizó en 81 híbridos recomendados para producción de grano sembrados en dos sitios y dos años. Los autores concluyeron lo siguiente:

Cuadro 2. Resultados productivos de pastoreo de sudangrás y de maíz en estadio de grano lechoso temprano.

	Sudangrás	Maíz
LSC a (L vaca día-1)	11,7	12
Grasa (%)	3,5	3,5
LCG b (L vaca día-1)	10,8	11
Variación de peso (kg vaca día-1)	0,896	-0,658

a leche sin corregir

b leche corregida por grasa

Adaptado de Acosta *et al.* (1984).

- Hubo una relación significativa entre la performance de los híbridos para rendimiento en grano y su rendimiento para silo. Sin embargo, los coeficientes de determinación en ambos sitios ($R^2=0,23$ y $R^2=0,25$), no permitieron una selección confiable de híbridos para producción de silo basándose solo en el desempeño de rendimiento de grano.
- El contenido de MS del grano proveyó una estimación razonable de la madurez de la planta para la producción de silo. Los coeficientes de determinación entre contenido de MS del grano y de la planta entera fueron $R^2=0,71$ y $R^2=0,53$ para cada sitio, respectivamente.
- Hubo una considerable variación entre híbridos en el rendimiento de forraje de planta entera para silo, digestibilidad del material verde y de su contenido de lignina. La variación en el contenido de proteína fue menor.
- No se observó correlación entre el contenido de MS de la planta entera y la digestibilidad de la misma.
- La digestibilidad de la planta entera estuvo relacionada con el contenido de grano en el silo y con la digestibilidad del componente verde.
- Características de la planta tales como altura, diámetro del tallo y resistencia al vuelco, no estuvieron relacionadas con el rendimiento de la planta entera ni con la calidad del forraje.

En resumen, los resultados de este estudio sostuvieron la necesidad de realizar ensayos particulares para el maíz cultivado con destino a silo.

Según Struik (1983a) el genotipo o ideotipo ideal de maíz para forraje, es aquel en el que se combinan las características necesarias para maximizar la productividad y la calidad del forraje bajo las condiciones climáticas del ambiente de producción y las mejores prácticas culturales recomendadas. A nivel productivo los aspectos valorados son:

- Rendir una cantidad máxima y estable de materia orgánica digestible.
- Ser fácil de cosechar y preservar.
- Ser palatable, nutritivo y que permita un alto consumo de MS por animal.
- Ser utilizado eficientemente por el animal.

Estas demandas pueden traducirse en las siguientes características deseadas:

- Alto y estable rendimiento de MS
- Composición óptima de los contenidos celulares
- Baja cantidad de constituyentes de la pared celular (fibra)
- Alta digestibilidad de la pared celular
- Alto consumo de MS por los rumiantes
- Alto contenido de MS, especialmente en la parte vegetativa
- Moderado nivel de carbohidratos solubles en agua en la parte vegetativa



- Una cierta proporción de mazorca en la MS
- Una baja susceptibilidad a enfermedades y plagas
- Un tallo robusto y un sistema radicular superior.

Según Deinum y Struik (1986) la digestibilidad, contenido de MS y consumo deberían ser los principales objetivos en el mejoramiento de la calidad del maíz forrajero. Según Jugenheimer (1985), se necesitan desarrollar cultivares con mayor rendimiento de follaje y mejor calidad para ensilaje. Los cultivares con múltiples mazorcas y muy molidores pueden ser útiles para este fin. Debe prestarse consideración al rendimiento, porcentaje de MS, relación de mazorcas a tallos y hojas, y al porcentaje de fibra cruda y proteína.

Geiger *et al.* (1986), corroboran la importancia de la parte vegetativa tanto para un máximo rendimiento de MS como para un suficiente consumo de MS. Dado que los rendimientos de MS del grano y de la parte vegetativa están débilmente y negativamente correlacionados, el mejoramiento en rendimiento de la parte vegetativa puede llegar a realizarse penalizando el rendimiento de grano. La fuerte correlación negativa entre rendimiento de MS y consumo de MS del forraje sugiere la necesidad de seleccionar sólo entre genotipos de similar madurez.

Un factor clave que limita el desarrollo de genotipos de maíz con mejor digestibilidad, es el alto requerimiento de recursos para el análisis de la dinámica digestiva *in vitro*. La Espectroscopía de Reflectancia en el Infrarrojo Cercano (NIRS) es un método rápido para predecir la calidad del forraje y ha sido utilizado con éxito para estimar la concentración de fibra y digestibilidad *in vitro* de la MS de gramíneas forrajeras (Gabrielsen *et al.*, 1988; Marten *et al.*, 1988; Villalobos *et al.*, 1991). Las ecuaciones de NIRS pueden desarrollarse para predecir exactamente la dinámica de la digestión de la fibra, los fitomejoradores pueden ahora evaluar mayores poblaciones de las que son posibles utili-

zando solo las técnicas *in vitro* estándares. Jung *et al.* (1998) encontraron una buena correspondencia entre los datos de análisis convencionales y las predicciones de NIRS ($R^2 > 0,80$).

2.2.1. Producción de materia seca

La proporción de mazorca en la materia fresca, la madurez de la mazorca y la redistribución de la MS soluble desde la fuente (hojas y tallo) a la mazorca, determinan el contenido de MS de todo el cultivo (Struik, 1983a).

La acumulación de MS en la planta de maíz es rápida después del desarrollo inicial de las hojas, alcanzando un máximo contenido de MS (próximo a 44 %) cuando alcanza la madurez fisiológica (Soto y Jahn, 1983). La acumulación de MS desde el estadio de grano lechoso a estadio pastoso se da principalmente por un incremento del peso de las mazorcas (Genter *et al.*, 1970). Hacia el final del ciclo del cultivo de maíz, el aporte de los tallos a la MS total es menor; esto se debe a la translocación de los productos de la fotosíntesis durante el llenado de grano, principalmente los carbohidratos solubles en agua glucosa, sacarosa y fructosa, que se mueven del tallo a la mazorca donde se depositan como almidón (Phipps y Weller, 1979).

2.2.2. Digestibilidad

La digestibilidad de la planta aumenta hasta el estadio de grano duro y después disminuye ligeramente con la maduración. No obstante, la variación de la digestibilidad es baja en el tramo que va desde un contenido de 20 % de MS hasta 50 %. (Jorgensen y Crowley, 1988).

La digestibilidad de las hojas, tallo y chala disminuye con la maduración, pero ésta disminución se compensa por un aumento de la cantidad de grano (Weaver *et al.*, 1978). Por lo tanto, cuando la planta alcanza la madurez fisiológica, mayor es la energía digestible por hectárea. Diferencias en el valor nutritivo pueden ocurrir por otros factores ajenos a la

maduración, como los agronómicos, climatológicos, condiciones de cosecha y de almacenamiento (Jorgensen y Crowley, 1988).

La digestibilidad es una característica heredable que puede ser mejorada genéticamente dado que la variación genética es considerable. Al respecto, Zimmer y Wermke (1986) evaluaron diferentes cultivares, líneas y cruza simples, encontrando una amplia variación genética en los constituyentes celulares y en la digestibilidad de la materia orgánica. Deinum y Bakker (1981), también encontraron diferencias genéticas significativas en la digestibilidad de la materia orgánica entre los híbridos analizados.

La mejor forma de mejorar la digestibilidad de la planta entera por mejoramiento parece ser la selección para una alta digestibilidad de la pared celular de las partes vegetativas. La baja digestibilidad del maíz forrajero en algunos países es en cierto grado atribuible a las condiciones ambientales, pero más aún a la elección del híbrido (Deinum y Struik, 1986).

Según Zimmer y Wermke (1986) los genotipos difieren en el valor y en la disminución de la digestibilidad con la maduración. Es decir, que existen cultivares con alta digestibilidad en un estadio de crecimiento temprano, pero con una rápida disminución de la misma hacia su madurez. Mientras, otros cultivares presentan una baja digestibilidad en estadios tempranos, pero en cambio presentan una disminución más lenta de la misma.

La digestibilidad de la materia orgánica es uno de los principales parámetros de cali-



dad. La fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácida (FDA) y lignina detergente ácido (LDA), son importantes parámetros de los constituyentes de la pared celular que se relacionan directamente con la digestibilidad. La falta de interés en las diferencias en calidad del maíz para uso forrajero ha resultado en la introducción de nuevas variedades que presentan cambios leves en los valores de digestibilidad de la materia orgánica pero menores que otras características que han mejorado significativamente (Struik, 1983a). Por ejemplo, con la mejora de las características agronómicas para lograr un cultivar de alto rendimiento en grano, también se ha seleccionado por resistencia de la caña al quebrado. Dicha resistencia se logra a través de un incremento del contenido de lignina en la pared celular (Pinter, 1986).

Sin embargo, incrementar la digestibilidad del maíz forrajero por mejoramiento genético es posible sin mayor sacrificio del rendimiento (Deinum y Bakker, 1981). Por otra parte, Zimmer y Wermke (1986) encontraron que el contenido de lignina detergente ácido (LDA) es el mejor parámetro para predecir la digestibilidad ($R^2 = 0,627$). Actualmente, técnicas como la del NIRS y la de digestión de celulosa se correlacionan lo suficientemente bien con la digestibilidad, por lo que su empleo permite una reducción de tiempo y costo de las evaluaciones (Deinum y Struik, 1986).

La utilización de silo de maíz por el ganado rumiante puede ser mejorada a través de la selección por menor concentración de fibra o por el incremento de su tasa de digestión

(Jung y Allen, 1995). El incremento de la digestibilidad de la fibra del maíz puede aumentar el consumo de MS y la tasa de ganancia de novillos (Roth y Klopfenstein, 1987).

Por otra parte la digestibilidad es un parámetro bastante estable bajo diferentes condiciones. Los datos de Deinum y Bakker (1981) y Deinum y Struik (1986) indican que la interacción genotipo x localidad y la de genotipo x año, son bajas para la digestibilidad y contenido de pared celular del maíz forrajero.

2.2.3. Índice de cosecha

El índice de cosecha se calcula como la relación de grano a parte aérea total, reflejando la proporción de grano en el material cosechado. El índice de cosecha considerado ideal, varía según los diferentes investigadores, probablemente debido a los diferentes ambientes en que se realizaron sus trabajos, particularmente en lo que refiere a diferencias en temperatura, largo de día e intensidad de luz (Pinter, 1986).

Un mayor porcentaje de grano no implica necesariamente una mejor calidad del material para ensilar, ya que una baja calidad de la planta, o una caída brusca de la digestibilidad (debido a una gran lignificación del tallo), pueden restar al efecto favorable que implica un mayor rendimiento de grano en la espiga (Wilkinson *et al.*, 1978). Es por esto, que el mayor contenido de grano es deseable siempre y cuando éste compense la caída de la calidad total de la planta. Si bien el énfasis debe ser puesto en el rendimiento de grano y de material verde, también debe ser puesto en el rendimiento de MS de la planta entera (Hunter, 1986).

Fairey (1983) encontró una correlación negativa ($r = -0,45$) entre la digestibilidad de la parte verde y el índice de cosecha. Según Moran *et al.* (1990), el valor nutritivo del material a ensilar mejora a medida que aumenta el contenido de grano en la planta hasta que éste representa el 30 a 40 % de la MS.

El envejecimiento de las paredes celulares es una de las causas de esta disminución;

sin embargo, más importante es el hecho de que en la mayoría de las regiones de cultivo de maíz, parte de la acumulación de MS en el grano se realiza por la translocación de solutos celulares digestibles desde las partes vegetativas a la mazorca. Este material translocado incluye minerales, compuestos nitrogenados y carbohidratos, cuya intensidad de translocación afecta mucho la digestibilidad final de las partes vegetativas de la planta (Struik y Deinum, 1982).

Dado el efecto negativo del llenado de grano en la calidad de las fuentes (hojas y tallos), es cuestionable si una alta proporción de grano es necesaria para obtener una buena calidad de maíz forrajero. Deinum y Struik (1986) observaron que si la polinización es pobre o inexistente, al no formarse los granos se altera la composición morfológica de las plantas, esto porque los carbohidratos que normalmente se acumulan en los granos (fosa o destino) son retenidos en la fuente. Por lo tanto, las diferencias en el establecimiento y llenado de granos tienen un efecto limitado en la producción de MS y en la digestibilidad del forraje (Figura 2). Sin embargo, los autores citados observaron que la variación en la digestibilidad causada por diferencias en el éxito de la polinización es comparable con la variación que puede obtenerse por modificación en las prácticas culturales; esto es el híbrido elegido o las condiciones del ambiente. En contraste, la remoción completa de la mazorca al momento de la emergencia de las barbas causa una reducción dramática en el rendimiento y la calidad del forraje.

Durante dos años, Coors *et al.* (1997) evaluaron tres híbridos cubriéndoles los ápices de las mazorcas en desarrollo antes de la polinización. Los tratamientos fueron tres niveles de cobertura para generar tres niveles de llenado de la mazorca (0, 50 y 100 %). Los autores observaron que la calidad nutritiva de la parte vegetativa disminuía sustancialmente al disminuir todos los componentes y aumentar el contenido de FDN. Sin embargo, para maximizar la acumulación total de MS y la calidad de toda la planta se

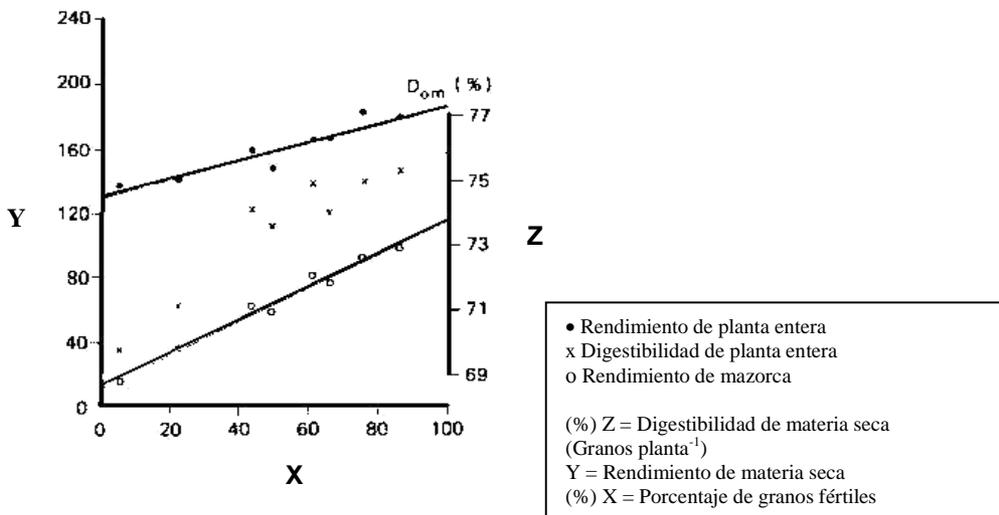


Figura 2. Efecto del porcentaje de granos fértiles en el rendimiento y digestibilidad de la materia seca

requiere de una fosa efectiva, esto debido a que los granos tienen mayor proteína, menor concentración de carbohidratos de la pared celular y son más digestibles. Deficiencias tales como fertilidad pobre y densidades altas de plantas tienden a reducir el tamaño de la fosa reproductiva en maíz en relación a la biomasa total.

Dado que los órganos de las plantas son interdependientes, la tasa de producción de MS, después de la emergencia de las barbas puede depender del éxito del establecimiento de los granos. En el mismo sentido, la esterilidad y la remoción de las mazorcas pueden reducir la fotosíntesis. En climas con altas temperaturas e intensidades de luz, el desarrollo del grano es principalmente debido a la fotosíntesis y el rendimiento total de MS es limitado por la capacidad de la fosa (Marten y Westerberg, 1972). Un mes después de la floración la tasa fotosintética de las plantas estériles puede representar solo un 55 % de la de plantas normales (Moss, 1962). La esterilidad puede reducir la MS de toda la planta hasta en un 27 %, mientras que al mismo tiempo, los rendimientos de la parte verde puede incrementarse hasta en un 59 % (Marten y Westerberg, 1972).

Por otro lado, en climas más fríos de menor intensidad lumínica, como Canadá y el norte

de EE.UU y de Europa, la demanda de la fosa o granos puede exceder a la capacidad fotosintética de la fuente. En tales áreas frías, el máximo desarrollo de la mazorca puede no ser esencial para maximizar el rendimiento total de MS (Coors *et al.*, 1997). Phipps *et al.* (1982), observaron que la esterilidad difícilmente afecta el rendimiento de MS en el Noroeste de Europa.

El clima puede entonces, alterar drásticamente el resultado en el número y peso de los granos, repercutiendo ello en la productividad y calidad de toda la planta.

La remoción completa de las mazorcas antes de la polinización puede disminuir el rendimiento entre un 50 y 60 %, siendo su remoción de un impacto mucho mayor que el de la prevención del establecimiento de los granos (Leshem y Wermke, 1981). En plantas estériles que todavía llevan el marlo, tallo y chalas, la capacidad de almacenamiento de esas estructuras, aun cuando es muy reducida, es menos limitada que en plantas cuyas mazorcas han sido completamente removidas. La diferencia de efectos entre la remoción de las mazorcas y de la esterilidad, es equivalente a la capacidad de almacenamiento del marlo, tallo y chalas. Cuando la capacidad de almacenamiento de estas estructuras es insuficiente, como por

ejemplo por condiciones climáticas, el llenado de grano es necesario para mantener una alta productividad (Struik, 1983a).

Además de los efectos mencionados sobre la digestibilidad, fotosíntesis, producción y capacidad de almacenamiento, el llenado de grano tiene otros efectos secundarios:

- El contenido de almidón en el silo se incrementa de manera importante porque éste, tiende a permanecer inerte durante la fermentación del silo, en contraste con los carbohidratos solubles que son rápidamente convertidos a ácidos orgánicos.
- Si el llenado de grano es inhibido, más pared celular se producirá en la parte vegetativa (Deinum y Knoppers, 1979).
- El contenido de MS de un cultivo granado se incrementa mucho más rápido que el de un cultivo sin grano, o que el de un cultivo con baja proporción de MS en la mazorca (Deinum y Knoppers, 1979; Phipps *et al.*, 1982; Struik y Deinum, 1982; Struik, 1983b).

