

Rendimiento y Valor Nutricional de Híbridos de Maíz para Ensilado en la Región de Valles Altos del Centro de México

[Yield and Nutritional Value of maize hybrids for silage in the Highlands Valleys Region of Central México]

Ma. del Rosario Tovar Gómez¹, Claudia Pérez Mendoza², Alfonso Peña Ramos³, José Luis Arellano Vázquez⁴, María Magdalena Crosby Galván⁵, Arturo Daniel Terrón Ibarra⁵, and Ernesto Ricardo Preciado Ortiz⁶

¹Programa de Forrajes, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-Campo Experimental Valle de México, Coatlinchán, Texcoco, Estado de México, Mexico

²Programa de Recursos Genéticos, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-Campo Experimental Valle de México, Coatlinchán, Texcoco, Estado de México, Mexico

³Programa de Mejoramiento Genético de Maíz, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-Campo Experimental Pabellón, Kilómetro 32.5 Carretera Aguascalientes-Zacatecas, Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, Mexico

⁴Programa de Mejoramiento Genético de Maíz, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-Campo Experimental Valle de México, Coatlinchán, Texcoco, Estado de México, Mexico

⁵Programa de Recursos Genéticos y Productividad-Ganadería, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Montecillo, Texcoco, Estado de México, Mexico

⁶Programa de Mejoramiento Genético de Maíz, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-Campo Experimental Bajío, Carretera Celaya San Miguel Allende Km, 6.5 Celaya, Guanajuato, Mexico

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Parameter identification for further utilization as selection criteria to generate new forage maize cultivars is of the utmost importance in the breeding programs. The objective of this study was to evaluate the agronomic characteristics, yield, and nutritional value of experimental maize hybrids with forage potential in the Central Highlands of Mexico. The experiment was conducted in Texcoco, State of Mexico. Treatments consisted of 11 maize cultivars planted in irrigated conditions and allocated in randomized complete block design with three replications. Results indicated differences ($P < 0.0001$) for most variables. Earliness varied from 84 to 109 days, and plant height from 190 to 282.9 cm. In addition, cultivars with Tropical and subtropical germplasm showed an increasing incidence of common rust from 8.3 to 92%. The yield of green forage varied from 37.1 to 80 t ha⁻¹, while the yield of dry matter was from 12.8 to 24.8 t ha⁻¹. In conclusion, the productive potential of hybrids with Tropical germplasm is limited due to their susceptibility to rust. In contrast, hybrids with germplasm from the Highlands showed an outstanding performance. These hybrids were V-107, H157-E, H-161, and H-166E.

KEYWORDS: germplasm, genetic improvement, cultivars, forage, *in vitro* digestibility.

RESUMEN: En los programas de mejoramiento genético de maíz, es de gran relevancia la identificación de los parámetros principales que puedan ser utilizados como criterios de selección para la generación de nuevos cultivares de maíz para forraje. El objetivo del presente estudio fue evaluar las características agronómicas, el rendimiento y el valor nutricional de híbridos experimentales de maíz con potencial forrajero en la Región de los Valles Altos de la Mesa Central de México. El experimento se estableció bajo riego en Texcoco, Estado de México y se utilizaron 11 cultivares, el diseño experimental fue bloques completos al azar con tres repeticiones. Los resultados obtenidos

en el estudio indicaron diferencias significativas ($P < 0.0001$) en la mayoría de las variables evaluadas. La precocidad varió de 84 a 109 días y la altura de planta osciló de 190 a 282.9 cm. Asimismo, se observó, que los cultivares con germoplasma Subtropical y Tropical, mostraron las mayores incidencias a la roya común de 8.3 a 92%. El rendimiento de forraje verde osciló de 37.1 a 80 t ha⁻¹ mientras que el rendimiento de materia seca presentó valores de 12.8 a 24.8 t ha⁻¹ entre los cultivares evaluados. Se concluye que los híbridos integrados con germoplasma Tropical presentaron alta susceptibilidad a la roya común debido a ello, redujeron su potencial productivo, mientras que los cultivares de maíz integrados con germoplasma Valles Altos y Templados que resultaron sobresalientes en este estudio fueron: V-107, H-157E, H-161 y H-165E.

PALABRAS-CLAVE: germoplasma, mejoramiento genético, cultivares, forraje, digestibilidad *in vitro*.

1 INTRODUCCIÓN

En México el maíz para forraje conservado como ensilado es un alimento energético esencial en las dietas de los animales rumiantes, principalmente en el ganado productor de leche y en menor escala, en el de producción de carne. A nivel nacional, la superficie sembrada de maíz forrajero se ha incrementado del 2018 al 2021 en 8.06% y la producción en más de un millón setecientas toneladas esto es debido, a una mayor demanda de forraje de maíz en las explotaciones productoras de leche. En México en el año 2021, se sembraron alrededor de 189 mil hectáreas bajo riego y 407 mil hectáreas bajo temporal y se cosecharon alrededor de 16 millones de toneladas de forraje verde [1].

En México, ninguna variedad e híbrido de maíz fue genéticamente desarrollada para producción y calidad forrajera, sino que fueron seleccionadas para rendimiento de grano [2], posteriormente son evaluadas para verificar con base en su potencial si es factible su utilización con fines de ensilado [3], por lo cual la información es limitada en cuanto al potencial productivo y nutricional de estos materiales para las diferentes regiones agroecológicas del país.