Leshem y Wermke (1981) utilizaron diferentes densidades de plantas para investigar los

efectos del llenado de grano y concluyeron que el mismo no es importante para la calidad del forraje ofrecido fresco. Por su parte, Deinum y Bakker (1981) utilizaron la variación genotípica para mostrar que la proporción de mazorca de un cultivo se correlaciona positivamente con su digestibilidad. Estos investigadores descubrieron que la digestibilidad de la materia orgánica de la planta entera sólo se correlaciona parcialmente con el contenido de mazorca (Figura 3), presumiblemente debido a diferencias genéticas en la translocación de los contenidos celulares de las fuentes a la mazorca y por la pequeña variación en el contenido de mazorca.

El estadio de madurez en el momento del muestreo y la elección del tejido vegetal para la evaluación afectan la eficiencia de selección de un programa de mejoramiento de maíz. Los mejoradores deberían considerar la eficacia de muestrear temprano en el desarrollo de la planta, por ejemplo antes de la floración, como forma de evaluar los atributos de calidad de los tejidos vegetativos sin que sean afectados por los efectos que confunden como el llenado y madurez del grano (Coors *et al.*, 1997).

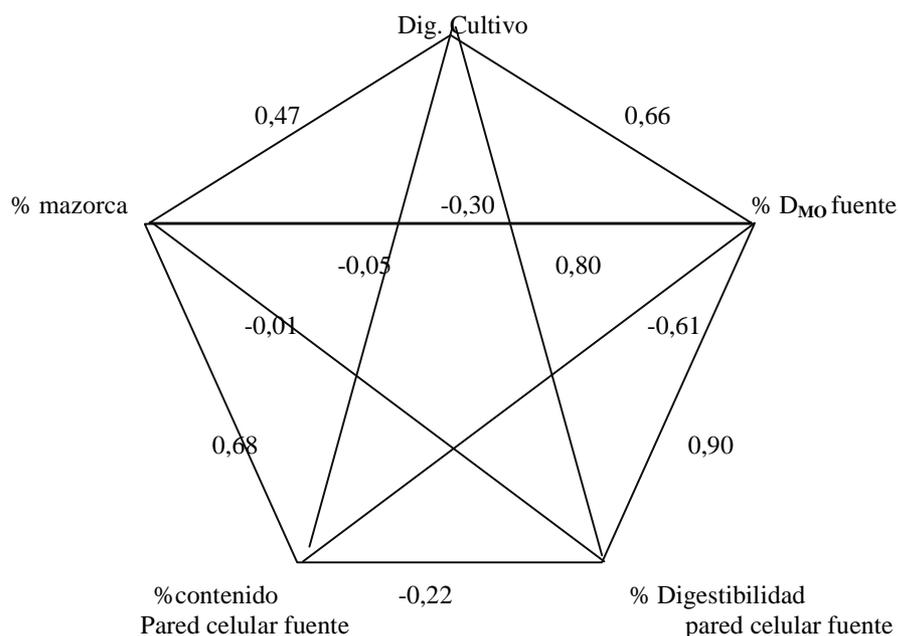


Figura 3. Coeficientes de correlación entre diferentes componentes relevantes de híbridos de maíz (Deinum y Bakker, 1981).

Estos estudios sugieren que hay una asociación negativa entre el desarrollo y el valor nutritivo de la fuente. Sin embargo, esta asociación involucra la removilización y translocación de los carbohidratos solubles disponibles, por lo que tal vez no haya un efecto pronunciado en la calidad total de la planta. Por otro lado, los genotipos de maíz que producen poco o nada de grano, aquellos de madurez muy tardía, estériles o macho estériles, han presentado un contenido de humedad mayor al deseable para un ensilado de buena calidad (Hunter, 1986).

La digestibilidad de la MS de planta entera se correlaciona positivamente con el índice de cosecha, mientras que se correlaciona negativamente con la FDN (Fairey, 1983; Russel *et al.*, 1992; Wolf *et al.*, 1993b; Cox *et al.*, 1994). Ello indica que a mayor porcentaje de granos, mayor es la digestibilidad y el potencial de consumo de la planta entera de maíz. Sin embargo, hay algunos trabajos que presentan resultados contradictorios (Roth, 1994; Argillier *et al.*, 1995). Las diferencias pueden deberse a que el estado de madurez de la planta puede confundir la relación entre el rendimiento y la calidad. Esta situación puede suceder cuando habiendo un rango significativo de fechas de madurez entre los genotipos de un experimento, éstos se cosechan a un mismo tiempo. Los genotipos de madurez más tardía pueden tener un mayor rendimiento de MS pero también una menor relación entre el rendimiento de grano y de material verde (Russell *et al.*, 1992; Argillier *et al.*, 1995). En consecuencia, los genotipos de madurez más tardía tienden a presentar un mayor contenido de fibra y una menor digestibilidad del forraje de la planta entera que los genotipos de madurez más temprana cosechados en la misma fecha.

2.2.4. Área foliar

El crecimiento de los órganos vegetativos como las hojas, depende mayormente de la temperatura, fotoperiodo (horas de luz diarias), intensidad y tipo de luz y disponibilidad de agua. De estos factores, la temperatura es el más importante durante el crecimiento

inicial de la plántula dado que la extensión de las hojas, en tamaño y forma, es afectada principalmente por la temperatura de la región meristemática del tallo. Las altas temperaturas inducen una forma más lineal, con lo que se incrementa la proporción de nervadura media, pudiéndose afectar con ello la digestibilidad. Para las hojas pequeñas esta influencia es de menor importancia (Struik, 1983a).

A pesar de que las altas temperaturas acortan el período de iniciación del prepanojamiento, con ellas también ocurre un incremento del número final de hojas independientemente del fotoperiodo: aproximadamente dos hojas por planta por cada 10 °C de aumento de la temperatura (Tollenaar y Hunter, 1981). Este incremento en el número de hojas puede inducirse solo durante un período corto y anterior a la iniciación de la inflorescencia masculina. Un incremento del número de hojas influye de manera positiva en la productividad porque:

- El área foliar total es levemente mayor.
- La duración del área foliar es mayor.
- Se prolonga la presencia de hojas jóvenes activas y más resistentes a las heladas en la parte alta del dosel.

Sin embargo, un incremento del número de hojas provocado por las condiciones ambientales, prolonga el período de formación de pared celular y el período a pre-emergencia de barbas (Struik, 1983a). Por lo tanto, un mayor número de hojas provoca una madurez tardía y una digestibilidad menor.

Struik (1983a) encontró que el área foliar máxima alcanzada al momento de emergencia de las barbas, está muy relacionada con la temperatura a 5 cm por debajo del suelo durante la germinación. La temperatura del ápice del tallo es el principal factor que influye en la tasa de aparición de las hojas (Thiagarajah y Hunt, 1982). Una tasa de aparición de hojas mayor es favorable porque la canopia logra una más rápida y mayor cobertura del suelo. Debido a esta aceleración, los estadios de crecimiento subsiguientes coincidirán con

condiciones climáticas más favorables para el buen desarrollo del cultivo.

La exposición de las hojas a una baja intensidad lumínica durante el inicio del crecimiento vegetativo reduce considerablemente el área foliar final. El fotoperiodo sólo afecta al área foliar durante el estadio de 3 a 8 hojas (Struik, 1982). Las bajas temperaturas y particularmente el déficit hídrico afectan negativamente la tasa de extensión de las hojas de las plántulas. Los factores climáticos luego de la iniciación de la panoja, también afectan las hojas. La longevidad y actividad de las hojas son bastante más variables y se ven más afectadas por las condiciones durante los estadios de crecimiento tardíos.

Hay una relación casi lineal entre el crecimiento de la raíz primaria y la temperatura en el rango de 10 a 25 C. Como la tasa de crecimiento de las raíces es lenta a temperaturas bajas, la disponibilidad del fósforo puede volverse limitante, resultando en que las hojas se tornen violáceas debido a la pigmentación por antocianinas (Blacklow, 1972).

2.2.5. Características del tallo

La porción del tallo puede representar un 50 % o más de la biomasa total de la planta de maíz y a la vez, representar la mayor parte del contenido de fibra; de bastante menor digestibilidad que el grano (Hunt *et al.*, 1992). Por esta razón, el tallo es la estructura de la planta que más comúnmente se identifica como un objetivo potencial para el mejoramiento genético de maíz forrajero.

Las características del tallo tales como altura y diámetro, y número por unidad de superficie, son importantes porque están estrechamente correlacionadas con el rendimiento de MS. Ello se relaciona con que las características del tallo son el reflejo de la tasa de crecimiento y producción de MS durante una importante parte de la estación de crecimiento.

Las características del tallo también determinan el contenido potencial de pared celular, fracción de pobre digestibilidad. El contenido

de pared celular del tallo muestra una variación interanual considerable. Esta variación es determinada por las condiciones del ambiente durante la elongación del tallo y también por la presencia y/o grado de desarrollo de la mazorca (Deinum y Knoppers, 1979).

La altura del tallo es determinada por el número de nudos y por el largo medio de los entrenudos. El número de nudos del tallo es determinado por el fotoperiodo y por las temperaturas ocurridas antes de la iniciación de la panoja, mientras que el largo de los entrenudos es afectado por el fotoperiodo, temperatura, disponibilidad hídrica e intensidad lumínica; pero ocurridas antes y después de la iniciación de la panoja. A su vez, las condiciones edáficas durante el crecimiento temprano de la plántula también pueden afectar el largo de los entrenudos del tallo (Struik, 1983a). Si bien la temperatura afecta el largo de los entrenudos, el efecto es significativamente mayor en el diámetro del tallo (Struik, 1983a). Por su parte, el déficit hídrico reduce en gran forma el crecimiento del tallo, tanto en su longitud como en su diámetro.

El quebrado en maíz es un problema que se incrementa en la medida que se incrementa la densidad de plantas y el uso de fertilizantes nitrogenados. Estudios histológicos de tallos de híbridos de maíz han indicado que cuanto más resistentes son al quebrado, mayor es su contenido de pared celular y menor es su digestibilidad. (Thompson, 1982).

La lignina de los genotipos mutantes de nervadura central marrón (comúnmente genotipos BMR, del inglés *Brown Middle Rib*), presenta un menor grado de polimerización que la lignina de genotipos no mutantes (Lam *et al.*, 1996). En algunos experimentos estos mutantes han expresado tasas fraccionales más rápidas de digestión *in vitro* de la fibra que los genotipos de maíz no mutantes (Muller *et al.*, 1972). Sin embargo, en otros estudios no se ha encontrado un efecto consistente (Thorstenesson *et al.*, 1992). Generalmente el pobre desempeño agronómico de los híbridos de maíz con nervadura central marrón ha limitado su utilización en la



producción de híbridos disponibles comercialmente (Miller *et al.*, 1983). Sin embargo, el comportamiento agronómico negativo del carácter nervadura central marrón puede ser superado mediante la utilización del germoplasma correcto (Gentinetta *et al.*, 1990).

Miller *et al.* (1983) y Jung *et al.* (1998) identificaron líneas endocriadas no mutantes con valores de concentración y tasa de digestión de FDN iguales o superiores a los valores de líneas mutantes de nervadura central marrón. Ello muestra que es posible mejorar la digestibilidad de los tallos de maíz por selección de líneas agronómicamente superiores evitando la incorporación de la característica de la nervadura central marrón.

La dinámica de degradación de la FDN del tallo presenta una variación genética sustancial (Barrière *et al.*, 1998; Jung *et al.*, 1998). Ello implica que es posible el desarrollo de cultivares para silo con mejores parámetros de digestión de la fibra. Jung *et al.* (1998) al evaluar los entrenudos basales de tallos de 45 líneas endocriadas de maíz cosechados al momento de emergencia de barbas, encontraron que la concentración de la FDN varió entre 48,4 y 71,1 %, excluyendo a líneas de nervadura central marrón. A su vez, el efecto año y la interacción genotipo \times año fueron estadísticamente significativos, por lo que la identificación de líneas superiores requeriría de evaluaciones en múltiples ambientes.

2.2.6. Relación: hoja/tallo

La relación hoja/tallo alta, está asociada positivamente con la calidad forrajera en la mayoría de las especies. Por ejemplo, esta relación pudo ser modificada sustancialmente en el mijo perla (*Pennisetum glaucum*) por la introducción del gen de enanismo que acorta los entrenudos del tallo. El resultado neto es una reducción de los tejidos del tallo de cerca de 50 %. En plantas espaciadas, el gen del enanismo redujo el largo de los entrenudos, la altura de la planta y el rendimiento de MS; mientras que incrementó el porcentaje de hojas, la digestibilidad *in vitro* de la MS y el contenido de PC de los tallos. Por otra parte, en relación con mijo perla sin gen de enanismo, vaquillonas lecheras tuvieron una ingesta y ganancia de peso superior cuando fueron alimentadas con mijo perla enano picado y deshidratado. Experimentos bajo condiciones de pastoreo mostraron resultados similares. Por lo tanto, la introducción del gen del enanismo en una planta forrajera anual conduciría a un incremento significativo de la concentración de energía y proteína. (Burton *et al.*, 1969).

Programas de mejoramiento genético que procuren aumentar el valor nutritivo del forraje, no deberían hacer énfasis solamente en una mayor proporción de hojas a tallos y en la disminución del diámetro del tallo. Sino que por ejemplo en sorgo, la digestibilidad *in vitro* de la MS puede también incrementarse

por un incremento del diámetro del tallo pero de parénquima más blando, mayormente esto es celulosa no lignificada (Burns *et al.*, 1970).

2.2.7. Capacidad de macollaje

Los cultivares macolladores son aquellos que poseen la cualidad de manifestar uno o más macollos en la gran mayoría de sus plantas,

Choe y Lee (1986) describieron una variedad de polinización abierta de grano de tipo *flint* (vítreo), la cual sembrada a bajas densidades lograba de tres a cuatro macollos y de siete a diez mazorcas. Para esa variedad, la producción de MS de planta entera fue 500 kg superior a la de un buen híbrido simple; ello principalmente debido a un mayor peso de las hojas. Los mismos autores también compararon el valor nutritivo de silos confeccionados con forraje de planta entera, siendo el contenido de nutrientes digestibles totales para la variedad y el híbrido de 712 y 647 g kg⁻¹ de MS, respectivamente. Sin embargo, los valores de contenido de PC digestible y de ENN de la variedad fueron menores a los del híbrido, mientras que el contenido de lípidos fue similar.

Lee *et al.* (1993) y Choe *et al.* (1994) desarrollaron híbridos macolladores para silo a partir de líneas *flint* indígenas de Korea y de un maíz estadounidense de grano de tipo dentado. Cada línea con uno o dos macollos y de tres a cinco mazorcas por planta con un peso de grano de 130 a 170 mg; probablemente debido al pobre establecimiento de las mazorcas en los macollos. Entre las líneas endocriadas desarrolladas, una línea se caracterizó por poseer macollos más altos que el tallo principal (0.77 y 0.73 m vs. 0.70 m del principal), probablemente por el hecho de que las actividades del tallo principal se detendrían antes que las de los macollos, que se desarrollan después del tallo principal. Los híbridos entre esta línea y otras líneas macolladoras mostraron alturas prácticamente iguales o mayores de los macollos con respecto al tallo principal; lo que

indicaría que sería una característica heredable (Lee *et al.*, 1994).

En líneas endocriadas desarrolladas para la generación de híbridos macolladores se observó que temperaturas superiores a 25 °C durante la germinación afectan la capacidad de formación de macollos (Lee *et al.*, 1993).

Dotar a un maíz con fines forrajeros de dicha capacidad, le confiere al mismo una versatilidad netamente superior a la de un maíz común, ya que posibilita un eventual pastoreo directo o corte en estado vegetativo (entre la 12^a y la 14^a hoja desarrollada aproximadamente), con un rápido crecimiento posterior, fundamentalmente basado en los macollos y/o yemas axilares.

La primera cosecha puede llegar a ocupar un lugar estratégico en la cadena de pastoreo, ya que al tratarse de una especie de verano y en base a la amplitud de la fecha de siembra de la misma (fines de agosto – fines de enero), puede ocupar el lugar que cada sistema requiera. Si cada planta tuviera al menos un macollo que se desarrollara después del corte, la población original se regeneraría a partir de los mismos, generalmente las plantas individuales seleccionadas para tal fin, tienen más de un macollo/planta y un muy bajo porcentaje carece de ellos.

La segunda cosecha puede ser usada para silo o pastoreo nuevamente. Si la primera cosecha no se realizara, el volumen de la cosecha final competiría con buen suceso con los “maíces sileros”. Básicamente el manejo de este maíz es igual a cualquier forrajera que macolla, con los mismos factores que inciden para que los macollos se desarrollen o no.

En INIA La Estanzuela se trabajó en el Programa de Mejoramiento de Maíz, en la obtención de cultivares macolladores, a partir de la colección de germoplasma de maíz del año 1979, lográndose el pre comercial Emc9583. El proceso de mejoramiento desarrolla la capacidad de macollamiento, lo que no hace desmerecer ni la cantidad

ni la calidad del forraje con respecto a un maíz promedio

2.2.8. Ciclo

Los cultivares de maduración precoz generalmente poseen un mayor índice de cosecha, por lo que también poseen una menor proporción de material altamente lignificado al disminuir la proporción de los tallos; lo que a priori es un indicador de una mejor calidad del silo. Al respecto, Cozzolino y Fassio (1995) evaluaron seis cultivares de maíz durante tres años y tres poblaciones de siembra, dos de ciclo corto, dos de ciclo medio y dos de ciclo largo, respectivamente. Los autores observaron que a iguales poblaciones, los cultivares de ciclo medio y largo tuvieron un mayor rendimiento de MS de planta entera por hectárea. En cambio, en rendimiento de grano por hectárea, los cultivares de ciclo corto y medio fueron superiores a los de ciclo largo. También se observó que para los cultivares de ciclo largo las altas poblaciones no son beneficiosas, esto por su mayor porcentaje de tallos y por su menor índice de cosecha de grano.

Por otra parte, los mismos autores comparando la calidad de los silos de tres cultivares de diferente ciclo cosechados en un mismo estadio fisiológico, observaron una mayor digestibilidad de la materia orgánica y un mayor contenido de proteína en el cultivar de ciclo corto, siendo los valores más bajos observados en el cultivar de ciclo largo. Estas diferencias se explican por las diferentes proporciones de los componentes botánicos que integran la planta entera (hoja, tallo y grano), que tienen un efecto directo sobre la calidad de la planta entera y de su silo. En general, la digestibilidad de un cultivo de maíz disminuye cuanto mayor es el largo de su ciclo. Por otro lado, si bien con cultivares de ciclo corto pueden confeccionarse silos de muy buena calidad, tienen como inconveniente que producen un volumen menor de MS digestible por hectárea (Moran *et al.*, 1990).

2.2.9. Cultivares

Varios autores estudiando líneas e híbridos de maíz han identificado interacciones significativas de genotipo x ambiente para diferentes características de calidad de forraje (Dhillon *et al.*, 1990; Lundvall *et al.*, 1994; Argillier *et al.*, 1995; Jung *et al.*, 1998). De este modo, identificar superioridad genética para dichas características requiere de la realización de experimentos en múltiples ambientes.

En cultivares y cruzamientos simples de maíz para silo se observó variabilidad genética para, digestibilidad *in vitro* de MS, FDA, LDA (lignina), constituyentes de la pared celular y PC (Roth *et al.*, 1970). Por lo tanto, es posible el mejoramiento genético de cultivares de maíz para una calidad de silo superior a las de aquellos desarrollados solamente para rendimiento de grano.

Evaluando cuatro híbridos de maíz para silo, Struik (1983a) observó que éstos diferían principalmente en el rendimiento de los órganos no reproductivos, en los contenidos de MS de la mazorca y de la planta entera, y en la calidad de la pared celular. Los cultivares interaccionan con la siembra tardía, alta densidad de plantas y otras prácticas culturales. Esta respuesta ha sido extensamente investigada para rendimiento en grano y de la planta entera. Sin embargo, también se observa una respuesta en digestibilidad, contenido de MS, y contenido de pared celular (Phipps, 1980; Struik, 1983a).

Una cualidad de algunas variedades es la característica de permanecer por un mayor periodo de tiempo con sus hojas verdes (*stay-green*), lo que permite que el grano madure antes que el tallo y las hojas. Esto incrementa la disponibilidad de carbohidratos solubles para la fermentación y por lo tanto incrementa la digestibilidad (Wilkinson *et al.*, 1998).

Por otra parte, se han obtenido buenos resultados con la inclusión de genes de la nervadura central marrón (BMR), cuya expresión disminuye el contenido de lignina mejorando

Cuadro 3. Efectos de varios factores externos en la digestibilidad de la materia orgánica (DMO), contenido de pared celular (CPC) y digestibilidad del contenido de pared celular (DCPC) de la planta de maíz.

Factor	Efecto en:		
	DMO (%)	CPC (%)	DCPC (%)
Planta			
Alta irradiación	+	-	±
Alta temperatura	--	+	-
Alta disponibilidad de agua	± ó +	± ó -	±
Día largo	-	+	±
Cultivo			
Mayor densidad de plantas	-	+	±
Siembra tardía	-	+	±
Demora en la cosecha	-	+	-

--, efecto altamente negativo; -, negativo; ±, casi ninguno; +, positivo.

Tomado de Deinum y Struik (1986).

así la digestibilidad *in vitro* de la MS (Muller *et al.*, 1971). La selección de genotipos de nervadura central marrón, entre otras características controladas genéticamente, es una estrategia útil del mejoramiento para incrementar la energía por cada unidad de forraje producido. Sin embargo, los genotipos de nervadura central marrón presentan ciertas desventajas agronómicas, éstas son una menor resistencia al vuelco, un menor rendimiento de MS y una menor partición a granos (Gallais *et al.*, 1980). Finalmente, valores de digestibilidad similares a los de los genotipos BMR, pero sin sus desventajas agronómicas, pueden obtenerse explotando la variación genética disponible (Deinum y Struik, 1986).

2.3. Efectos ambientales sobre la calidad forrajera

El potencial genético de las especies forrajeras para producir forraje de alta calidad puede ser modificado por el ambiente. El ambiente no sólo incluye el clima, sobre el que el productor generalmente tiene poco control, sino que también incluye el manejo: del pastoreo, momento de corte, fertilización, sanidad, etc.

El maíz, como especie originaria de regiones subtropicales, está dotado de algunas de las siguientes características fisiológicas:

- Es capaz de producir carbohidratos a partir del metabolismo de fotosíntesis de tipo C4, por lo que muestra una alta tasa de fotosíntesis neta en condiciones de alta temperatura e intensidad de luz.
- Requiere de días cortos para la iniciación de las inflorescencias femenina y masculina
- Es muy sensible a la sequía, especialmente durante el desarrollo reproductivo.

Además de los efectos generales, ejercidos por las condiciones climáticas en el rendimiento, contenido de MS y digestibilidad del maíz forrajero, también ocurren efectos específicos en la fisiología y desarrollo de ciertos estadios del desarrollo del cultivo. Estos efectos y sus repercusiones se describen en el Cuadro 3.

2.3.1. Temperatura

El principal factor controlador del crecimiento y desarrollo del maíz es la temperatura siempre que haya disponible una humedad adecuada. La temperatura tiene una fuerte influencia en el crecimiento del maíz, morfología, desarrollo, producción, calidad y en el tiempo necesario para alcanzar la madurez (Struik, 1983a). La tasa de desarrollo de un genotipo dado puede predecirse a partir de la sumatoria de temperaturas, esto es especialmente cierto para el período entre emergencia de plántula y emergencia de barbas.

Utilizando una temperatura ambiente base de 8 °C ($T_b=8\text{ °C}$), un maíz de ciclo medio sembrado en la localidad de La Estanzuela, Colonia (34°20'19S; 57°41'26O) requiere de 877 °C para cumplir la etapa de emergencia a floración masculina (Fassio *et al.*, 1988). De igual manera y para el mismo período, un maíz de ciclo corto necesitaría 805 °C mientras que un maíz de ciclo largo necesitaría 938 °C. Para los tres ciclos se determinó un requerimiento de 147 °C para el período siembra – emergencia considerando una $T_b=8\text{ °C}$.

Los procesos de germinación (imbibición y elongación) son fuertemente dependientes de la temperatura del suelo. A pesar de que los cultivares germinan a 8 °C, a temperaturas menores a 10 °C el crecimiento es lento. La temperatura del suelo influye mayormente durante los primeros estadios de desarrollo, mientras que la temperatura del aire influye mayormente en las etapas posteriores (Wilkinson *et al.*, 1998). Según Struik *et al.* (1985), las altas temperaturas particularmente durante el crecimiento inicial del tallo, estimulan su desarrollo y reducen su digestibilidad. Por su parte, Cone y Engels (1990) encontraron que con las altas temperaturas durante el período previo a la floración se incrementa la concentración de lignina de las hojas.

Siembras de fechas tardías generalmente se asocian a mayores temperaturas durante el crecimiento vegetativo, por lo tanto en esas condiciones la digestibilidad final del cultivo

será menor debido a una mayor relación de hojas a granos.

Struik (1982) encontró que la temperatura influiría en la altura de las plantas, grosor del tallo, área foliar, número de macollos, fecha de anthesis y emergencia de barbas, sincronización de ambas floraciones, y tamaño de la panoja y de la mazorca.

Luego de establecido el número de granos, las altas temperaturas aceleran la tasa de llenado de grano y a la vez, la tasa de senescencia; pero también las altas temperaturas reducen la viabilidad del grano, la duración del período de llenado y el rendimiento final de grano. Respecto a la calidad del forraje, las altas temperaturas provocan una disminución de la proporción de mazorca en la planta y un incremento del contenido de pared celular en el tallo (Struik, 1983).

La fotosíntesis, respiración, transpiración, transporte y crecimiento celular son también promovidos por las altas temperaturas. Sin embargo, la fotosíntesis neta se ve menos estimulada que el desarrollo, a pesar de que ambos alcanzan su máxima tasa entre 30 y 33 °C (Duncan, 1975). Además, el desarrollo, respiración, transporte y crecimiento celular son estimulados cuanto mayor es la temperatura media de 24 horas, mientras que la transpiración y la fotosíntesis son promovidas por las temperaturas prevalentes durante la fase de luz (Duncan, 1975). De este



Cuadro 4. Efectos de un aumento de la temperatura en la producción de materia seca, pared celular y parámetros de calidad de diferentes estadios de desarrollo de maíz.

Período	Producción de materia seca	Producción de pared celular	Contenido de pared celular	Digestibilidad de la pared celular	Digestibilidad de la materia orgánica
Siembra a 6.5 hojas	++	++	± 0 +	±	± 0 -
6.5 hojas a 50 % floración	--	--	±	-	-
50 % floración a comienzo de acumulación linear de materia seca en los granos	--	- 0 ±	+	-	-
Llenado de grano	--	-	+	± 0 -	-
Todo el ciclo	--	-	+	-	-

Indica que un aumento de la temperatura produce: ++, un efecto positivo muy alto; +, un efecto positivo; ±, que son esperables efectos pequeños o inconsistentes; -, un efecto negativo alto; --, un efecto negativo muy alto. Tomado de Struik (1983a).

modo, las altas temperaturas nocturnas son particularmente perjudiciales para el normal crecimiento y desarrollo de las plantas (Grzesiak *et al.*, 1981).

La digestibilidad de las gramíneas tropicales y templadas disminuye en la medida que se incrementa la temperatura (Deinum *et al.*, 1968; Minson y McLeod, 1970). Por efecto de las altas temperaturas, en el forraje se reduce la digestibilidad *in vitro* de la MS, los carbohidratos no estructurales totales, el calcio y el magnesio; mientras que aumentan la PC, el fósforo y el potasio. La PC del forraje aumenta con las altas temperaturas debido a que también se incrementa el porcentaje de hojas y/o porque su propio contenido de PC es mayor (Vough y Marten, 1971). Deinum (1976) encontró que las temperaturas altas provocan un leve incremento en el contenido de pared celular y también, una disminución de la digestibilidad de la pared celular. Por su parte, Struik (1983a) estudió bajo una intensidad lumínica constante, cómo la temperatura afecta los diferentes estadios de desarrollo del maíz (Cuadro 4).

2.3.2. Luz y fotoperíodo

El maíz es conocido como una especie subtropical de día corto, a pesar de que también

se han identificado genotipos de día neutro y de día largo (Rood y Major, 1980). Dado que el maíz es una especie de crecimiento determinado, su tasa de desarrollo se indica por el número final de hojas.

Frecuentemente, es difícil separar el efecto de la luz del efecto de la temperatura sobre la calidad nutritiva del forraje. En condiciones de disponibilidad de agua no limitantes, la radiación solar diaria interceptada determina la tasa de crecimiento del cultivo, mientras que la temperatura define la duración del crecimiento (Andrade *et al.*, 1992). Dado que cuanto mayor es la radiación mayor es la fotosíntesis, la mejora en la digestibilidad del forraje es esperable porque aumenta el contenido de carbohidratos no estructurales totales del forraje. A su vez, el rendimiento es determinado por la cantidad de radiación, pero en cierta medida también por su distribución a lo largo del tiempo (Struik y Deinum, 1982). Por ejemplo, los autores citados encontraron que el rendimiento de mazorcas aumentó aproximadamente 10 kg ha⁻¹ por cada MJ m⁻² interceptado durante el llenado de grano; siempre que la densidad no fuera limitante.

El fotoperíodo afecta la altura de las plantas a través de su efecto en el número y largo de los entrenudos (Struik, 1982). En tanto, el

área foliar aumenta con fotoperiodos más largos no sólo porque se producen más hojas, sino también porque las hojas individuales son más largas (Hunter, 1980; Struik, 1982).

Un corto periodo de sombreado durante el desarrollo vegetativo afecta, el área foliar, la altura de plantas, el grosor del tallo y el desarrollo reproductivo. Sin embargo, su efecto en el rendimiento de MS y calidad es menor (Struik, 1983b). Contrariamente, durante la emergencia de barbas un corto periodo de sombreado puede reducir drásticamente el tamaño de la mazorca y su rendimiento final. Durante esta etapa de desarrollo, el sombreado también puede incrementar la digestibilidad del forraje, principalmente porque disminuye el contenido de pared celular. Esto se debe a que durante este período de intensa producción de material estructural, puede reducirse más la producción de pared celular que la producción de MS. Finalmente, un largo período de sombreado puede provocar un incremento de la susceptibilidad a enfermedades.

2.3.3. Humedad del suelo

El mayor efecto provocado por deficiencias hídricas en la producción de forraje es la reducción del rendimiento; mientras que un efecto secundario es la reducción del contenido de agua del forraje (Hoveland y Monson, 1980).

Respecto al contenido de nutrientes, las deficiencias hídricas pueden incrementar el contenido de proteína, esto porque el crecimiento y la acumulación de carbohidratos se ven más suprimidos que el consumo de nitrógeno que realiza la planta. Otro efecto provocado por las deficiencias hídricas es que generalmente se acelera la madurez de la planta, aunque ello tiene poco efecto en la energía digestible final del forraje (Hoveland y Monson, 1980).

2.3.4. Siembra y población de plantas

El cultivo de maíz tiene poca plasticidad foliar y reproductiva, por lo que no posee gran capacidad de compensar un número bajo de

plantas por metro cuadrado (Gardner *et al.*, 1985). La cantidad de plantas por unidad de superficie necesarias para lograr un índice de área foliar crítico es función del área foliar de cada planta (Andrade *et al.*, 1992). Sin restricciones del ambiente, el rendimiento es proporcional hasta una población de 100.000 plantas ha⁻¹ (Wilkinson *et al.*, 1998). Por otra parte, poblaciones menores a 100.000 plantas ha⁻¹, generalmente adelantan la madurez del cultivo. En ambientes menos favorables, la población óptima para la producción de maíz para silo es próxima a las 85.000 plantas ha⁻¹. Poblaciones mayores a las citadas, según para cada ambiente, reducen el número de mazorcas y la proporción de grano respecto al total del forraje producido. Actualmente, los proveedores de semillas recomiendan para cada cultivar, una combinación de ambiente de producción, población y distribución de plantas óptima. Hunter (1986) sugiere que para la producción de maíz para silo, poblaciones de siembra 20 % mayores a las recomendadas para la producción de grano, resultarían en mayores rendimientos de MS con poca o ninguna pérdida en la calidad del forraje producido.

Thom *et al.* (1981) encontraron que los rendimientos de MS ha⁻¹ de maíz a los 110 días después de la siembra, en densidades de 362.000 y 181.000 semillas ha⁻¹, estaban 42 y 32 % por encima de los de la menor densidad (85.000 semillas ha⁻¹). Sin embargo, en el estadio de grano dentado, se encontraron pequeñas diferencias en los rendimientos de MS entre las densidades antes dichas.

Leshem y Wermke (1981), observaron que pasando de 10 a 32 plantas m², el rendimiento del tallo aumenta de 25 a 40 %. No obstante, el efecto de la densidad de siembra sobre el rendimiento de hojas fue pequeño.

En experimentos realizados durante tres años y en condiciones de buena disponibilidad hídrica, Cozzolino y Fassio (1995) comparando tres poblaciones de 47.000, 71.000 y 142.000 plantas ha⁻¹, encontraron que el incremento de la población aumentó la producción total de MS y el rendimiento

de grano por hectárea. Con el incremento de la población de plantas se observó un incremento de las proporciones de hojas y tallos y una disminución de la proporción de granos. Además, cuanto mayor es la población de plantas, mayor es la proporción de MS que es depositada como pared celular en la parte verde y por lo tanto, menor es la digestibilidad de la materia orgánica (Struik y Deinum, 1982). También, se ha observado que al incrementar la densidad de plantas disminuye el contenido de proteína de la MS.

2.3.5. Estadio de madurez y momento de cosecha

La mayoría de las especies forrajeras declinan su valor nutritivo con la edad. Esto es resultado de un incremento de los tejidos de los tallos en relación al incremento de los tejidos de las hojas, combinado ello con un incremento en la lignificación de las paredes celulares. El estadio de madurez tiene más influencia en la calidad nutritiva del forraje que cualquier otro factor. Afortunadamente, este factor puede ser controlado por un manejo cuidadoso del pastoreo o del momento de cosecha (Hoveland y Monson, 1980; Church, 1991).

El avance en la madurez también afecta la composición mineral del forraje. El contenido de potasio disminuye con la madurez, generalmente más rápido que la disminución del contenido de calcio. A su vez, las gramíneas maduras, caso también del maíz, pueden ser deficientes en fósforo para los requerimientos animales (Hoveland y Monson, 1980).

El maíz pasa por dos fases de crecimiento, la primera es enteramente vegetativa y concierne al crecimiento del tallo y la aparición de hojas hasta el momento en que ocurre la emergencia de la inflorescencia masculina; mientras que la segunda fase, involucra la etapa reproductiva, momento desde que ocurre la polinización, la emergencia de barbas y el consecuente cuajado de granos e inicio de la formación de la mazorca.

Luego de la fecundación (cuajado de granos), los nutrientes son finalmente almace-

nados en los granos que se desarrollan en la flor femenina o mazorca, como almidón. El proceso de maduración del cultivo está asociado con un incremento en el contenido total de MS, desde menos de 20 % al momento de la floración, a más de 40 % cuando el grano está completamente maduro y la planta ha alcanzado su senescencia (Wilkinson *et al.*, 1998) (Fig. N° 4).

A pesar de que el incremento en el rendimiento de grano es pequeño luego de que éste ha alcanzado el estadio lechoso, el máximo valor nutritivo y de performance animal se logra cuando la planta tiene entre 30 y 35 % de MS, momento que coincide con el estadio de grano pastoso. En las variedades que presentan el rasgo de *stay-green*, el remanente verde puede tener todavía un contenido de humedad relativamente alto, por lo que se debe tener precaución con la pérdida de nutrientes del silo por un eventual mayor volumen de efluentes (Wilkinson *et al.*, 1998).

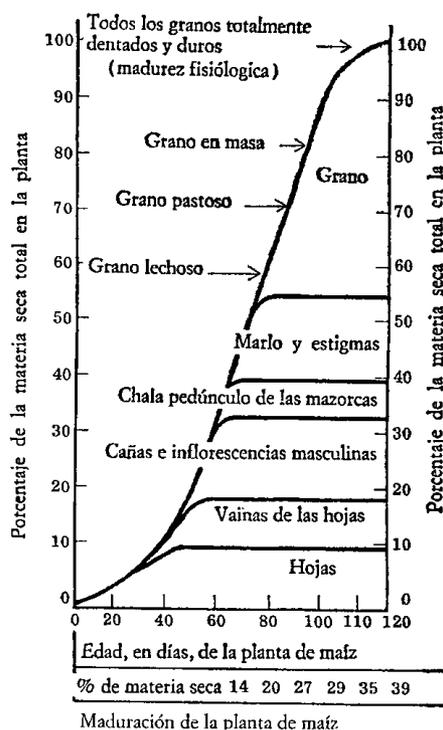


Figura 4. Efecto de la maduración de la planta de maíz en el aumento de la materia seca total.