En la mayoría de los programas de mejoramiento genético la elección de variedades para producción de forraje y ensilado se basa en el porte alto de planta y gran capacidad para producir follaje, así como el manejo para obtener grandes volúmenes de materia verde por hectárea [4]; [5]; [6] y no se considera el valor nutritivo [2]; [4]. Esto puede ocasionar la generación de cultivares de maíz con muy buena productividad, pero con baja calidad nutricional lo cual repercute en la eficiencia y productividad del animal al consumir este forraje.

Debido a la amplia variabilidad genética observada en producción y calidad de forraje en maíz [7]; [8]; [9]; [10] se considera que el mejoramiento genético puede ser una estrategia exitosa para generar híbridos con las características forrajeras deseables y contribuir a incrementar la producción de leche y disminuir costos de producción. Asimismo, [2] mencionan que entre los criterios importantes de selección para el mejoramiento del maíz para ensilaje se encuentran la digestibilidad, el contenido de fibras y el rendimiento de materia seca.

Algunos estudios han demostrado que el mejoramiento genético para grano ha propiciado incrementos en producción de materia seca total, de la parte vegetativa y del grano, en 1.4, 0.7 y 2.4% por año, respectivamente, así como decrementos significativos en el contenido de fibra e incrementos en la digestibilidad *in vitro* del forraje, pero no de la parte vegetativa de la planta [11]; [11] sugieren enfatizar el mejoramiento de la calidad forrajera de la parte vegetativa, adicionalmente a la del rendimiento, para así lograr mayores progresos. Información adicional muestra que la digestibilidad de la planta total correlaciona de manera alta y significativa con la calidad nutritiva de la parte vegetativa, pero no con la del grano [7]; [12], lo que apoya hacer selección por calidad del follaje y del rendimiento de grano independientemente. [13] señalan que la digestibilidad *in vitro* de la pared celular del tallo es un parámetro estable que puede ser utilizado para evaluaciones genéticas. [14] mostraron la variación genética para la tasa y grado de digestión *in situ* de la pared celular en tallos de maíz. Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar las características agronómicas, el rendimiento y el valor nutricional en híbridos experimentales de maíz con potencial forrajero en la Región de los Valles Altos de la Mesa Central de México.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 UBICACIÓN

El estudio se realizó en el Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX) ubicado en Santa Lucía Coatlinchán, Estado de México que se encuentra dentro del área de los 19° 29' latitud norte y 98° 53' longitud oeste con una altitud de 2250 m. De acuerdo con la clasificación climática de Köppen y modificada por [15] para las condiciones de México, se clasifica como templado subhúmedo C (o) (w) b (i) g, con lluvias en verano y del subtipo más seco de los C (W). La temperatura media anual es de 15.2 °C y con una precipitación pluvial promedio anual de 645 mm. Los análisis de valor nutricional se realizaron en el Laboratorio de Nutrición Animal del Programa de Ganadería del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Montecillo, Estado de México.

2.2 MATERIAL GENÉTICO Y DISEÑO EXPERIMENTAL

El material genético fue proporcionado (Tabla 1) por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y el Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal (ICAMEX), así como por Compañías privadas de semillas. Este material estuvo constituido por once cultivares que incluyeron híbridos con adaptabilidad a los Valles Altos y Templados, así como a las Regiones Tropicales y Subtropicales de los cuales siete son experimentales, un híbrido comercial, una variedad sintética y dos testigos comerciales. El diseño experimental utilizado en este estudio fue bloques al azar con tres repeticiones.

Tabla 1. Material genético utilizado en el estudio

No.	Material Genético	Institución y/o Compañía semillera	Variedad	Origen
1	FORBAJIO2	INIFAP	Híbrido	Subtropical
2	H-165	INIFAP	Híbrido	Valles Altos
3	H-157	INIFAP	Híbrido	Valles Altos
4	H-159	INIFAP	Híbrido	Valles Altos
5	PAB1	INIFAP	Híbrido	Tropical
6	PAB2	INIFAP	Híbrido	Tropical
7	MACHO1	ICAMEX	Híbrido	Valles Altos
8	H-161	INIFAP	Híbrido	Valles Altos
9	A-791	ASGROW	Híbrido	Tropical
10	V-107	INIFAP	variedad	Valles Altos
11	P30G40	PIONEER	Híbrido	Tropical

2.3 MANEJO CULTIVO

El experimento se realizó bajo condiciones de riego durante el ciclo primavera-verano con una densidad de población aproximada de 80,000 plantas ha⁻¹ y se fertilizó con 180-60-30 (N-P-K) kg ha⁻¹ cuya primera aplicación se hizo con 90-60-30 al momento de la siembra, y el resto del nitrógeno en la segunda escarda 90-00-00 [16].

2.4 VARIABLES EVALUADAS

Las variables agronómicas que se registraron fueron: días a floración femenina (FF), desde la siembra hasta que los estigmas expuestos tenían un cm de longitud; días a floración masculina (FM) transcurridos desde la siembra hasta que 50% de las plantas de cada parcela se encontraran en antesis; altura de planta (AP), se midió en centímetros desde la superficie del suelo al pie de la planta hasta la lígula de la hoja bandera, la sintomatología para roya común (*Puccinia sorghi* Schw.) (RC) fue evaluada en la etapa de floración del cultivo, tomando como referencia la escala de calificaciones del [17], para determinar el grado de afectación de la planta, donde 1 = 0%, 2 = 25%, 3 = 50%, 4 = 75% y 5 = 100%.

La cosecha se realizó en la etapa de corte para ensilado (30-35% MS de la planta). Un indicador práctico para determinar cuando la planta de maíz presenta este contenido de materia seca es la línea de leche que se presenta en el grano [18]. Posteriormente, se cortaron todas las plantas de los surcos centrales, después se pesaron para obtener el rendimiento de forraje verde total (RFV). El porcentaje de materia seca (MS), se determinó en ocho plantas completas tomados al azar para determinar materia seca, los cuales se pesaron, picaron (molino) y se mezclaron. El rendimiento de materia seca por hectárea (RMS) se estimó con el valor de forraje verde y el porcentaje de materia seca. En las muestras colectadas a la cosecha, se tomó una submuestra de un kg aproximadamente que se secó en una estufa de aire forzado a 60 °C hasta peso constante; luego se molió (criba de un mm en un molino Wiley) para las determinaciones de los análisis de valor nutricional.

En el experimento se determinó el contenido de proteína cruda (PC) siguiendo el método de Microkjendahl, descrito por la [19]; la cantidad de nitrógeno total se expresa en términos de proteína, utilizando como factor de conversión 6.25. La concentración de lignina en detergente ácido (LFDA) se determinó con ácido sulfúrico. La digestibilidad *in vitro* (DIVMS), fibra detergente ácido (FDA) y fibra detergente neutro (FDN) se determinó mediante la técnica descrita por [20] modificado por [21]. La hemicelulosa (HEM) en planta completa se obtuvo como resultado de la diferencia entre la FDN y la FDA; Celulosa (CEL) en planta completa se obtuvo del resultado de la diferencia entre la FDA y la LFDA.

2.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos fueron procesados y analizados utilizando el paquete estadístico SAS [22]. Para ello, se empleó el procedimiento de modelos generalizados (GLM) y la comparación múltiple de medias (Tukey con $P \leq 0.05$). Al modelo estadístico, se agregó como covariable el porcentaje de materia seca de la planta para ajustar los datos de rendimiento de materia seca, proteína, lignina y rendimiento de materia seca digestible. Asimismo, las relaciones entre las diferentes variables registradas en este estudio y que fueron descritas por correlaciones simples de Pearson. Para la caracterización de las variedades de maíz se realizó utilizando la técnica multivariada de análisis canónico discriminante [23].

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 ANÁLISIS UNIVARIADO

Los resultados obtenidos indicaron diferencias significativas para todas las variables ($P \leq 0.001$). Con base en los días a floración (Tabla 2), todos los cultivares de maíz evaluados fueron de ciclo intermedio-tardío (92 días de FF y 90 días en FM en promedio) excepto por MACHO1 quien registró el mayor ciclo a floración. La AP de los cultivares osciló entre 211 y 314 cm con una media de 229.6 cm; los híbridos con mayor altura fueron los más tardíos como lo muestra la relación positiva observada entre la floración femenina y la altura ($r = 0.58$, $P < 0.001$) y los cultivares tardíos con el porte más alto de todos los materiales evaluados fueron MACHO1 y V107 comparados con FORBAJIO1, H-161E, PAB2, H-159E y PAB1 que presentaron una menor altura.

Tabla 2. Comparación de medias para las variables de agronómicas y de productividad en híbridos experimentales de maíz para forraje

Híbridos	Variables [†]					
	FF (d)	FM (d)	AP (cm)	RC (%)	RFV (t ha ⁻¹)	RMS (t ha ⁻¹)
<i>Experimentales</i>						
FORBAJIO2	97	94	227	0.0	57.9	20.5
H-165	91	89	240	0.0	69.6	28.0
H-157	83	81	242	0.0	66.0	23.3
H-159	84	82	212	16.7	64.6	23.4
PAB1	91	89	211	45.8	54.6	20.2
PAB2	93	90	213	50.0	48.1	17.9
MACHO1	105	102	314	8.3	51.3	17.2
<i>Comerciales</i>						
H-161	83	81	215	16.7	72.7	26.7
<i>Testigos</i>						
A-791	93	91	237	16.7	57.5	23.8
V-107	94	91	285.0	8.3	88.8	29.9
P30G40	94	92	243.4	33.3	53.5	20.0
Media	92.3	89.7	229.6	15.7	58.88	20.6
Significancia	***	***	***	***	***	***
R ²	0.95	0.93	0.79	0.74	0.92	0.74
DMSH	4.40	3.37	44.8	38.24	15.88	6.17

[†]FF = días a floración femenina; FM = días a floración masculina; AP = altura de planta; RC = roya común; RFV = rendimiento de forraje verde; RMS = rendimiento de materia seca. *** $P < 0.0001$; R² = Coeficiente de determinación; DMSH = diferencia mínima significativa honesta (Tukey = 0.05%).