Cuadro 5. Influencia de la maduración sobre la contribución porcentual de las diferentes partes de la planta en el total de materia seca del ensilaje de maíz.

Partes de la planta	Porcentaje de la Materia Seca Total					
	Grano lechoso	Grano blando ^a		Grano vítreo o grano duro ^b		Madurez total
Grano	21	33	41	42	51	55
Marlo		8		9		
Hojas		22		19		
Tallo		29		24		
Vainas		8		6		
Biomasa aérea restando grano	79	67	59	58	49	45

^a: 35-40 días después de la emergencia de estigmas.

^b: 50-55 días después de la emergencia de estigmas, madurez fisiológica.

Tomado de Jorgensen y Crowley (1988).

El contenido y digestibilidad de la pared celular se relacionan con la edad fisiológica de la planta (Struik, 1983a). Su contenido se incrementa hasta la floración, luego permanece constante y en la última etapa del llenado de grano disminuye. Si bien la digestibilidad de la pared celular disminuye luego de la floración, ello se compensa por el incremento del contenido de granos en la mazorca, lo que provoca una disminución del contenido relativo de pared celular no digestible. Respecto a la digestibilidad de la materia orgánica, ésta declina rápidamente hacia el período pre-emergencia de barbas y luego aumenta levemente; en relación también con el llenado de granos.

La variación de la digestibilidad después de la floración depende fundamentalmente del clima (latitud y año) y en mucha menor medida del genotipo. Esta variación de la digestibilidad se ilustra en la Figura 5, la cual muestra que para que un cultivo de maíz para silo sea de buena calidad, es crucial que ocurra un buen llenado de grano; siendo esto más importante cuando el cultivo crece en condiciones tropicales que cuando crece en condiciones templadas.

En climas tropicales, la digestibilidad disminuye de manera importante durante la elongación del tallo, esto debido a que las altas

temperaturas estimulan la lignificación. En cambio, la digestibilidad puede aumentar considerablemente luego de la floración. Esto se debe a que con una alta irradiación y un buen desarrollo de la mazorca, el contenido de pared celular se diluye en relación a la biomasa total producida por la planta. Por el contrario, en climas templados es común que luego de la floración ocurra una disminución de la digestibilidad. Esto porque si bien desde floración se parte de un forraje de buena digestibilidad, el incremento en el contenido de almidón no siempre puede compensar la disminución de la digestibilidad de la pared celular. Un mayor contenido de almidón que favorezca la digestibilidad total de la planta puede estimularse cuanto mayor sea el periodo de área foliar verde entre la floración y la madurez fisiológica (Struik, 1983a).

Cozzolino y Fassio (1995) trabajando con cultivares de ciclo corto, medio y largo, observaron que el rendimiento de MS se incrementa hasta el estadio de grano pastoso y que luego éste se estabiliza hasta la madurez fisiológica (punto negro). En cuanto a la evolución de la digestibilidad de la materia orgánica de la planta entera, los autores observaron que a partir del estadio pastoso-dentado, la digestibilidad comienza a incrementarse. En cambio, la relación

tallos/planta expresada en base seca, disminuyó desde la floración hacia el estadio de grano pastoso. Similarmente, entre los estadios de floración media y grano pastoso, la relación hojas/planta disminuyó de

40-45 % hasta un 18-20 % para el final de ciclo. Finalmente, la proporción de grano o índice de cosecha, se incrementó desde un 30 % al estadio de grano pastoso hasta 50 % al estadio de madurez fisiológica.

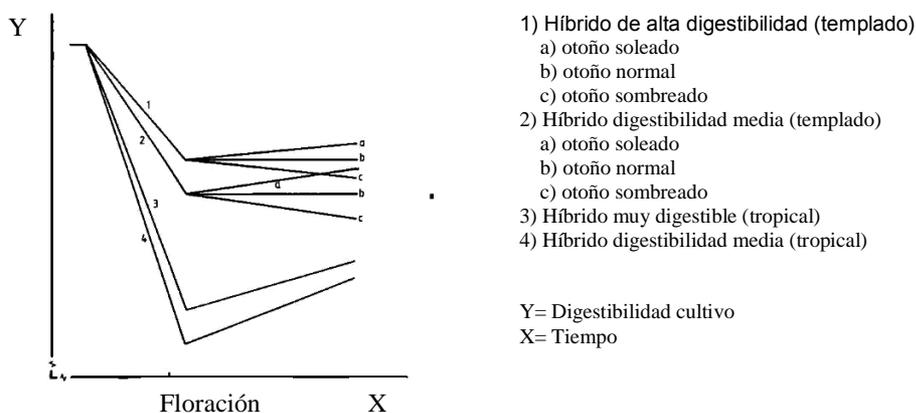


Figura 5. Variación de la digestibilidad después de la floración en 2 climas.

Cuando la planta alcanza la madurez fisiológica los granos tienen un contenido de MS de 62 a 65 %, la espiga de 55 a 60 % y la planta entera de 32 a 38 % (Jorgensen y Crowley, 1988). Cualquier variación en el porcentaje de MS después de este período, se debe a una pérdida de humedad. Por lo tanto, el momento óptimo de cosecha para la producción de silo de maíz de planta entera es al estadio de madurez fisiológica, momento en que se pueden obtener los máximos rendimientos de grano y de MS de forraje. Este momento (madurez fisiológica), se presenta cuando la mayoría de las hojas se encuentran todavía verdes y cuando también se puede obtener la mejor combinación de los siguientes factores: mínimas pérdidas en el campo y en el almacenamiento; y máximos porcentaje de MS, rendimiento de nutrientes disponibles ha-1, y consumo por animal y por día. En el mismo sentido, Gross (1987) coincide en que madurez fisiológica

es el momento en que también se produce la mayor acumulación de MS digestible.

Si se cosecha el maíz para ensilaje entre 10 y 20 días antes de que alcance su madurez fisiológica, el rendimiento de grano puede disminuir entre 1 y 1,25 % por día de adelanto (Jorgensen y Crowley, 1988). Cuando se cosecha muy temprano los carbohidratos aún no se han terminado de acumular en los granos, por lo que aumentan las pérdidas de MS por escurrimiento durante el almacenamiento. Este escurrimiento constituye una pérdida de 5 a 8 % de MS y a la vez contiene los nutrientes más importantes: azúcares solubles, proteínas, minerales y ácidos orgánicos. La magnitud de la pérdida varía según diferentes factores, como la humedad del cultivo ensilado, su capacidad de retención de agua, la altura del silo y el tipo de estructura en la que es contenido (Jorgensen y Crowley, 1988).

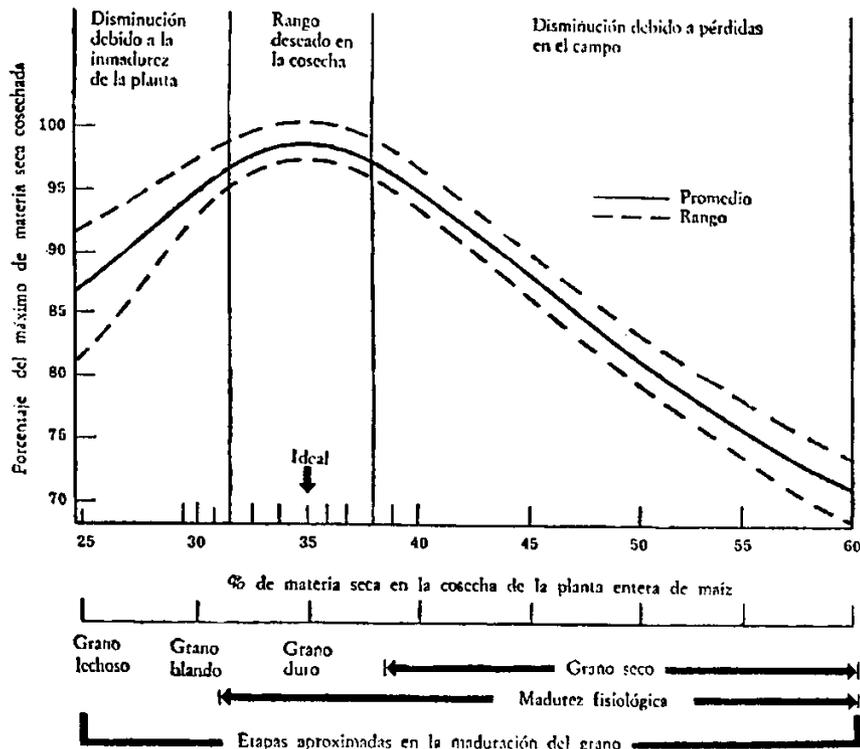


Figura 6. Efecto del estado de madurez del maíz en el rendimiento de la materia seca cosechada por hectárea.

Después de que los granos alcanzan la madurez fisiológica, una demora en la cosecha produce una alta pérdida de MS en el campo por caída de mazorcas, quebrado y vuelco de plantas, y pérdida de hojas. Como se muestra en la Figura 6 y en el Cuadro 6, la cosecha de un cultivo de maíz después de 4 a 6 semanas de que el grano

alcanzó la madurez fisiológica, representa por lo general una pérdida en el campo de 25 a 30 % de MS. Estas pérdidas varían enormemente según la variedad de maíz, la incidencia y severidad de enfermedades, los daños causados por insectos, y las condiciones climáticas (Jorgensen y Crowley, 1988).

Cuadro 6. Efecto de la demora en la cosecha después de alcanzada la madurez fisiológica de la planta, sobre las pérdidas de materia seca (MS) en el campo.

Estado de maduración del grano	Días aproximados después de la emergencia de estigmas	Contenido de MS de toda la planta %	MS ensilada %	MS perdida en el campo %
Grano vítreo o grano duro	50 - 55	32 - 38	94 - 96	4 - 6
Completamente dentado	más de 55	más de 40	70 - 85	15 - 30

Tomado de Jorgensen y Crowley (1988).

En un experimento de tres años, Chamberlain *et al.* (1978) encontraron que la cantidad de material verde ensilado, tiende a aumentar entre los estadios lechoso tardío y de pastoso temprano a pastoso tardío, y que luego tiende a disminuir desde el estadio de endosperma harinoso; ello expresado tanto en kg de MS ha⁻¹ como en porcentaje del rendimiento potencial a ser cosechado. Al respecto, vaquillonas de las razas Angus y Hereford alimentadas con silos de maíz cosechados a los estadios lechoso tardío, pastoso temprano y pastoso tardío, tuvieron ganancias promedio diarias similares pero significativamente mayores que las ganancias de vaquillonas alimentadas con silo cosechado al estadio de endosperma harinoso.

Por otra parte, la eficiencia de conversión (kg de ganancia animal por cada kg de alimento consumido) en base fresca se incrementa cuanto mayor es la madurez de la planta al momento de la cosecha; ello como consecuencia directa de un incremento del contenido de MS por kg de silo producido. Sin embargo, lo contrario se observa cuando se expresa en base seca, es decir que la eficiencia de conversión disminuye. Al respecto, según los estudios de Chamberlain *et al.* (1978) al alimentar vaquillonas de carne, el momento más apropiado para la cosecha de maíz para silo es entre los estadios pastoso temprano y pastoso tardío, y en segundo lugar, en el estadio lechoso tardío. Resultados similares a los que obtuvieron Montgomery *et al.* (1974) con ganado lechero. Desde un punto de vista práctico, si la disponibilidad de equipo y/o trabajo es limitada, entonces es preferible cosechar el silo en algún estadio de madurez anterior al óptimo, que posponer la cosecha para un estadio de madurez tardío.

El estado de madurez óptimo para la cosecha de maíz forrajero para ensilar, es cuando el almidón se presenta pastoso en la mitad más externa del grano y lechoso en la mitad más interna (Wilkinson *et al.*, 1998). Este estadio de madurez coincide con un contenido de MS de la planta entera es de aproximadamente 30 %. En esta etapa, la digestibilidad del material verde todavía es relativamen-

te alta y a la vez, el grano no está tan duro como para resistir la digestión por el animal.

Las recomendaciones de Jorgensen y Crowley (1988), para determinar el momento de cosecha de maíz para el ensilaje son:

- Comenzar a llenar el silo cuando el grano se encuentra en madurez fisiológica
- Realizar la prueba de la capa negra. Para ello, se sacan granos de la mitad de la mazorca, se parten longitudinalmente o se pelan en la punta, y se ve si tienen la capa negra.
- Controlar la humedad de los granos (entre 32 y 38 %).

Un problema común, que ocurre mayormente con los híbridos de maíz que presentan el rasgo *stay-green*, es que a medida que el cultivo madura el almidón del grano se vuelve más duro, mientras que los tallos y las hojas se encuentran todavía verdes y húmedos. Existe entonces un compromiso entre cosechar temprano cuando el grano todavía está lechoso o cosechar tarde, cuando el grano ya está muy duro (Wilkinson *et al.*, 1998).

Si el cultivo es cosechado para ensilaje de planta entera con un contenido de MS menor a 30 %, la pérdida de nutrientes puede incrementarse debido a un mayor volumen de efluentes. Por el contrario, si se cosecha muy seco (alrededor de 40 % de MS), la compactación en el silo puede ser demasiado baja, resultando en mayores pérdidas aún. Finalmente, el porcentaje de proteína en la planta disminuye a partir de la etapa de panojamiento, permaneciendo luego constante a medida que el grano pierde humedad. A continuación, se presentan contenidos de proteína cruda obtenidos por Andrieu *et al.* (1985) de plantas enteras de maíz según estadio de madurez:

- Inicio de la formación del grano (18 % de MS): 10 %
- Lechoso (23 % de MS): 9 %
- Pastoso (27 % de MS): 8 %
- Vítreo (32 % de MS): 8 %

CAPÍTULO III

ENSAYOS REALIZADOS EN LA ESTANZUELA

3. ENSAYOS REALIZADOS EN LA ESTANZUELA:

Análisis de resultados experimentales

Durante las últimas décadas numerosos ensayos han sido llevados a cabo en INIA La Estanzuela y su región de influencia, en relación al efecto de las condiciones ambientales y de variables de manejo, sobre el rendimiento y calidad del forraje y/o grano, del cultivo de maíz.

Estos ensayos comprenden varios años y localidades lo que implica diversas condiciones ambientales naturales, donde se incluyen diversos cultivares, ciclos, épocas de siembra, poblaciones y distribuciones. Adicionalmente se incorporan condiciones ambientales con “agua no limitante” a fin de aislar específicamente el efecto de esta variable sobre los componentes de la varianza.

Los ciclos son definidos como: corto, medio y largo en base al período emergencia-floración masculina, difiriendo diez días entre el corto y el medio, y entre el medio y el largo, en siembras de setiembre.

Los resultados y su discusión se presentan en tres grupos de ensayos en el siguiente orden:

3.1. Componentes de la varianza para rendimiento en forraje y grano.

3.2. Componentes de la varianza para factores de calidad nutricional.

3.3. Prácticas de manejo del cultivo que determinan rendimiento y calidad.

3.1. *Composición de la varianza del maíz para la producción de forraje y grano*

El objetivo de este estudio fue analizar la composición de la varianza de la producción de grano y forraje dada la amplia variabilidad que presentan los rendimientos que surgen de la siembra en diferentes ambientes y distintos manejos, en condiciones de secano, contrastándolos con ensayos similares, realizados en condiciones no limitantes de agua. La composición de la varianza muestra el peso relativo de cada una de las variables consideradas sobre la variabilidad del parámetro observado. En general se expresa en porcentaje y se interpreta como la porción de la varianza observada explicada por cada variable.

3.1.1. **Efecto del año, época y cultivar sobre el rendimiento en grano en secano**

Se estudiaron en tres bases de datos, la composición de la varianza en maíz, en rendimiento de grano por hectárea, para los efectos principales año-época-cultivar.

En la primera colección (I) se consideraron, 97 cultivares de ciclo medio y dos épocas de siembra: mediados de octubre y mediados de diciembre, durante un período de 7 años.

En la segunda colección (II) se consideraron 8 cultivares de ciclo medio y cinco épocas de siembra: sembradas a principio de setiembre y segunda década de setiembre, octubre, noviembre y diciembre, durante un lapso de 6 años.

Finalmente la tercera colección (III) consistió en 15 cultivares de ciclo medio, dos épocas de siembra: mediados de setiembre y mediados de diciembre, durante un período de 6 años.

Las colecciones de datos son independientes entre sí y abarcan datos de un período comprendido entre 1980/81 a 2012/13.

En el cuadro 7 se presentan los componentes de varianza en porcentaje sobre el total, base 100, de las tres colecciones de datos, para rendimiento en grano/ha de maíz.

Cuadro 7. Componentes de varianza en tres colecciones de datos para rendimiento en grano/ha de maíz, en siembras de secano.

Nº Colección F.V.	I %	II %	III %	PROMEDIO
Cultivar	1	8	2	4
Año	28	49	40	39
Época	0	0	0	0
Época x Año	54	35	43	44
Cult. x Año	2	0	1	1
Cult. x Época	0	0	1	1
Cult. x Época x Año	4	2	2	5
Error (Exp.)	8	7	11	6
Total	100	100	100	100

Conclusiones cuadro 7:

- Hay una gran similitud entre los resultados de las tres colecciones en una lectura general.
- El único efecto principal de magnitud apreciable, es el año.
- La única interacción que incide en forma importante es la de época x año.
- La contribución de la interacción genotipo x ambiente (cultivar x época, cultivar x año y cultivar x época x año) no es importante, más de la mitad corresponde a la triple.
- El efecto cultivar no incide en forma determinante, su contribución es baja.
- El régimen de lluvias de alta variabilidad, en oportunidad y cantidad, estaría explicando la alta incidencia del factor año, de la interacción época x año, como también el mayor peso relativo de la interacción triple.
- La alta variabilidad de los rendimientos de maíz en secano se da porque cada siembra individual genera una situación climática diferente y única con alta incertidumbre en cuanto al aporte de agua.

3.1.2. Efecto del ambiente, población y ciclo sobre el rendimiento en grano y materia seca en secano y con agua no limitante

En este caso los efectos principales considerados fueron: ambiente, como una combinación de año, localidad y fecha de siembra, y población, ciclo, sobre el rendimiento en grano y materia seca por hectárea, en secano y con agua no limitante. Se estudió la composición de la varianza para cosecha de grano y materia seca por hectárea.

Descripción de los ensayos:

EN SECANO:

- 3 zafras;
- 3 localidades y 9 ensayos: Young (1), La Estanzuela (6) y San José (2);
- 3 poblaciones: 48000, 71000 y 143000 plantas por hectárea;
- 1 distancia entre hileras: 0,70 m;
- 3 ciclos y 6 cultivares: corto (2), medio (2) y largo (2).