En cuanto a la evaluación de la roya común (RC) se observó, que los mayores daños en las hojas de la planta se registraron cuando el cultivo se encontraba en etapa de floración siendo los cultivares con germoplasma Tropical, los que mostraron las mayores incidencias a la RC de 33.3 a 50%. Los híbridos experimentales PAB1 (45.8%) PAB2 (50%) y el testigo comercial P30G40 (33.3%) fueron los que mostraron mayor susceptibilidad en comparación, a los materiales de origen Valles Altos; por lo que son limitadas las posibilidades de estos materiales para su aprovechamiento comercial en la Región de los Valles Altos de la Mesa Central de México debido, a su baja adaptabilidad a esta zona y resistencia a enfermedades foliares [24], que se ve reflejado en bajos rendimientos del cultivo [25].

En la misma Tabla 2, se presentan los rendimientos de los once cultivares evaluados, en donde el RFV varió de 88.8 a 48.1 t ha⁻¹, mientras que el RMS presentó valores de 29.9 a 17.2 t ha⁻¹; V-107, H-165E y H-161, fueron los materiales con el más alto RMS. En ese contexto, las producciones de materia verde total en todos los cultivares y, especialmente en los más sobresalientes, fue igual o mayor

a la media del Estado de México, que es de 51.47 t ha⁻¹ (SIAP, 2023) y fueron similares a los registrados por [26] y [27] quienes reportaron rendimientos que oscilan entre 70 y 95 t ha⁻¹ de forraje verde y más de 20 t ha⁻¹ de materia seca.

En la Tabla 3, se presentan los resultados obtenidos indican diferencias significativas para la mayoría de variables ($P < 0.001$) excepto para LAD. Con base en la comparación de medias para las variables de valor nutricional, el contenido de PC varió de 10.2 a 7.7% y para DIVMS los valores estuvieron entre 77.1 a 59.1% entre las variedades evaluadas. Al respecto, [4] reportó valores de 8.5 a 9.2% para PC y de 66.4 a 68.1% en DIVMS siendo ligeramente menores a lo encontrado en este estudio. Respecto a las paredes celulares, las variaciones fueron de 40.5 a 30.4% en HEM y de 35.4 a 25.4% en CEL.

Tabla 3. Comparación de medias para las variables de valor nutricional en híbridos experimentales de maíz para forraje. Coatlínchán, Estado de México, México

Híbridos	Variables [†]						
	PC (%)	FDN (%)	FDA (%)	LAD (%)	DIVMS (%)	HEM (%)	CEL (%)
<i>Experimentales</i>							
FORBAJIO2	8.9	66.1	29.7	2.6	66.1	36.4	27.2
H-165	7.7	71.8	35.2	2.1	66.8	36.6	33.1
H-157	8.5	68.0	37.6	2.2	67.8	30.4	35.4
H-159	9.3	64.5	34.1	1.9	65.7	30.4	32.2
PAB1	9.1	72.1	31.6	3.1	70.5	40.5	28.4
PAB2	9.7	67.9	29.0	3.2	77.1	38.9	25.8
MACHO1	10.2	72.8	39.6	4.5	60.5	33.2	35.3
<i>Comerciales</i>							
H-161	9.1	67.6	31.2	2.1	72.1	36.4	29.4
<i>Testigos</i>							
A-791	8.8	70.5	37.3	2.4	59.1	33.2	34.9
V-107	9.6	66.1	34.5	4.2	63.6	31.7	30.3
P30G40	9.2	62.0	27.3	1.9	65.3	34.7	25.4
Media	9.02	67.3	32.3	2.75	67.3	35.0	29.5
Significancia	***	**	**	ns	*	*	***
R ²	0.79	0.69	0.77	0.63	0.65	0.56	0.74
DMSH	1.44	8.19	7.84	2.66	15.5	9.65	8.06

[†]PC = proteína cruda de la planta completa; FDN = fibra detergente neutro; FDA = fibra detergente ácido; LAD = lignina detergente ácido; DIVMS = digestibilidad *in vitro* de la materia seca; HEM = hemicelulosa; CEL = celulosa. *** $P < 0.0001$; R² = Coeficiente de determinación; DMSH = diferencia mínima significativa honesta (Tukey= 0.05%).

El material que tuvo el mayor porcentaje de digestibilidad de todos los evaluados fue PAB2 y esto podría explicarse, por el bajo rendimiento de forraje que presentó tanto en verde como en seco y por la baja concentración de paredes celulares. Los valores de DIVMS en planta completa encontrados en este estudio son similares a los reportados por [28] en Aguascalientes, México, observó una digestibilidad *in vitro* de la planta de maíz que fluctuó entre 65.4 a 67.9% con una media de 66.6%.

Las relaciones observadas entre la DIVMS con FAD ($r = -0.66$; $P < 0.001$), con el contenido de CEL ($r = -0.64$; $P < 0.001$) así como con la concentración de HEM ($r = 0.56$; $P < 0.001$), muestran que los híbridos con mayor digestibilidad tienen menor contenido de fibra, específicamente de celulosa, pero un mayor contenido de hemicelulosa. Asimismo, el contenido de NDF estuvo relacionada positivamente con el contenido de LAD ($r = 0.48$; $P < 0.001$), indicando que a mayor concentración de la pared celular mayor contenido de lignina en la misma.

3.2 ANÁLISIS MULTIVARIADO

Por otra parte, el mejoramiento genético que se ha realizado en la Meseta Central de México se ha enfocado principalmente a la obtención de cultivares de mayor producción de grano, pero se han descuidado sus atributos de calidad y sus propiedades forrajeras [29]. Actualmente, los híbridos de maíz para forraje son seleccionados por su rendimiento de materia seca por unidad de superficie, ya que no se dispone de información detallada de su calidad nutricional [30].

En ese contexto, las variables agronómicas, de rendimiento y valor nutricional, evaluadas en la etapa de corte del maíz para ensilado se sometieron a distintas metodologías multivariadas, excluyendo las variables FM, RFV, FDA, LAD, HEM y CEL por presentar colinealidad

con FF, RMS, DIVMS y FDN. El análisis de varianza multivariado (MANOVA) presentó diferencias significativas entre híbridos ($P \leq 0.0001$) en las variables evaluadas en la etapa de corte para ensilado (Tabla 4).

En el Análisis Discriminante Canónico (CANDISC) se observa que tomando en cuenta el factor híbrido, las dos primeras variables canónicas (VC1 y VC2) resultaron significativas y ambas explicaron el 86% de la varianza total. Estos resultados obtenidos son superiores a los reportados por [29] quienes reportaron para los dos primeros componentes principales valores mayores al 70% cuando se aplica esta técnica multivariada [31] para la formación de grupos de variables o de cultivares de maíz forrajero.

En la Tabla 4 se presentan, los coeficientes canónicos estandarizados para los híbridos experimentales donde, muestran que con base en su valor absoluto las variables originales más relevantes la FF (2.17), AP (2.34), RMS (-0.58), DIVMS (0.74) y FDN (-1.10) en VC1 y en VC2 el RMS (2.03) y la DIVMS (-0.62) son los principales parámetros que caracterizan a los cultivares de maíz en la etapa de corte para ensilado. Esta información, coincide con lo reportado por [32] quienes determinaron a través del análisis de canónico discriminante que las variables a tomar en cuenta en las evaluaciones de cultivares de maíz para forraje son: días a floración femenina, altura de planta, acame y digestibilidad *in vitro*.

Tabla 4. Análisis de varianza multivariada, proporción de la varianza explicada, probabilidad y coeficientes canónicos estandarizados para las tres primeras variables canónicas en parámetros agronómicos, de rendimiento y valor nutricional medidos en la etapa de corte del maíz para ensilado. Coatlinchán, Estado de México, México

	Variable canónica	Proporción de la varianza explicada	Valor de probabilidad	FF	AP	RC	RMS	PC	DIVMS	FDN
Híbridos	VC1	0.70	< 0.0001	2.17	2.34	0.06	-0.58	-0.11	0.74	-1.10
	VC2	0.16	< 0.0001	0.39	-0.22	-0.59	2.03	-0.20	-0.62	0.006

FF = días a floración femenina; AP = altura de planta; RC = roya común en planta; RMS = rendimiento de materia seca; PC = proteína cruda total; DIVMS = digestibilidad *in vitro* de la materia seca de la planta completa; FDN = fibra detergente neutro.

Por otra parte, las medias de clase para las dos primeras variables canónicas en híbridos de maíz para forraje se presentan en la Tabla 5. Los valores negativos en VC1 indican que los híbridos, H-165E, H-161, H-159E, PAB1 y PAB2 fueron híbridos más precoces y de bajo porte; en contraste a los materiales FORBAJIO2, MACHO1, H-157E, A-791, V-107 y P30G40 que presentaron medias de clase con coeficientes positivos. Para CAN2, los materiales, FORBAJIO2, H-165E, H-157E, H-161 y V-107, que presentaron medias de clase con coeficientes positivos, tuvieron el mayor rendimiento de materia seca.

Tabla 5. Medias de clase de las variables canónicas para cultivares de maíz evaluados en la etapa de corte del maíz para ensilado. Coatlinchán, Estado de México, México

No.	Híbrido	VC1	VC2
1	FORBAJIO2	0.44	0.63
2	H-165	-3.70	2.48
3	MACHO1	12.56	-1.05
4	H-157E	0.24	2.06
5	H-161	-5.53	0.81
6	H-159E	-0.43	-1.06
7	PAB1	-3.97	-1.42
8	PAB2	-3.12	-3.55
9	A-791	0.44	-1.04
10	V-107	2.44	4.40
11	P30G40	0.62	-2.26

Con base en la ponderación de las variables originales definida por los coeficientes canónicos estandarizados y la posición de los materiales en la Figura 1, determinada por sus respectivas medias de clase, esto permite hacer la siguiente caracterización cuantitativa:

En el Cuadrante I, los materiales V-107, FORBAJIO2 y H-157E que se observan en este Cuadrante, se caracterizaron por presentar mayor ciclo (94 a 97 días a FF), AP de 227 a 285 cm, RMS que oscilaron entre 18.6 a 28.9 t ha⁻¹ y con alto valor en la DIVMS (63.6 a 67.8%) características que les permitieron ubicarlos como los de mejor respuesta con base en VC1 y VC2.