CON AGUA NO LIMITANTE:

- 2 zafras;
- 2 localidades y 3 ensayos: Young (1) y La Estanzuela (2);
- 2 épocas de siembra: setiembre (Young y La

- Estanzuela) y diciembre (La Estanzuela);
- 3 poblaciones: 48000, 71000 y 143000 plantas por hectárea;
- 1 distancia entre hileras: 0,70 m;
- 3 ciclos y 6 cultivares: corto (2), medio (2) y largo (2).

Cuadro 8. Componentes de varianza de los ensayos de ambiente, población y ciclo, en % base 100, para rendimiento en grano/ha y materia seca/ha de maíz, en siembras de secano y con agua no limitante.

F.V.	SECANO		CON AGUA NO LIMITANTE	
	GRANO	MATERIA SECA	GRANO	MATERIA SECA
Ambiente	70	38	6	5
Población	15	33	53	59
Ciclo	2	19	16	20
Amb. x Pob	6	4	9	7
Pob. x ciclo	0	3	0	0
Amb. x ciclo	4	2	0	0
Amb. x Pob. x Ciclo	0	0	8	5
Residual	3	1	8	4

Conclusiones cuadro 8:

Para secano:

- Para grano los efectos principales ambiente (70%) y población (15%), son de magnitud apreciable.
- Para materia seca a los efectos principales ambiente (38%) y población (33%) se le suma ciclo (19%) como importantes.
- De las interacciones, tanto en grano como materia seca, ninguna incide en forma fundamental.
- La cosecha de grano se destaca como más sensible que la de forraje a los cambios de ambiente, mostrando mayor variabilidad (70% vs. 38%).
- El efecto población se posiciona como el segundo más importante después del ambiente, llegando a 15% para grano y 33% para forraje; es un factor manejable.
- El efecto ciclo es solo importante para materia seca, alcanzando un 19%, es también un factor manejable.
- El efecto cultivar no se discrimina, esta anidado en el efecto ciclo.

- Al igual que en el análisis del cuadro N° 7 el régimen pluviométrico está explicando la alta incidencia del factor ambiental, sobre todo en grano.

Para agua no limitante:

- Para grano y materia seca los efectos principales Población y Ciclo, son de magnitud apreciable sumando entre ambos alrededor de 70% para grano y cerca de 80% para materia seca.
- El efecto población se posiciona como el más importante, llegando a 53% para grano y 59% para forraje.
- El efecto ciclo se posiciona como el segundo más importante después del de población, llegando a 16% para grano y 20% para forraje, el efecto cultivar se halla anidado en el de ciclo.
- De las interacciones, tanto en grano como materia seca, ninguna incide en forma fundamental.
- Los ensayos, con la condición de agua no limitante, explica la baja incidencia del efecto ambiental, condición que contrasta la alta variabilidad de las lluvias.

3.1.3. Efecto del ambiente, distribución y población por ciclo sobre el rendimiento en grano y materia seca en seco y con agua no limitante

Los efectos principales considerados fueron: ambiente, distribución, población por ciclo, sobre el rendimiento en grano y materia seca por hectárea en seco y con agua no limitante. Se estudió la composición de la varianza para cosecha de grano y materia seca por hectárea.

Descripción de los ensayos:

EN SECANO:

- 3 zafras;
- 2 localidades y 6 ensayos: Young (1) y La Estanzuela (5);
- 2 épocas de siembra: setiembre (Young y

La Estanzuela) y diciembre (La Estanzuela);

- 3 poblaciones: 50000, 70000 y 105000 plantas por hectárea;
- 2 distancias entre hileras: 0,70 m y equidistante (igual entre hileras y plantas);
- 2 ciclos y 4 cultivares: corto (2) y medio (2).

CON AGUA NO LIMITANTE:

- 2 zafras;
- 1 localidad y 2 ensayos: La Estanzuela (2);
- 2 épocas de siembra: setiembre y diciembre;
- 3 poblaciones: 50000, 70000 y 105000 plantas por hectárea;
- 2 distancias entre hileras: 0,70 m y equidistante (igual entre hilera y plantas);
- 2 ciclos y 4 cultivares: corto (2) y medio (2).

Cuadro 9. Componentes de varianza de los ensayos de ambiente, distribución y población por ciclo, en % para rendimiento en grano/ha y materia seca /ha de maíz, en siembras de seco y con agua no limitante.

F.V.	SECANO				CON AGUA NO LIMITANTE			
	CICLO CORTO		CICLO MEDIO		CICLO CORTO		CICLO MEDIO	
	GRANO	MAT. SECA	GRANO	MAT. SECA	GRANO	MAT. SECA	GRANO	MAT. SECA
Ambiente	69	58	70	49	8	3	0	0
Distribución	4	3	1	1	44	26	44	23
Población	15	31	17	40	19	49	17	43
Amb. x Dist.	0	1	4	3	0	0	3	3
Amb. x Pob.	3	1	2	4	2	1	8	8
Pob. x Dist.	5	3	3	0	0	0	1	6
Amb. x Pob. x Dist.	3	2	2	2	1	5	2	3
Residual	1	1	1	1	25	13	24	24

Conclusiones cuadro 9:

Para seco:

- Para ambos ciclos los efectos principales Ambiente y Población inciden en forma apreciable tanto para grano como para materia seca. El ambiente siempre es el efecto más importante, llegando a 69%-70% para grano y 49%-58% para materia seca (ciclo

corto y medio respectivamente), incidiendo en menor forma sobre el forraje.

- El efecto población se posicionó como segundo en importancia, llegando a 31%-40% para materia seca, este efecto es menor para grano (15%-17%).
- Comparando ciclos, el ambiente, para materia seca, en los cortos, tiene mayor valor, 58% vs 49%; la población, para materia seca, en los medios, tiene mayor valor



40% vs. 31% y los valores para grano son similares.

- El efecto distribución no es importante al igual que las distintas interacciones.

Para agua no limitante:

- Para ambos ciclos los efectos principales Distribución y Población inciden en forma apreciable y casi excluyente tanto para grano como para materia seca.
- El efecto distribución se posicionó como importante para grano tanto en ciclo corto como medio, llegando al 44% en ambos. Este efecto es menor para materia seca: 23% medio y 26% corto. Este efecto no fue relevante en seco.
- El efecto población se posicionó como importante para materia seca tanto de ciclo corto como de medio, llegando a 49% en corto y 43% en medio, Este efecto es menor para grano :17% medio y 19% corto. La misma tendencia en su posicionamiento que en seco.
- La importancia relativa de los efectos Distribución y Población cambian de posicionamiento según se trate de grano o materia seca en ambos ciclos. La Distribución es más importante para grano y el factor Población es más importante para materia seca.
- El efecto ambiente no es importante al igual que las distintas interacciones.

3.2 Composición de la varianza del maíz para factores de calidad nutricional

3.2.1. Efecto del ambiente, ciclo y cultivar sobre parámetros de calidad nutricional en seco y con agua no limitante

Efectos principales: ambiente, ciclo, y cultivar, sobre la digestibilidad de la materia orgánica (DMO), contenido de proteína cruda (PC), fibra detergente acida (FDA) y fibra detergente neutra (FDN), en seco y con agua no limitante. Se estudió la composición de la varianza para parámetros de calidad nutricional.

Descripción de los ensayos:

EN SECAO:

- 4 zafras;
- 1 localidad y 4 ensayos: La Estanzuela (4);
- 2 épocas de siembra: setiembre y diciembre;
- 1 población: 71000 plantas por hectárea;
- 1 distancia entre hileras: 0,70 m;
- 2 ciclos y 13 cultivares: medio (6) y largo (7).

CON AGUA NO LIMITANTE:

- 3 zafras;
- 1 localidad y 3 ensayos: La Estanzuela (3);
- 1 época de siembra: setiembre;
- 1 población: 71000 plantas por hectárea;
- 1 distancias entre hileras: 0,70 m;
- 2 ciclos y 13 cultivares: medio (6) y largo (7).

Cuadro 10. Componentes de varianza de los ensayos de ambiente, ciclo y cultivar, para DMO, PC, FDA y FDN, presentados en % base 100, en grano y materia seca por hectárea, en siembras de secano y con agua no limitante.

F.V.	SECANO				AGUA NO LIMITANTE			
	D.M.O.	P.C.	F.D.A.	F.D.N.	D.M.O.	P.C.	F.D.A.	F.D.N.
Ambiente	46	40	0	35	45	49	0	2
Ciclo	10	14	35	0	18	16	57	0
Cult. (ciclo)	12	0	5	6	17	0	10	5
Amb. x Ciclo	5	0	28	24	0	0	11	41
Residual	28	45	33	35	19	34	22	52

Conclusiones cuadro 10:

El ambiente tanto para secano como para agua no limitante, en la determinación de la DMO (46%-45% respectivamente) y de la PC (40%-49%) son igualmente importantes, implicando que la disponibilidad de agua no afecta mayormente el efecto sobre estas variables. Seguramente esto se explica como ya fue discutido, por el efecto compensador que tiene el cambio de la relación grano / materia seca ante una mayor oferta de agua, sobre la DMO y el contenido de PC de la planta entera. Sin embargo su efecto sobre la FDN más ligada a la medición de celulosa y hemicelulosa y a las etapas de crecimiento activo, disminuye considerablemente de secano a las situaciones con agua no limitante (de 35% a 2%).

El factor Ciclo es importante en relación al contenido de FDA en condiciones de secano y más aún en condiciones de oferta de agua suficiente (35% y 57% respectivamente). Durante el ciclo del cultivo en presencia de suficiente agua se potencia la altura del tallo y con ello las ligninas, siendo el efecto mayor en los ciclos largos.

Los factores Ciclo y Cultivar (ciclo) sumados son menores que el factor ambiental en ambas condiciones para DMO, PC y FDN y en esta última no habría diferencia. La interacción Ambiente x Ciclo es responsable en secano de un alto % de la varianza en el contenido de FDA (28%) y FDN (24%) y

en cultivos irrigados de 11% y 41% respectivamente, esto nos indicaría que el comportamiento de los ciclos no sería consistente a través de los ambientes en relación a los parámetros de calidad.

3.3. Prácticas de manejo del cultivo que determinan rendimiento y calidad.

3.3.1. Época de siembra

Un cultivo se realiza sobre un suelo que posee su génesis, historial y características asociadas, el cual junto a otras variables, fundamentalmente precipitación, definirá el balance hídrico y la disponibilidad de agua en las diferentes etapas fonológicas que se desarrollaran en momentos del año distinto, definidos por la fecha de siembra empleada.

Como ya se mencionó el régimen pluviométrico es de reconocida variabilidad en todo el país, en cuanto a cantidad y momento de ocurrencia. Los datos históricos promedios del mismo, son útiles para caracterizaciones generales y orientativas, pero no tienen demasiado valor en series de pocos años y menos aún para predecir qué cantidad y oportunidad de agua va a disponer un cultivo programado con antelación, en los momentos críticos. Es sabido lo exigente que es el cultivo del maíz en sus requerimientos de agua, sobretudo en cercanía de floración, determinando el rendimiento de grano en forma significativa frente a cualquier otro evento.

En la agricultura de secano, en los cultivos estivales y sobre todo en el de maíz, los esfuerzos deben estar dirigidos a tratar de disminuir al máximo, el alto riesgo de la ocurrencia de deficiencias hídricas en el cultivo, sobre todo en los momentos más críticos, con todas las medidas de manejo puestas en función de lograr un eficiente uso del agua que dispongamos.

Descripción de los ensayos:

EN SECANO:

- 6 zafras;
- 1 localidad y 30 ensayos (5 por zafra): La Estanzuela (30);
- 5 épocas de siembra: setiembre (2), octubre, noviembre y diciembre;
- 1 población: 70000 plantas por hectárea;
- 1 distancia entre hileras: 0,70 m;
- 1 ciclo y 8 cultivares: medio (8);

Se realizó un estudio fenológico (Fassio y Col., 1998). Se determinó también el rendimiento de grano (kg/ha) y materia seca (kg MS/ha), y diversas características agronómicas

Para los promedios de los cultivares entre época, en la serie de años estudiados, no hay diferencias estadísticamente significati-



vas, entre las fechas de siembra, para rendimiento de grano y MS (kg/ha), tampoco para los períodos de floración masculina-floración femenina (FM-FF) y el de floración masculina-madurez fisiológica (FM-MF), así como para la relación entre altura de espiga y altura de planta (AP/AE).

Otras características aumentan de valor cuanto más tardías son las siembras, con diferencias significativas al menos entre las siembras extremas, pero no exclusivamente, como:

- porcentaje de plantas quebradas por debajo de la espiga (%Q),
- porcentaje de plantas volcadas de raíz, más de 45° con respecto a la normal (%V),
- altura la planta a inserción de panoja (AP),
- altura de espiga a inserción de la misma (AE),
- porcentaje de implantación, como número de plantas cosechadas sobre número de plantas plantadas (% i),
- porcentaje de humedad de grano a cosecha real (%HG),
- periodo madurez fisiológica-fecha de cosecha real (MF-FCo) con un % de humedad en grano (%HG) de 20%,
- porcentaje de humedad de grano a cosecha real (%HG).

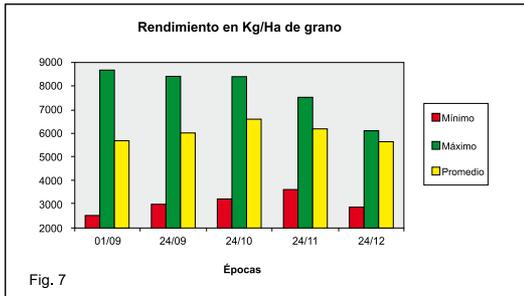


Fig. 7

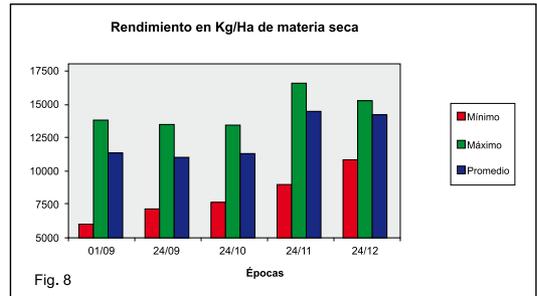


Fig. 8

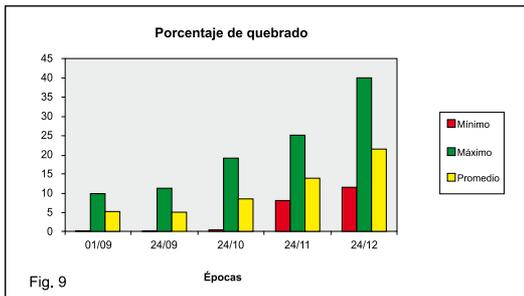


Fig. 9

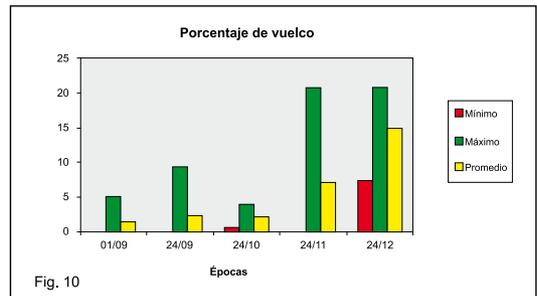


Fig. 10

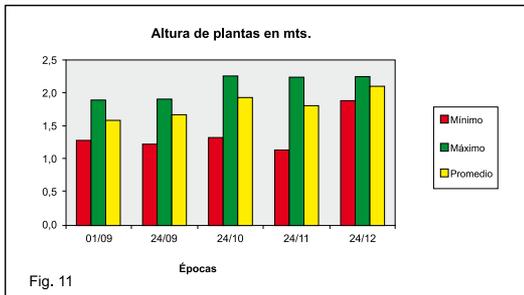


Fig. 11

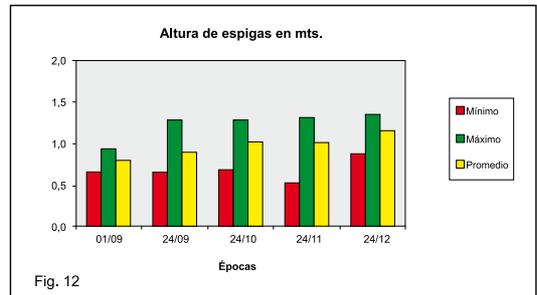


Fig. 12

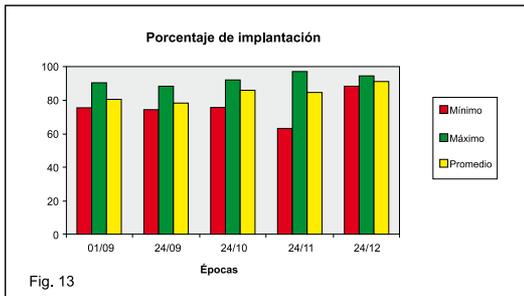


Fig. 13

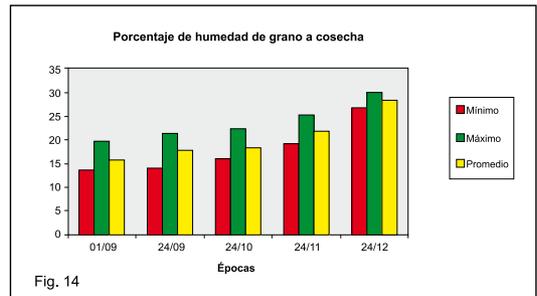


Fig. 14

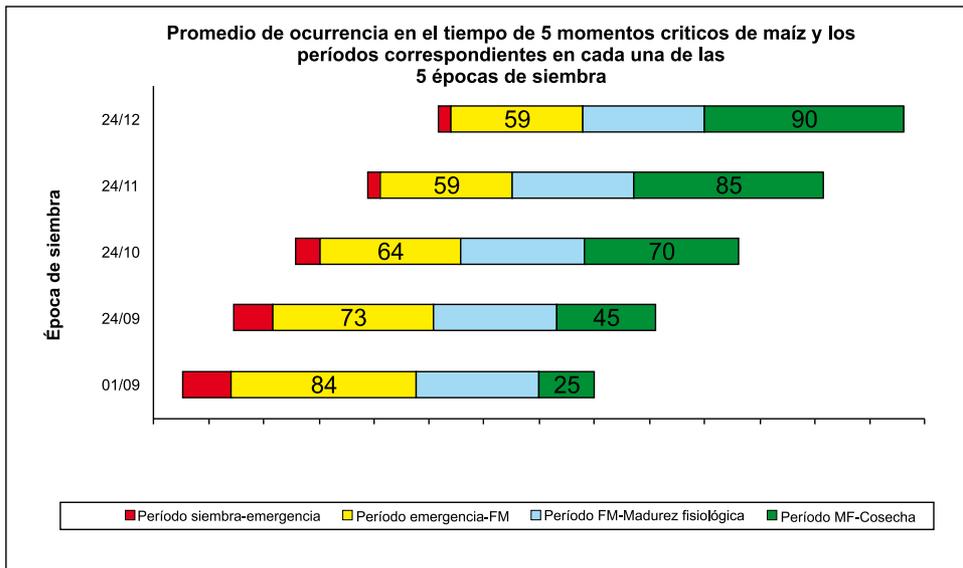


Figura 15. Momento y duración promedio de 4 períodos críticos del ciclo del cultivo de maíz según 5 épocas de siembra.