En el Cuadrante II los híbridos que se observaron en este Cuadrante fueron opuestas a los híbridos H-165E y H-161 de ciclo intermedio (89 y 91 días a FF), con AP de 215 y 240 cm, combinado con rendimientos de materia seca (24.3 y 27.6 t ha⁻¹) que fueron similares a los presentados por los híbridos que integraron el primer cuadrante y con DIVMS de 66.8 y 72.1%. Características, que permitieron ubicarlos como el de mejor respuesta en la variable VC2.

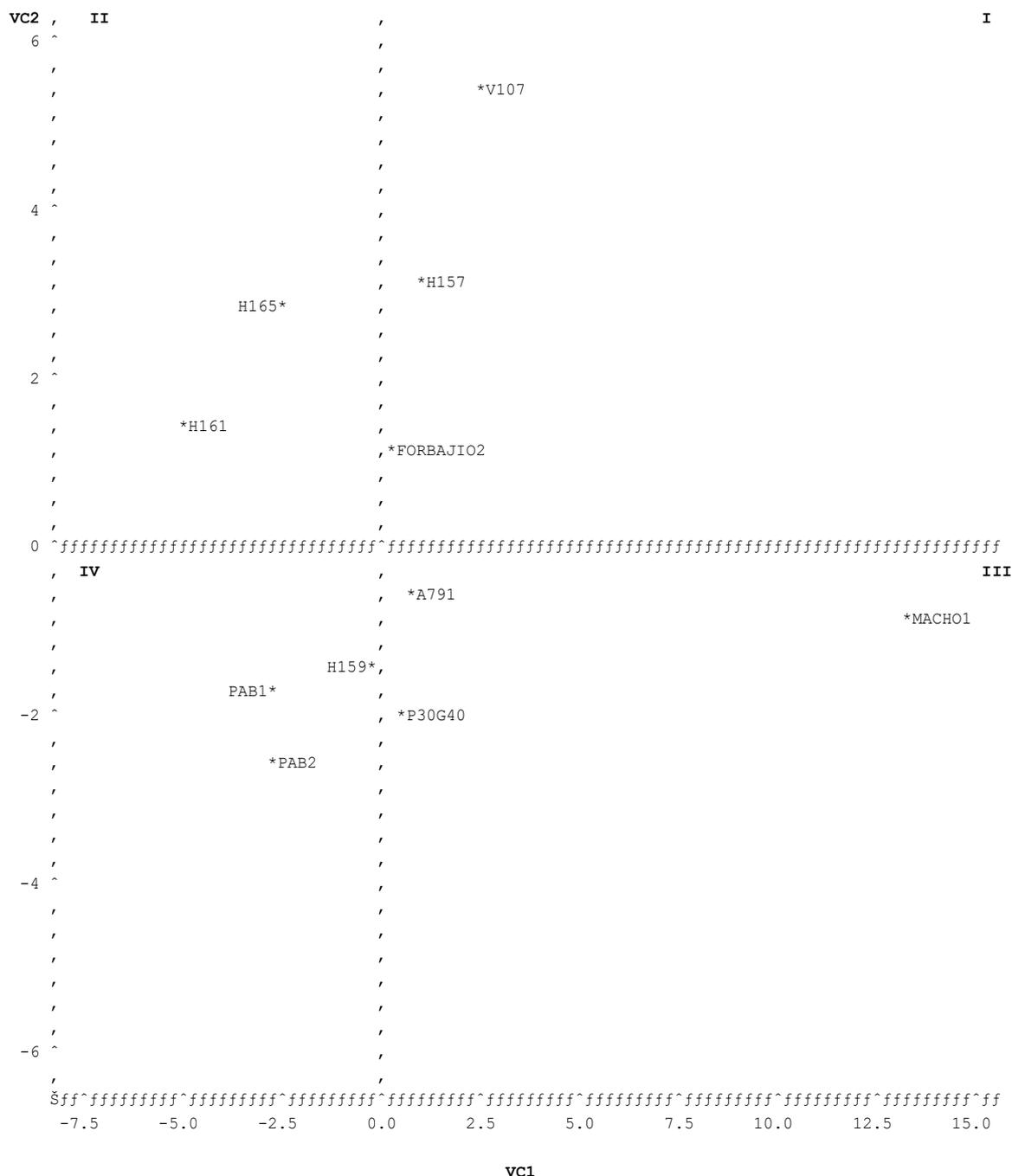


Fig. 1. Dispersión de los híbridos de maíz para forraje en función de parámetros agronómicos, rendimiento y el valor nutricional evaluados en la etapa de corte del maíz para ensilado y ponderada, por las dos primeras variables canónicas del análisis discriminante canónico. Coatlinchán, Estado de México, México

Con base en CAN1 se puede observar que el Cuadrante III, está integrado por los cultivares MACHO1, A-791 y P30G40 de ciclo tardío (93 a 105 días a FF). La AP de estos materiales son de 237 a 314 cm, pero con regulares RMS (17.9 a 23.2 t ha⁻¹), lo que viene a confirmar a los resultados obtenidos en los análisis estadísticos univariados. Estos resultados son consistentes con los observados por [33], quienes identificaron en híbridos de maíz para forraje rendimientos de forraje seco que van de 14.3 a 21.4 t ha⁻¹

Cuadrante IV. Presenta materiales de ciclo intermedio (PAB1) y tardío (H-159E y PAB2), porte bajo que va de 210 a 213 cm, con altos valores de la roya común (17.3 a 50.0%), con rendimientos de RMS alrededor de 15.2 a 20.8 t ha⁻¹ en comparación a los materiales que integran el segundo cuadrante y con un porcentaje de DIVMS 63 a 77.1%, por lo que se ubican como los cultivares de mayor porcentaje de roya común, menor rendimiento y altura de planta esto, de acuerdo a las variables canónicas VC1 y VC2. Estos resultados son similares a los reportados por [5] quienes aseguraron que el menor rendimiento de algunos híbridos de maíz forrajero, se explica por su menor porte de planta y también porque tuvieron una fuerte incidencia de roya (*Puccinia polysora*).

De manera general puede señalarse que los materiales de maíz con el mejor comportamiento productivo y nutricional al corte para ensilado fueron aquellos que poseen germoplasma para Valles Altos y Templados que fueron generados por el INIFAP, siendo los sobresalientes: V-107, H-157E, H-161 y H-165E.

4 CONCLUSIONES

En este estudio se concluye que el híbrido afecta la producción y el valor nutricional del maíz para forraje. Además, los principales parámetros que caracterizan a los genotipos de maíz en la etapa de corte para ensilado son la floración femenina, altura de la planta, rendimiento de materia seca, fibra detergente neutro y digestibilidad de la materia seca *in vitro*, por lo que es importante tomar en cuenta estos parámetros en los programas de mejoramiento genético del maíz para forraje. Asimismo, se tiene que los híbridos integrados con germoplasma Tropical presentaron alta susceptibilidad a la roya común debido a ello, redujeron su potencial productivo, mientras que los cultivares de maíz integrados con germoplasma Valles Altos y Templados que resultaron sobresalientes en este estudio fueron: V-107, H-157E, H-161 y H-165E.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar sus agradecimientos al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), por el apoyo económico brindado a través del proyecto titulado: "Mejoramiento Genético de Maíz Para Forraje de Alta Productividad y Valor Nutricional" (No. SIGI: 135260688). Asimismo, los autores agradecen al Dr. Gustavo Adrián Velásquez Cárdelas (CEVAMEX-INIFAP) y al M.C. Fermín Bravo Quirino (ICAMEX), por la facilidad dada al otorgar los híbridos generados por ellos para ser evaluados en este estudio.

REFERENCIAS

- [1] Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). *Avance de siembras y cosechas año agrícola 2021 en México*. En línea. Disponible en https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/ (15 de diciembre de 2023).
- [2] A. Peña R., F. González C., G. Núñez H. y C. Jiménez G., «Aptitud combinatoria de líneas de maíz para alta producción y calidad forrajera». *Revista Fitotecnia Mexicana*, vol. 27, no.1, pp. 1-6, 2004.
- [3] M. Tadeo R., A. Espinosa C., J. Zaragoza E., A. Turrent F., M. Sierra M. y N. Gómez M., «Forraje y grano de híbridos de maíz amarillos para valles altos de México». *Revista Agronomía Mesoamericana*, vol. 23, no. 2, pp. 281-288, 2012.
- [4] G. Núñez H., R. Faz C., F. González C. y A. Peña R., «Madurez de híbridos de maíz a la cosecha para mejorar la producción y calidad del forraje». *Técnica Pecuaria de México*, vol. 43, pp. 69-78, 2005.
- [5] A. Peña R., F. González C., G. Núñez H., M. R. Tovar G., R. E. Preciado O., A. D. Terrón I., N. O. Gómez M. y A. Ortega C., «Estabilidad del rendimiento y calidad forrajera de híbridos de maíz». *Revista Fitotecnia Mexicana*, vol. 29, no.2, pp. 109-114, 2006a.
- [6] A. Peña R.; F. González C., G. Núñez H., H. Maciel, Producción y calidad forrajera de híbridos precoces de maíz en respuesta a fechas de siembra, nitrógeno y densidad de población. *Revista Fitotecnia Mexicana*, Vol. 29, no. 3, pp. 207-213, 2006b.
- [7] D. P. Wolf, J. G. Coors, K. A. Albrecht, D. J. Undersander, P. R. Carter, Forage quality of maize genotypes selected for extreme fiber concentrations. *Crop Science*, 33: 1353-1359, 1993.
- [8] J. P. Lundvall, D. R. Buxton, A. R. Hallauer, J. R. George, Forage quality variation among maize inbreds: In vitro and cell wall components. *Crop Science*, vol. 34, pp.1672-1678, 1994.
- [9] J. G. Coors, *Findings of the Wisconsin corn silage consortium*. 58th Meeting. Cornell Nutrition Conf. Feed Manufac. Cornell University. Ithaca, NY, pp. 20-28, 1996.
- [10] A. Peña R., G. Núñez H. y F. González C., Potencial forrajero de poblaciones de maíz y relación entre atributos agronómicos con la calidad. *Técnica Pecuaria de México*, vol. 40, no. 3, pp. 215-228, 2002.
- [11] J. G. Lauer, J. G. Coors and P. J. Flannery, Forage yield and quality of corn cultivars developed in different eras. *Crop Science*, vol. 41, pp. 1449-1455, 2001.
- [12] A. Peña R., G. Núñez H., F. González C., Importancia de la planta y el elote en poblaciones de maíz para el mejoramiento genético de la calidad forrajera. *Técnica Pecuaria de México*, vol. 41, no. 1, pp. 63-74, 2003.
- [13] O. Dolstra, J. H. Medema, *An effective screening method for genetic improvement of cell-wall digestibility in forage maize*. In: Proc. XVth Eucarpia Maize and Sorghum Section Congress. June 4-8. Baden Near Vienna, Austria, pp. 258-270, 1990.
- [14] Y. Barriere, M. R. Tovar-Gómez, J. C. Emile and D. Sauvant, Genetic variation in rate and extent of the *in situ* cell wall degradation of maize stalks at silage harvest time. *Agronomie*, vol. 18, pp. 1-9, 1998.
- [15] E. García M., Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen para Adaptarlas a las Condiciones de la República Mexicana. 3ra ed. Editorial UNAM. México, 252 p., 1988.
- [16] M. R. Tovar G., J. L. Arellano V., C. Pérez M. y R. Zepeda B., «Rendimiento y valor nutricional del rastrojo y grano de híbridos y variedades de maíz para el Estado de México». Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias Campo Experimental Valle de México. Desplegable técnica no. 51, 2015.