En la medida en que avanzamos en la fecha de siembra, por el contrario, hay otras características que disminuyen de valor significativamente en las siembras extremas, como el periodo siembra-emergencia así como, emergencia-floración masculina (E-FM), periodo conocido como ciclo (A.Fassio y col.; 1998).

La Fig. 7, analiza fechas de siembra y rendimiento de grano/ha, se presentan los valores máximos, mínimos y promedio de cada época de siembra. No hay una tendencia clara en los promedios en tanto sí para los máximos, con superioridad para las primeras épocas frente a las últimas. Los máximos en cada época corresponden a zafas lluviosas, sin deficiencias de agua, donde la potencialidad del cultivo se expresa cuando el ciclo en días es mayor. Esta situación sería similar a la de un cultivo irrigado. Los mínimos valores presentados se corresponden con condiciones con deficiencia hídrica. Tanto los promedios como los mínimos se ven influenciados por efecto de la “serie de años” estudiados.

La Fig. 8, para rendimiento de materia seca/ha, se presentan los valores máximos, mínimos y promedio de las épocas de siembra. La tendencia para los tres valores y sobre todo en los máximos, es una superioridad

para las últimas épocas frente a las primeras debido a que la temperatura y heliofanía tiene un rol más importante en este tipo de producción que es menos exigente en general que la producción de granos con su momento crítico más acotado en el tiempo.

La Fig. 9, porcentaje de plantas quebradas, los mayores mínimos, máximos y promedios se dan en las últimas fechas de siembra asociados a incrementos en las poblaciones de *Diatraea Sacharallis* (Barrenador del tallo) con el consecuente daño en los tallos, sobre todo en años secos, por el menor desarrollo de las plantas, con tallos de menor diámetro y más débiles (plantas estresadas). Existen materiales seleccionados que resisten mejor y quebran menos por mayor resistencia del tallo, generalmente asociado a mayor contenido de lignina. Otros materiales por métodos biotecnológicos se los dota de resistencia a este insecto específico a través de transgénesis. En general las temperaturas mayores incrementan las poblaciones de los insectos que atacan al maíz, entre ellos el “barrenador”, condición que se da en las siembras tardías.

La Fig. 10, porcentaje de plantas volcadas de raíz, los mayores mínimos, máximos y promedios también se dan en las últimas fechas

de siembra. La relación materia seca aérea / materia seca total (incluye raíz), tiende a ser mayor con el atraso de la época, generándose desequilibrios ya que la proporción de raíz disminuye. En zafras lluviosas y ventosas el daño puede ser máximo, por mayor porte y menor crecimiento radicular en profundidad. Existen materiales seleccionados para un crecimiento más balanceado y consecuente menor vuelco.

Las mayores temperaturas, en general incrementan el crecimiento de las plantas alcanzando más altura si disponen del potencial, es el caso de las siembras tardías comparando con las tempranas, igualmente la altura de espiga, Fig. 11 y 12. La relación entre AE/AP se halla en promedio entre un 50% a 60%, resultando casi una constante.

El porcentaje de implantación, depende en forma importante del porcentaje de germinación de la simiente, de las condiciones de temperatura y humedad imperantes para una buena germinación y de los insectos y hongos presentes, dañinos para el maíz en los primeros estadios de la planta. En la Fig. 13, se observa que los máximos y mínimos mayores, se dan en las fechas de siembra tardías al igual que los promedios. Para una alta implantación se necesita fundamentalmente una alta tasa de germinación, buena cama de siembra y un íntimo contacto semilla-suelo, esto con temperatura y humedad del suelo cercana a los óptimos. En las fechas tempranas la temperatura del suelo nunca se halla en torno al óptimo, sí la humedad en la mayoría de los casos. A la inversa se da en las épocas tardías, con temperaturas cercanas al óptimo y una humedad en la cama de siembra dependiente del régimen de lluvias, lográndose de esta manera en éstas, los mayores mínimos, máximos y promedios. En la mayoría de los casos la siembra se realiza con humedad.

Las altas temperaturas del suelo son las que hacen acortar el período siembra-emergencia en las fechas tardías Fig. 15, porque están en torno al óptimo. En cuanto al período emergencia-floración masculina (E-FM) (ci-

clo) (Fig. 15), es sabido que el maíz florece en la generalidad de los casos ante el estímulo de la temperatura ambiental, requiriendo llegar a un valor específico y constante, en °C por acumulación, día a día, desde la emergencia hasta que llega a ese valor y florece (valor de suma térmica). Los valores diarios se incorporan a la sumatoria si se hallan por encima o por debajo de valores de temperaturas umbrales específicos ($> 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $< 30\text{ }^{\circ}\text{C}$) (A. Fassio y col.1988). Evidentemente en las siembras tardías la sumatoria para llegar al valor en °C se logrará en menos días ya que estos tendrán promedios de temperaturas mayores. De forma similar los ciclos cortos requerirán de menos días para florecer ya que se inducen con una sumatoria menor.

Tanto para el promedio del período floración masculina – madurez fisiológica (FM-MF), período en que se realiza el llenado de grano, (Fig. 15), como para el período, floración femenina –floración masculina (FF-FM), período que no puede ser muy largo para lograr una buena polinización, la variabilidad entre épocas es baja, con valores de 56 y 4 días respectivamente en promedio.

En cuanto al período de madurez fisiológica a fecha de cosecha (con un % de humedad en grano de alrededor de 20%) Fig. 14 y 15, es claro las ventajas que este período se da en fechas tempranas para una mejor cosecha, ya que en las siembras tardías, el grano tendrá que secarse en un ambiente de días más cortos, menor temperatura y mayor humedad relativa ambiental que en las siembras tempranas, demorando mucho más días para llegar a una humedad de grano adecuada para cosecha mecánica óptima (20%) u obligando a cosechas con humedades más altas con el consecuente gasto en secadoras. En las siembras más tardías algunos años no se podrá llegar a 20% de HG, por las condiciones ambientales.

De las características estudiadas tanto en condiciones de secano como riego, tienen ventajas las fechas tempranas sobre las tardías, las siguientes: %Q, %V, % humedad de

grano a cosecha y período madurez fisiológica a cosecha con mejores condiciones de cosecha y un mayor ciclo. Como factor a tener cuidado es el de la implantación y los mayores períodos S-E. Por todo esto cuando se prioriza el grano, las fechas de siembras deben ser tempranas y no más allá de mediados de octubre a pesar de no asegurarnos un mayor rendimiento de grano, pero sí de posicionarnos para una logística más ventajosa y un menor perfil de riesgo, cuando priorizamos la producción de materia seca se puede tener más en cuenta las necesidades de forraje en la cadena de pastoreo, adecuando las siembras a las necesidades, ya que esta producción es más estable.

3.3.2. Población

En altas poblaciones la competencia por luz, nutrientes y espacio determinan generalmente plantas más altas, más finas, etc. con respecto a las bajas poblaciones. Por otro lado, las plantas de ciclo largo son más grandes, más altas, de tallo más gruesos, menor índice de cosecha etc., con respecto a las de ciclo corto. También difieren en el largo en días del ciclo total, para una misma fecha de siembra y consecuentemente la duración de los estadios que lo componen y su ocurrencia en el tiempo. Sumado a esto tenemos al ambiente con lluvias de media histórica conocida pero altos desvíos y distribución errática en el tiempo, afectando en forma aleatoria el desarrollo y crecimiento de los cultivos.

Descripción de los ensayos:

EN SECANO:

- 3 zafras;
- 3 localidades y 9 ensayos: Young (1), La Estanzuela (6) y San José (2);
- 2 épocas de siembra: setiembre (Young, La Estanzuela y San José) y diciembre (La Estanzuela);
- 3 poblaciones: 48000, 71000 y 143000 plantas por hectárea;
- 1 distancia entre hileras: 0,70 m;
- 3 ciclos y 6 cultivares: corto (2), medio (2) y largo (2).



Se determinó rendimiento de grano (kg/ha) y materia seca (kg MS/ha), y diversas características agronómicas

Si comparamos (Fig. 16 a 23), los valores promedios para las diversas medidas tomadas, para los distintos ciclos en las tres poblaciones, se aprecia que para altura de planta a inserción de panoja, (AP); altura de espiga a inserción de la misma, (AE); porcentaje de quebrado por debajo de la espiga, (%Q); porcentaje de vuelco de raíz, (%V); porcentaje de esterilidad, en número de plantas sin espiga sobre el total de plantas, (%E); porcentaje de tallo sobre el peso aéreo total, (%T); los valores correspondientes a los ciclos más cortos, son menores en las tres poblaciones con respecto a los más largos.

Por el contrario, porcentaje de grano sobre el peso aéreo total, (%G); porcentaje de prolificidad, como número de mazorcas sobre el número total de plantas, (%P); largo de hoja de la primera mazorca, de ápice a lígula (LH); ancho de hoja medida en su parte más ancha, (AH); diámetro de tallo medida a los 15 cm. del suelo, (DT); diámetro de espiga medida en su parte media, (DE); largo de espiga en su totalidad, (LE); porcentaje

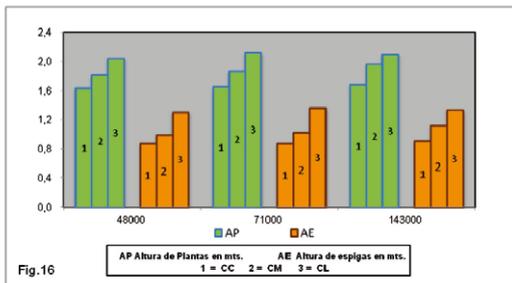


Fig. 16

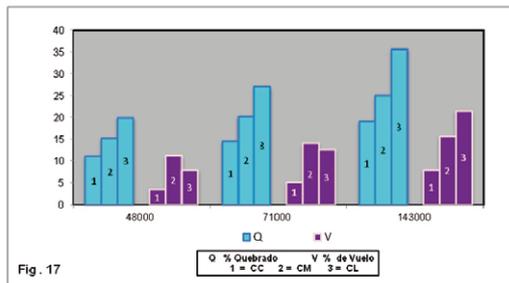


Fig. 17

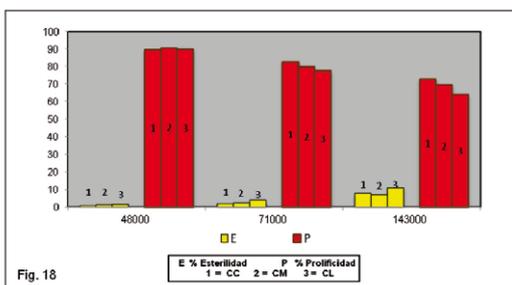


Fig. 18

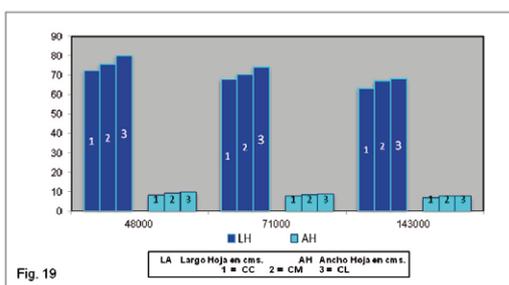


Fig. 19

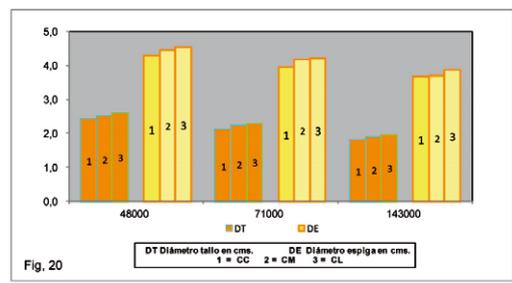


Fig. 20

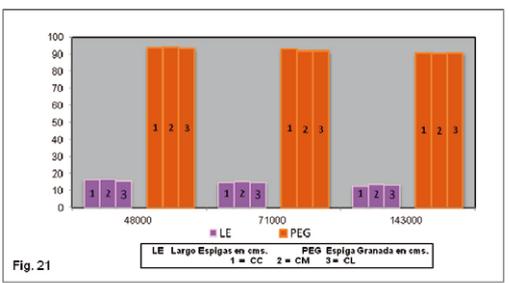


Fig. 21

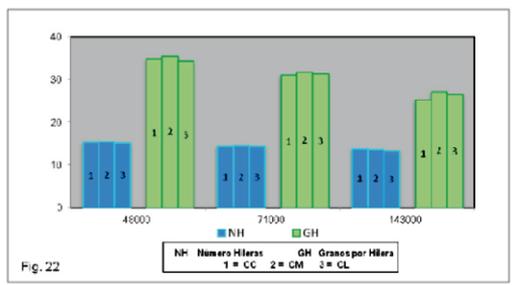


Fig. 22

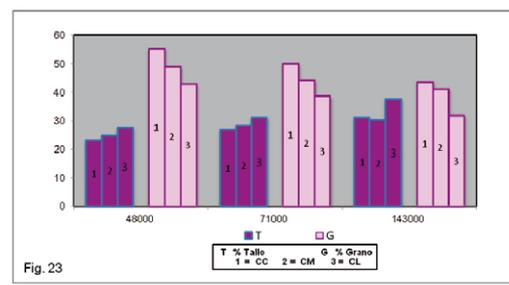


Fig. 23

de espiga granada, en largo granado sobre el total, (PEG); número de hileras de grano presentes en la espiga, (NH); granos por hileras, en número de granos por hilera, (GH), los valores son mayores en los ciclos más cortos con respecto a los más largos en las tres poblaciones.

Si comparamos los valores entre densidades para los tres ciclos, se observa que para: AP, AE, %Q, %V, %E, LH, AH, DT, DE, %T, los valores correspondientes a las densidades

mayores son superiores respecto a las densidades menores, por el contrario %P, PEG y él %G (grano) son mayores para las densidades menores respecto a las mayores. No varían en forma significativa LE, NH y GH.

En las figuras 24 a 26 se grafican los mínimos, máximos y promedios de kg/ha de grano; analizando poblaciones para los tres ciclos. Se denota los mayores máximos a las mayores poblaciones estudiadas, para los tres ciclos, al contrario de los mínimos que

llegan a ser casi nulos a la mayor densidad en cortos y medios, mejorando muy poco en poblaciones menos densas. Dentro de cada ciclo dada la diferencia entre los máximos y mínimos, a los promedios, aportan más los máximos, manteniéndose la misma tendencia que en estos pero más atenuada.

Analizando ciclos, los menores máximos y a su vez los menores promedios corresponden al ciclo largo, al igual que el mayor mínimo que detenta, que no llega a compensar el bajo valor máximo. El mayor valor mínimo, para la densidad mayor, en el ciclo largo, en comparación a los otros ciclos significó un caso de "oportunidad" y de azar. Al producirse lluvias luego

de un largo período de seca, en ese año, para esa fecha de siembra, el tener ciclo más largo le permitió un "escape" logrando una polinización y fertilización mínima, cosa que no ocurrió con medios y cortos ya que los estigmas tenían comprometida su receptividad.

En las figuras 27 a 29 se grafican los mínimos, máximos y promedios de kg./ha de materia seca. Analizando población se repiten las tendencias observadas para el rendimiento en grano. Los máximos y promedios mayores corresponden a las poblaciones más altas estudiadas, para los tres ciclos. Los mínimos presentan diferencias de magnitud no apreciables.

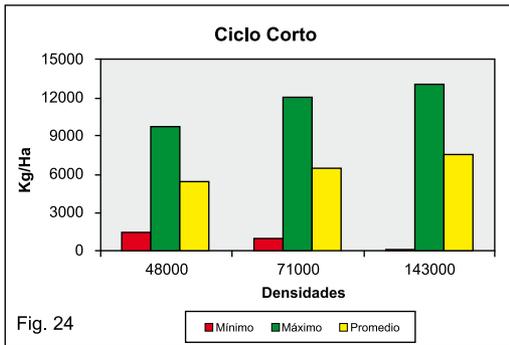


Fig. 24

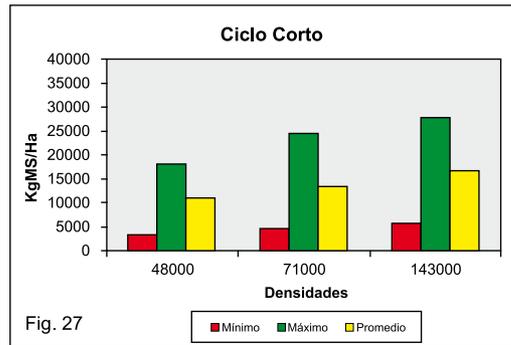


Fig. 27

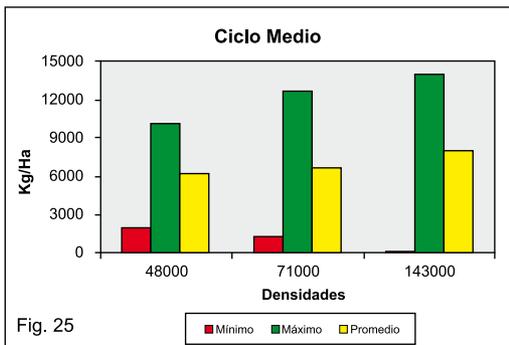


Fig. 25

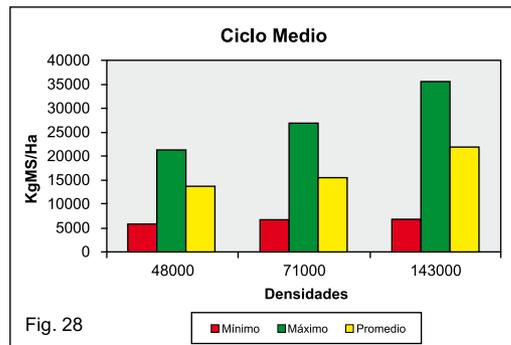


Fig. 28

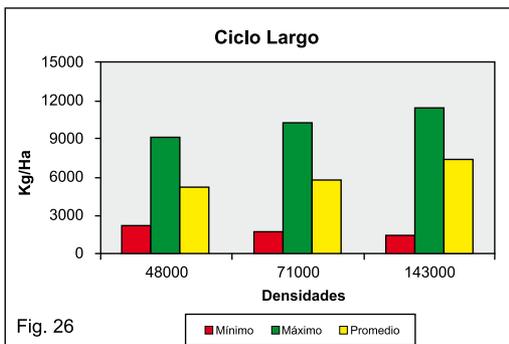


Fig. 26

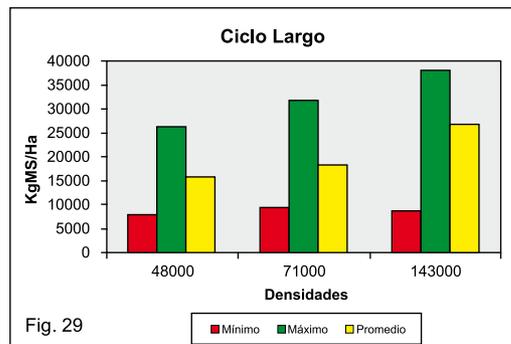


Fig. 29

Analizando ciclos, los mayores máximos y a su vez los mayores promedios corresponden al ciclo largo al contrario de lo que ocurría en rendimiento de grano. La magnitud de los máximos para las tres poblaciones y la de los mínimos, hace que en los promedios se mantenga la misma tendencia que los máximos. Comparando los ciclos se da que a la misma población rinden significativamente más los ciclos largos.

De esta serie de conclusiones es clara la interacción que existe entre poblaciones y ciclos, ya que las “arquitecturas” de plantas de ciclo contrastante, tomada como forma y tamaño de planta, son bien diferentes, como consecuencia también sus necesidades.

En seco, para producción de grano, tratando de posicionarnos en un perfil de riesgo adecuado, para lograr producciones aceptables, la mejor estrategia ante la incertidumbre del régimen pluviométrico, es el uso de cultivares cortos-medios y medios. Dado que éstos de acuerdo a sus necesidades, potencialidad y duración del ciclo son los más adecuados al clima de la región, sembrados a una población intermedia de 60.000 a 65.000 plantas a cosecha. Con el uso de mayores densidades el riesgo aumentaría, ya que las necesidades de agua se incrementarían en forma notoria.

Para producción de materia seca por hectárea en seco, la mejor estrategia, es el uso de cultivares medios-largos y largos. Estos materiales de acuerdo a sus necesidades, potencialidad y duración del ciclo son los más adecuados al clima de la región, sembrados a una población de 70.000 a 80.000 plantas a cosecha.

Para ambas producciones, en situaciones de agua no limitante, se puede potenciar las mismas con un incremento de 10 a 15 % en las poblaciones, respecto a seco.

3.3.3. Distribución

Descripción de los ensayos:



EN SECANO:

- 3 zafras;
- 2 localidades y 6 ensayos: Young (1) y La Estanzuela (5);
- 2 épocas de siembra: setiembre (Young y La Estanzuela) y diciembre (La Estanzuela);
- 3 poblaciones: 50000, 70000 y 105000 plantas por hectárea;
- 1 distancia entre hileras: 0,70 m y equidistante (igual entre hileras y plantas);
- 2 ciclos y 4 cultivares: corto (2) y medio (2).

Se determinó el rendimiento de grano (kg/ha) y materia seca (kg MS/ha), y diversas características agronómicas

Los valores: promedio, máximos y mínimos de rendimiento en grano y MS/ha para cada ciclo, y de distribución de siembra y población se muestran en las figuras 30 a 33. En las figuras 30 y 32 observamos para los valores de kg grano/ha una tendencia a favor de una distribución cuadrada, mínima para las bajas poblaciones y con diferencia significativa para las altas. Las distribuciones cuadradas tienen como principal característica la equidistancia de las plantas entre sí, haciendo uso la planta como unidad, del espacio y recursos, de la forma más eficiente posible. Este tipo de distribución hace que la competencia entre plantas de una población dada sea la menor posible. De igual forma ocurre para el rendimiento de MS/ha, figuras 31 y 33, pero en forma menos acentuada.

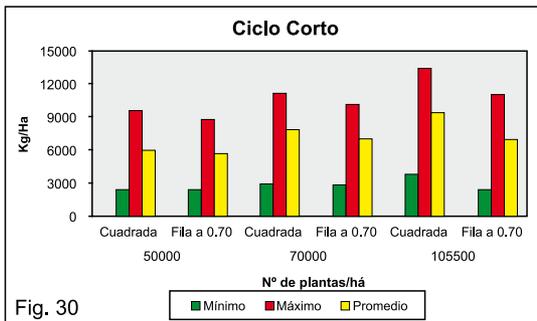


Fig. 30

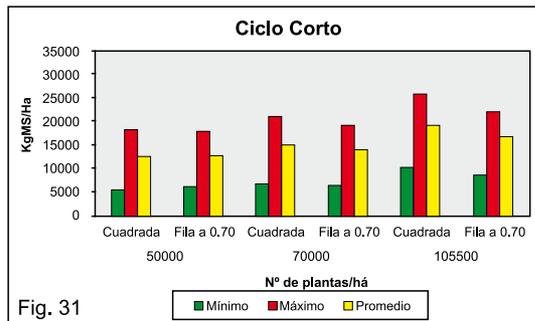


Fig. 31

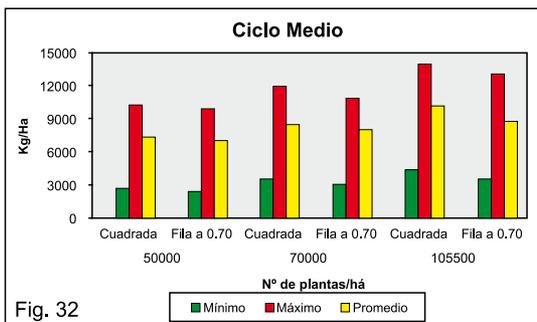


Fig. 32

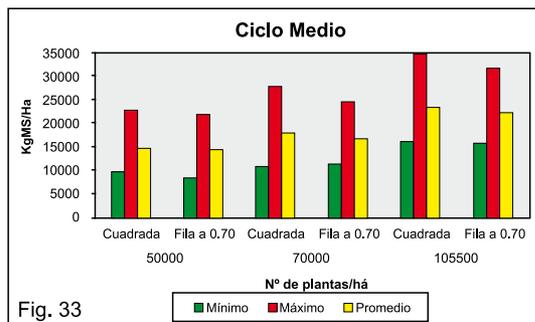


Fig. 33

Las diferencias entre poblaciones dentro de los ciclos son mucho más importantes que las diferencias atribuidas a los dos tipos de distribución, en especial para materia seca. Comparando los valores máximos la distribución juega un papel más importante sobre todo en grano y para altas poblaciones, de acuerdo a esto, las distribuciones que tiendan a equidistantes serán las mejores en situaciones de riego.

3.3.4 Cultivar

Cuando se estudió la composición de la varianza para rendimiento y calidad quedó claro que el efecto cultivar es de muy baja relevancia, no así la elección del ciclo y las interacciones con el tipo de producción elegida. De cualquier manera para los ensayos se eligen materiales adaptados, de uso comercial. En el siguiente ensayo presentado se estudia la repetitividad de la performance de los cultivares.

Se estudió en 15 cultivares ciclo medio, el posicionamiento de ellos en base a rendimiento, generados a partir de los valores correspondientes al rendimiento promedio de grano por hectárea de los cultivares, en 15 ensayos, 12

realizados en La Estanzuela, en dos épocas de siembra, setiembre y diciembre, durante 6 zafas, y los 3 ensayos restantes cosechados en Young en época temprana. Se generaron 15 ambientes distintos, con años, épocas y localidades, con valores promedios de los cultivares que fueron de 10750 a 3870 kg. / ha. A su vez se generó un ranking por cada ambiente y se dividió en tercios: superior, medio e inferior, contabilizándose por último cada cultivar el número de veces presentes en cada tercio, Fig. 34.



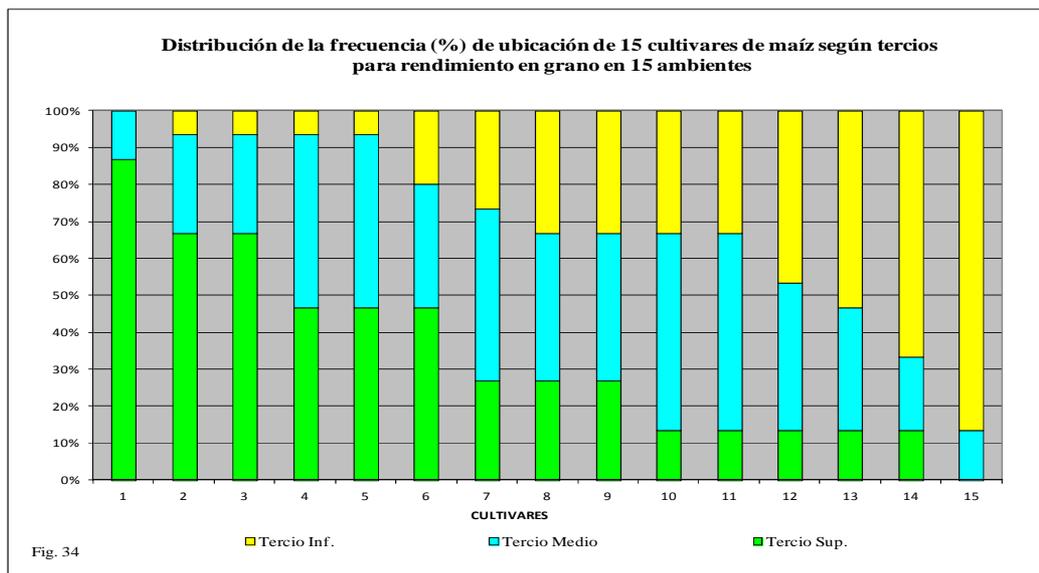


Fig. 34

De la figura 34 se observa que los cultivares muestran una clara tendencia a tener un muy buen comportamiento en rendimiento o uno malo, en la mayoría de los 15 ambientes, también se presentan algunos cultivares intermedios.

Si con los datos se calcula para los cultivares la correlación Spearman entre la frecuencia de aparición en un tercio con la frecuencia de estar en los otros, obtenemos los resultados del Cuadro 11.

Cuadro 11. Correlación entre las frecuencias de aparición de los cultivares en los tercios para los 15 ambientes

	Tercio Medio	Tercio Inferior
Tercio Superior	-0,18	-0,94
Tercio Medio	-	-0,06

Del análisis del Cuadro 11 se visualiza que la frecuencia de aparición de los cultivares en el tercio superior y tercio inferior están correlacionados en forma negativa y significativamente alta. La frecuencia de aparición en el tercio medio presenta correlaciones negativas, bajas y no significativas, tanto con la frecuencia de aparición en el tercio superior como con en el inferior.

Dado que los ambientes explorados presen-

tan una amplia dispersión en rendimientos promedio que va de los 4000 a 11000 kg. / ha. se concluye que los cultivares de mala o buena performance tienen repetitividad, tanto en ambientes de bajo como alto potencial respectivamente.

La elección de un cultivar para siembra, se debe realizar entre aquellos presentes dentro del tercio superior, de similar ciclo y de ensayos confiables.

CAPÍTULO IV

CONSIDERACIONES FINALES

4. CONSIDERACIONES FINALES

El éxito de la adopción del cultivo de maíz, tanto para grano como para forraje, a pesar de sus requerimientos hídricos, obedece a varias causas, entre ellas:

- alto potencial de rendimiento de grano y de forraje;
- escasa incidencia y severidad de enfermedades en la región;
- características apropiadas para la producción de leche y carne: forraje de buena calidad por su alto contenido energético, palatabilidad y alta digestibilidad;
- buena proporción de carbohidratos fermentables que lo hacen un excelente material para el proceso de ensilado;
- eventualmente, el maíz para forraje puede cosecharse como grano húmedo o seco (cultivo doble propósito);
- disponibilidad comercial de cultivares transgénicos con resistencia a diversos insectos y tolerancia a ciertos herbicidas;
- el grano es apropiado para integrar raciones para suinos y aves.

En sistemas de producción en secano, en todos los ensayos estudiados, donde se dan

combinaciones de distintas zafras, localidades, épocas de siembra, poblaciones, distribuciones y cultivares de diferentes ciclos, se generan variadas situaciones particulares de oferta de agua del suelo. Esta oferta está a su vez fuertemente determinada, por una alta variabilidad en cantidad y oportunidad de las lluvias, por las condiciones del suelo y por la demanda de agua por las plantas a lo largo de su ciclo de crecimiento, en especial en sus momentos críticos.

La época de siembra, la población y distribución de plantas, el largo del ciclo del cultivar a sembrar, la elección de cultivares dentro de los ciclos, la elección de chacra, las medidas de protección al cultivo que se adopten, etc., son decisiones en principio tomadas por el agricultor para atenuar o potenciar el efecto del ambiente. Con un manejo adecuado, que tienda a maximizar las oportunidades de satisfacer en mayor medida la demanda de agua del cultivo en sus momentos críticos se puede disminuir el riesgo de obtención de resultados que generen pérdidas económicas.

En condiciones de secano, la disponibilidad de agua es el factor de más alta incertidumbre, teniendo mayor incidencia en la producción de grano que en la de biomasa. En un segundo nivel de priorización, se posiciona la población, efecto manejable e importante sobre todo en la producción de forraje en comparación con la producción de grano. El



largo del ciclo también tiene un efecto relevante, pero de menor cuantía que la población de plantas, sobre todo si el objetivo es la producción de biomasa. La distribución y la elección del cultivar se presentan como factores de menor incidencia, pero a tener en cuenta una vez resueltos los factores prioritarios.

Es imprescindible entonces tomar todas las medidas disponibles para favorecer la eficiencia del uso del agua precipitada como: el buen control de malezas, la mejora de las condiciones de infiltración del agua en los suelos, evitar el escurrimiento de la misma, realizar un manejo adecuado previo al cultivo de la chacra que favorezca la retención y almacenamiento de agua, etc.

En los sistemas productivos con prácticas de riego incorporadas, las precipitaciones aunque seguirán siendo importantes desde el punto de vista económico, dejan de ser un elemento prioritario en la determinación de la productividad. Toman entonces relevancia los factores que eran secundarios en situaciones de secano: la población, la distribución, el ciclo a elegir según destino de la cosecha y el cultivar. En la elección del cultivar se deberán priorizar aquellos con características agronómicas adecuadas a una siembra con riego: tipo de planta adaptada

a altas poblaciones (erectófila), resistencia a vuelco, que posea uno o más eventos biotecnológicos de eficacia probada que le confieran resistencia a herbicidas y/o insectos dependiendo de las circunstancias, y un buen potencial productivo.

La elección de la época de siembra, tanto en cultivos de secano como bajo riego, dentro de los límites de la "ventana de siembra" del cultivo, se determinaría mayormente por su ajuste a la logística de cada predio, buscando siempre maximizar la captura de radiación y temperatura.

Existe interacción entre la época de siembra y el cultivar elegido. En líneas generales para producción de grano, en épocas de siembra tempranas (setiembre) son preferibles cultivares de ciclo corto-medio y largos, y en las tardías, ciclos medios (mediados de diciembre), para ambas situaciones hídricas.

El rango de fechas de siembra para destino exclusivo de forraje es más amplio que para producción de grano, al cosecharse más temprano (cosecha óptima alrededor de 35% de MS). Los cultivares de ciclo largo serán los de mejor comportamiento para un amplio rango de fechas de siembra, considerando cultivares de ciclo medio para las últimas siembras de forma asegurar que completen su ciclo.

5. BIBLIOGRAFÍA

- ACOSTA, Y.M.; MIERES, J.M.; DURAN, H.** 1984. Comparación de sudangrás y maíz para producción de leche bajo pastoreo. *Investigaciones Agronómicas (Uru.)* 5: 75-78.
- ANDRADE, F.H.; MARGIOTTA, F.A.; MARTINEZ, R.M.** 1992. Densidad de plantas de maíz. Argentina. INTA. Estación Experimental Agropecuaria Balcarce. *Boletín Técnico* no. 108. 19 p.
- ANDRIEU, J.** 1985. Composition et valeur alimentaire du maïs plante entière. In *Colloque Maïs Ensilage:1*, Rennes, France, Association Générale des Producteurs de Maïs.
- ARGILLIER, O.; BARRIÈRE, Y.; HEBERT, Y.** 1995. Genetic variation and selection criterion for digestibility traits of forage maize. *Euphytica* 82: 175-184.
- ARGILLIER, O.; HEBERT, Y.; BARRIÈRE, Y.** 1995. Relationships between biomass yield, grain production, lodging susceptibility and feeding value in silage maize. *Maydica* 40: 125-136.
- BARRIÈRE, Y.; TOVAR-GÓMEZ, M.R.; ÉMILE, J.C.; SAUVANT, D.** 1998. Genetic variation in rate and extent of the in situ cell wall degradation of maize stalks at silage harvest time. *Agronomie* 18: 581-589.
- BEEF MAGAZINE 2011.** 2011 Feed Composition Tables. Compiled by R. L. Preston. (disponible en: <http://www.beefmagazine.com/nutrition/2011-feed-composition-tables>)
- BLACKLOW, W.M.** 1972. Mathematical description of the influence of temperature and seed quality on imbibition by seeds of corn (*Zea mays* L.). *Crop Science* 12: 643-646.
- BURNS, J.C.; BARNES, R.F.; WEDIN, W.F.; RHYKERD, C.L.; NOLLER, C.H.** 1970. Nutritional characteristics of forage sorghum and sudangrass after frost. *Agronomy Journal* 62: 348-350.
- BURTON, G.W.; MONSON, W.G.; JOHNSON, Jr., J.C.; LOWREY, R.S.; CHAPMAN, H.D.; MARCHANT, W.H.** 1969. Effect of the d2 dwarf gene on the forage yield and quality of pearl millet. *Agronomy Journal* 61: 607-612.
- CONE, J.W.; ENGELS, F.M.** 1990. Influence of growth temperature on anatomy and in-vitro digestibility of maize tissues. *Journal of Agricultural Science (Camb.)* 114: 207-212.
- COORS, J.G.; ALBRECHT, K.A.; BURES, E.J.** 1997. Ear-fill effects on yield and quality of silage corn. *Crop Science* 37: 243-247.
- COX, W.J.; CHERNEY, J.H.; CHERNEY, D.J.R.; PARDEE, W.D.** 1994. Forage quality and harvest index of corn hybrids under different growing conditions. *Agronomy Journal* 86: 277-282.
- COZZOLINO, D.; FASSIO, A.** 1995. Ensilaje de maíz : cultivares y calidad. Uruguay. INIA. *Serie Técnica* no. 65. 16 p.
- CHAMBERLAIN, C.C.; BARTH, K.M.; FRIBOURG; H.A.** 1978. Corn silage maturity and beef heifer performance. USA. Tennessee. Agricultural Experiment Station. *Bulletin* no. 583. 38p.
- CHOE, B.; LEE, H.B.; LEE, W.K.; JI, H.C.** 1994. Tillering and prolific inbreds. *Maize Genetic Newsletter* 68: 100.
- CHOE, B.; LEE, H.B.** 1986. A maize variety with large number of tillers and ears, and its potential for silage production. In *Congress of the maize and sorghum section of EUCARPIA (13.,1985, Wageningen): Proceedings*. Ed. by. O. Dolstra ; P. Miedema. Wageningen, Pudoc. p. 165.
- DEINUM, B; VAN ES, A.J.H.; VAN SOEST, P.J.** 1968. Climate, nitrogen and grass. II. The influence of light intensity, temperature and nitrogen on in vivo digestibility of grass and the prediction of these effects from some chemical procedures. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 16: 217-223.

DEINUM, B. 1976. Effect of age, leaf number and temperature on cell wall digestibility of maize. In Carbohydrate research in plants and animals. Wageningen, Agricultural University. Misc. Papers no 12. p. 29-41.

DEINUM, B.; KNOPPERS, J. 1979. The growth of maize in the cool temperate climate of the Netherlands: effect of grain filling on production of dry matter and on chemical composition and nutritive value. Netherlands Journal of Agricultural Science 27: 116-130.

DEINUM, B.; BAKKER, J.J. 1981. Genetic differences in digestibility of forage maize hybrids. Netherlands Journal of Agricultural Science 29: 93-98.

DEINUM, B.; STEG, A.; HOF, G. 1984. Measurement and prediction of digestibility of forage maize in the Netherlands Animal Feed Science and Technology 10: 301-313.

DEINUM, B.; STRUIK, P.C. 1986. Improving the nutritive value of forage maize. Breeding of silage maize. In Congress of the maize and sorghum section of EUCARPIA (13.,1985, Wageningen) Proceedings. Ed. by O. Dolstra; P. Miedema. Wageningen, Pudoc. p. 77-90.

DHILLON, B.S.; PAUL, Chr.; ZIMMER, E.; GURRATH, P.A.; KLEIN, D.; POLLMER, W.G. 1990. Variation and covariation in stover digestibility traits in diallel crosses of maize. Crop Science 30: 931-936.

DUNCAN, W.G. 1975. Maize. In Crop physiology : some case histories. Ed. by L. Evans. London, Cambridge University Press. p. 23-50.

FAIREY, N.A. 1983. Yield, quality and development of forage maize as influenced by dates of planting and harvesting. Canadian Journal of Plant Science 63: 157-168.

FASSIO, A. 1991. Ensayo de densidades y ciclos. In Día de campo : cultivos de verano (1991, La Estanzuela, Colonia). Uruguay. INIA La Estanzuela. p. 4.

FASSIO, A.; CARRIQUIRY, A.; TOJO, C.; ROMERO, R. 1998. Maíz: aspectos sobre fenología. Uruguay. INIA Serie Técnica no. 101. 51 p.

FISHER, D.S.; BURNS, J.C. 1987. Quality analysis of summer – annual forages. I. Sample preparation methods and chemical characterisation of forage types and cultivars. Agronomy Journal. 79: 236-242.

GABRIELSEN, B.C.; VOGEL, K.P.; KNUDSEN, D. 1988. Comparison of *in vitro* dry matter digestibility and cellulase digestion for deriving near infrared reflectance spectroscopy calibration equations using cool-season grasses. Crop Science 28: 44-47.

GALLAIS, A.; HUGUET, L.; BERTHET, H.; BERTIN, G.; BROQUA, B.; MOURGUET, A.; TRAINAU, R. 1980. Preliminary evaluation of brown midrib maize hybrids for their feeding and agronomic value in France. In: Improvement of quality traits of maize for grain and silage use. Ed. by W.G. Pollmer; R.H. Phipps. The Hauge, Martinus Nijhoff. p. 319-339.

GARDNER, B.R.; PEARCE, R.B.; MITCHELL, R.L. 1990. Physiology of crop plants. 2a.ed. Ames, Iowa State University Press. 327 p.

GEIGER, H.H.; MELCHINGER, A.E.; SCHMIDT, G.A. 1986. Analysis of factorial crosses between *flint* and dent maize inbred lines for forage performance and quality traits. In Congress of the maize and sorghum section of EUCARPIA (13.,1985, Wageningen) Proceedings. Ed. by O. Dolstra; P. Miedema. Wageningen, Pudoc. p. 147-154.

GENTER, C.F.; JONES, G.D.; CARTER, M.T. 1970. Dry matter accumulation and depletion leaves, stems and ears of maturing maize. Agronomy Journal. 62: 535-537.

GENTINETTA, E.; BERTOLINI, M.; ROSSI, I.; LORENZONI, C.; MOTTO, M. 1990. Effect of brown midrib-3 mutant on forage quality and yield in maize. Journal of Genetics and Breeding 44: 21-26.

- GRZESIAK, S.; ROOD, S.B.; FREYMAN, S.; MAJOR, D.J.** 1981. Growth of corn seedlings: Effects of night temperature under optimum soil moisture or under drought conditions. *Canadian Journal of Plant Science* 61: 871-877.
- GROSS, F.** 1989. Silos y ensilados. Zaragoza, España, Acribia. 274 p.
- HOVELAND, C.S.; MONSON, W.G.** 1980. Genetic and environmental effects on forage quality. In *Crop quality : storage and utilisation*. Ed. by C.S. Hoveland. Madison, ASA, CSSA. p. 139-168.
- HUNT, C.W.; KEZAR, W.; VINANDE, R.** 1992. Yield, chemical composition, and ruminal fermentability of corn whole plant, ear, and stover as affected by hybrid. *Journal of Production Agriculture* 5: 286-290.
- HUNTER, R.B.** 1980. Increased leaf area (source) and yield of maize in short-season areas. *Crop Science*. 20: 571-574.
- HUNTER, R.B.** 1986. Selecting hybrids for silage maize production: a Canadian experience. In *Congress of the maize and sorghum section of EUCARPIA (13.,1985, Wageningen) Proceedings*. Ed. by. O. Dolstra ; P. Miedema. Wageningen, Pudoc. p. 140-146.
- INIA-IPA-Diario Rural.** 2007. Resultados del 7mo. Concurso Nacional de Silos (disponible en: <http://www.inia.org.uy/online/site/34062811.php>).
- JORGENSEN, N.A.; CROWLEY, J.W.** 1988. Ensilaje de maíz para el ganado: producción, cosecha, almacenamiento y utilización en raciones de establecimientos lecheros. Montevideo, Hemisferio Sur. 51 p. .
- JUGENHEIMER, R.W.** 1990. Maíz: variedades mejoradas, métodos de cultivo y producción de semillas. Trad. del inglés por Pina G., R. Limusa. México, D. F., México. 841 p.
- JUNG, H.; ALLEN, M.** 1995. Characteristics of plant cell walls affecting intake and digestibility of forages by ruminants. *Journal of Animal Science* 73: 1774-2790.
- JUNG, H.; MERTENS, D.; BUXTON, D.** 1998. Forage quality variation among maize inbreds: *in vitro* fiber digestion kinetics and prediction with NIRS. *Crop Science* 38: 205-210
- LAM, T.B.T.; IIYAMA, K.; STONE, B.A.** 1996. Lignin and hydroxycinnamic acids in walls of brown midrib mutants of sorghum, pearl millet and maize steMS. *Journal of the Science of Food Agriculture* 71: 174-178.
- LEE, HB.; LEE, WK.; JI, HC.; CHOE, B.** 1993. Inbreds whose tiller height is taller than the main stem. *Maize Genetics Cooperation Newsletter* 67:108.
- LEE, HB.; LEE, WK.; LEE, I.; CHOE, B; CHUNG, SK.** 1994. Tillers taller than the main stem are heritable. *Maize Genetics Cooperation Newsletter* 68:100.
- LESHEM, Y.; WERMKE, M.** 1981. Effect of plant density and removal of ears on the quality and quantity of forage maize in a temperate climate. *Grass and Forage Science* 36: 147-153.
- LUNDVALL, J.P.; BUXTON, D.R.; HALLAUER, A.R.; GEORGE, J.R.** 1994. Forage quality variation among maize inbreds: *in vitro* digestibility and cell-wall components. *Crop Science* 34: 1672-1678.
- MARTEN, G.C.; WESTERBERG, P.M.** 1972. Maize fodder – influence of bareness on yield and quality. *Crop Science* 12: 367-369.
- MARTEN, G.C.; HALGERSON, J.L.; SLEPER, D.A.** 1988. Near infrared reflectance spectroscopy evaluation of ruminal fermentation and cellulose digestion of diverse forages. *Crop Science* 28: 163-167.

MILLER, J.E.; GEADELMANN, J.L.; MARTEN, G.C. 1983. Effect of the brown midrib allele on maize silage quality and yield. *Crop Science* 23: 493-496.

MINSON, D.J.; MCLEOD, M.N. 1970. The digestibility of temperate and tropical grasses. In *International Grassland Congress* (11., 1970, Surfers Paradise). Proceedings. Queensland, University of Queensland. p. 719-722.

MOORE, J.E. 1980. Forage crops. In *Crop quality, storage and utilisation*. Ed. by C.S. Hoveland. Madison, ASA, CSSA. p. 61-91.

MONTGOMERY, M.J.; FRIBOURG, H.A.; OVERTON, J.R.; HOPPER, W.M. 1974. Effect of maturity of corn on silage quality and milk production. *Journal of Dairy Science*. 57: 698-702.

MORAN, J.B.; KAISER, A.; STOCKDALE; C.R. 1990. The role of maize silage in milk and meat production from grazing cattle in Australia. *Outlook on Agriculture* 19: 171-177.

MOSS, D.N. 1962. Photosynthesis and bareness. *Crop Science* 2: 366-367.

MULLER, L.D.; LECHTENBERG, V.L.; BAUMAN, L.F.; BARNES, R.F.; RHYKERD, C.L. 1972. In vivo evaluation of a brown midrib mutant of *Zea mays* L. *Journal of Animal Science* 35: 883-889.

MULLER, L.D.; BARNES, R.F.; BAUMAN, L.F.; COLENBRANDER, F.V. 1971. Variations in lignin and other structural components of brown midrib mutants of maize. *Crop Science* 11: 413-415.

PHIPPS, R.H.; WELLER, R.F. 1979. The development of plant components and their effects on the composition of fresh and ensiled forage maize. I. The accumulation of dry matter, chemical composition and nutritive value of fresh maize. *Journal of Agricultural Science (Camb.)* 92: 471-483.

PHIPPS, R.H. 1980. A review of the carbohydrate content and digestibility value of forage maize grown in the cool climatic conditions of the UK and their relevance to animal production. In *Improvement of quality traits of maize for grain and silage use*. Ed. by W.G. Pollmer ; R.H. Phipps. The Hague, Martinus Nijhoff. p. 291-317.

PHIPPS, R.H.; WELLER, R.F.; COOPER, A. 1982. A comparison between the accumulation of dry matter, chemical composition and nutritive value of isogenic sterile and fertile forage maize. *Maydica*. 27: 27-40.

FIGURINA, G. 1992. Ensilajes en establecimientos lecheros. Uruguay. INIA. Serie Técnica no. 29. 27 p.

PINTER, L. 1986. Ideal type of forage maize hybrid (*Zea mays* L.). In *Congress of the maize and sorghum section of EUCARPIA* (13., 1985, Wageningen) Proceedings. Ed. by O. Dolstra ; P. Miedema. Wageningen, Pudoc. p. 123-130.

ROOD, S.B.; MAJOR, D.J. 1980. Responses of early corn inbreds to photoperiods. *Crop Science*. 20: 679-682.

ROTH, G.W. 1994. Hybrid quality and yield differences for corn silage in Pennsylvania. *Journal of Production Agriculture* 7: 50-54.

ROTH, L.D.; KLOPFENSTEIN, T.J. 1987. Corn variety and harvest date effects on stalklage quality and animal growth. *Journal of Animal Science* 65: 143.

ROTH, L.S.; MARTEN, G.C.; COMPTON, W.A.; STUTHAM, D.D. 1970. Genetic variation of quality traits in maize (*Zea mays* L.) forage. *Crop Science*. 10: 365-367.

RUSSEL, J.R.; IRLBECK, N.A.; HALLAUER, A.R.; BUXTON, D.R. 1992. Nutritive value and ensiling characteristics of maize herbage as influenced by agronomic factors. *Animal Feed Science and Technology* 38: 11-24.

- SOTO, P.; JAHN, E.B.** 1987. Efecto de la cosecha de choclo sobre la producción y calidad del forraje del maíz para ensilaje. *Agricultura Técnica*. 47 (2): 163-169.
- STRIJK, P.C.** 1982. Effect of a switch in photoperiod on the reproductive development of temperate hybrids of maize. *Netherlands Journal of Agricultural Science*. 30: 69-83.
- STRIJK, P.C.; DEINUM, B.** 1982. Effect of light intensity after flowering on the productivity and quality of silage maize. *Netherlands Journal of Agricultural Science*. 30: 297-316.
- STRIJK, P.C.** 1983a. Physiology of forage maize (*Zea Mays* L.) in relation to its production and quality. Doctoral thesis. Wageningen, Agricultural University. 252 p.
- STRIJK, P.C.** 1983b. The effects of short and long shading, applied during different stages of growth, on the development, productivity and quality of forage maize (*Zea mays* L.). *Netherlands Journal of Agricultural Science*. 31: 101-124.
- STRIJK, P.C.; DEINUM, B.; HOEFSLOOT, J.M.P.** 1985. Effects of temperature during different stages of development on growth and digestibility of forage maize (*Zea Mays* L.). *Netherlands Journal of Agricultural Science*. 33: 405-420.
- THIAGARAJAH, M.R.; HUNT, L.A.** 1982. Effects of temperature on leaf growth in corn (*Zea mays*). *Canadian Journal of Botany* 60: 1647-1652.
- THOM, E.R.; DOROFIAEFF, F.D.; DYSON, C.B.** 1981. Effect of plant population and time of harvest on yield and quality of Maize (*Zea Mays* L.) grown for silage. I – Yield and chemical composition and sampling procedures for large areas. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 24: 285-292.
- THOMPSON, D.L.** 1982. Grain yield of two synthetics of corn after seven cycles of selection for lodging resistance. *Crop Science* 22: 1207-1210.
- THORSTENSSON, E.M.G.; BUXTON, D.R.; CHERNEY, J.H.** 1992. Apparent inhibition to digestion by lignin in normal brown midrib steMS. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 59: 183-188.
- TOLLENAAR, M.; HUNTER, R.B.** 1981. Quantification of the effects of temperature and photoperiod on maize development. *Agronomy Abstracts: annual meeting*. p. 14.
- VATTIKONDA, M.R.; HUNTER, R.B.** 1983. Comparison of grain yield and whole-plant silage production of recommended corn hybrids. *Canadian Journal of Plant Science* 63: 601-609.
- VILLALOBOS, J.L.; BURNS, J.C.; FISHER, D.S.; POND, K.R.** 1991. *In vitro* dry matter disappearance and cell-wall concentrations of flaccidgrass masticates predicted by near infrared reflectance spectroscopy. *Crop Science* 31: 1571- 1574.
- VOUGH, L.R.; MARTEN, G.C.** 1971. Influence of soil moisture and ambient temperature on yield and quality of alfalfa forage. *Agronomy Journal* 63: 40-42.
- WEAVER, D.E.; COPPOCK, C.E.; LAKE, G.B.; EVERETT, R.W.** 1978. Effect of maturation on composition and *in vitro* matter digestibility of corn plant parts. *Journal of Dairy Science* 61: 1782-1788.
- WILKINSON, J.M.; NEWMAN, G.; ALLEN, D.M.** 1998. Maize. producing and feeding maize silage. Lincoln, Chalcombe Publications. 73 p.
- WOLF, D.P; COORS, J.G.; ALBRECHT, K.A.; UNDERSANDER, D.J.; CARTER, P.R.** 1993. Agronomic evaluations of maize genotypes selected for extreme fiber concentrations. *Crop Science* 33: 1359-1365.
- ZIMMER, E.; WERMKE, M.** 1986. Improving the nutritive value of maize: breeding of silage maize. In Congress of the maize and sorghum section of EUCARPIA (13.,1985, Wageningen) Proceedings. Ed. by. O. Dolstra ; P. Miedema. Wageningen, Pudoc. p. 91-100.

Impreso en Febrero de 2018
en PRONTOGRÁFICA
Cerro Largo 850 - Tel.: 2902 3172
Montevideo Uruguay
E-mail: prontografica@prontografica.com.uy
Dep. Legal 369.749

INIA Dirección Nacional

Andes 1365, P. 12

Montevideo

Tel. 598 2902 0550

Fax 598 2902 3633

iniadn@dn.inia.org.uy

INIA La Estanzuela

Ruta 50, Km 11

Colonia

Tel. 598 4574 8000

Fax 598 4522 4061

iniale@le.inia.org.uy

INIA Las Brujas

Ruta 48, Km 10

Canelones

Tel. 598 2367 7641

Fax 598 2367 7609

inia_lb@lb.inia.org.uy

INIA Salto Grande

Camino al Terrible

Salto

Tel. 598 4733 5156

Fax 598 4732 9624

inia_sg@sg.inia.org.uy

INIA Tacuarembó

Ruta 5, Km 386

Tacuarembó

Tel. 598 4632 2407

Fax 598 4632 3969

iniatbo@tb.inia.org.uy

INIA Treinta y Tres

Ruta 8, Km 281

Treinta y Tres

Tel. 598 4452 2305

Fax 598 4452 5701

iniatt@tyt.inia.org.uy

www.inia.uy