- [17] Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Manejo de los ensayos e informe de los datos para el Programa de Ensayos Internacionales de Maíz del CIMMYT. México, D.F., 20 p., 1995.
- [18] C. Pérez M., M. R. Tovar G., N. O. Gómez M. y M. Montero L., «*Tecnología de producción de maíz para ensilado en el Estado de Guerrero*». Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias Campo Experimental Iguala. Desplegable para productores no. 16, 2010.
- [19] Association of Officiating Analytical Chemists (AOAC), Official method of analysis. 19th Edition. Washington DC, USA. 672 p., 2012.
- [20] P. J. Van Soest, R. Wine H. and A. Morre L., Estimation of the true digestibility of forages by the in vitro digestion of cell walls. Proceedings of the X International Grassland Congress. Pp. 438-441, 1966.
- [21] E. P. Sosa, Manual de procedimientos analíticos para alimentos de consumo animal. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México, 115 p., 1979.
- [22] Statistical Analysis Software, SAS/STAT, Guide for personal computers. Statistical Analysis System Institute. Inc. Cary, NC. USA, 2016.
- [23] A. R. Johnson, and D. W. Wichern., *Applied multivariate statistical analysis*. Prentice Hall. Inc. Englewood Cliffs. New Jersey, USA. pp. 361-396, 1982.
- [24] M. R. Tovar G., J. L. Arellano V., C. Pérez M., A. Peña R. y G. Núñez H., Evaluation of experimental and commercial maize hybrids for silage in the Highland Valleys Region. *Journal Animal Science*, vol. 85, no. 1, pp. 41, 2007.
- [25] J. P. Wiatrak, D. L. Wright, J. J. Marois and R. Sprenkel, Corn hybrids for late planting in the southeast. *Agronomy Journal*, vol. 96, pp. 1118-1124, 2004.
- [26] A. Peña R., F. González C., G. Núñez H., R. E. Preciado O., A. D. Terrón I. y M. Luna F., H-376. Híbrido de maíz para producción de forraje y grano en el Bajío y la región norte centro de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, vol. 31, pp. 85-87, 2008.
- [27] M. Castillo J., A. Rojas B. y R. WingChing J., Valor nutricional del ensilaje de maíz cultivado en asociación con vigna (*Vigna radiata*). *Agronomía Costarricense*, vol. 33, pp. 133-146, 2009.
- [28] F. González C., A. Peña R. y G. Núñez H., Etapas de corte, producción y calidad forrajera de híbridos de maíz de diferente ciclo biológico. *Revista Fitotecnia Mexicana*, vol. 29, no. 2, pp. 103-107, 2006.
- [29] J. R. P. Franco M., A. González H., D. J. Pérez L. y M. González R., Caracterización fenotípica de híbridos y variedades de maíz forrajero en Valles Altos del Estado de México, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, vol. 6, no. 8, pp. 1915-1927, 2015.
- [30] G. Núñez H., E. F. Contreras G., y R. Faz C., Características Agronómicas y Químicas Importantes en Híbridos de Maíz para Forraje con Alto Valor Energético. *Técnica Pecuaria de México*, vol. 41, no.1, pp. 37-48, 2003.
- [31] I. Rodríguez F., A. González H., D. J. Pérez L. y M. Rubí A., Efecto de cinco densidades de población en ocho cultivares de maíz sembrado en tres localidades del Valle de Toluca, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, vol. 6, no. 8, pp. 1943-1955, 2015.
- [32] C. Pérez M., M. R. Tovar G., N. O. Gómez M. y M. Montero L., Evaluación de híbridos y variedades de maíz con potencial forrajero en la Región Tropical del Estado de Guerrero. *Revista Foro de Estudios Sobre Guerrero*, vol. 1, no.2, pp. 357-362, 2015.
- [33] R. Gaytán B., L. Reyes M., M. I. Martínez G., N. Mayek P., J. S. Padilla R. y M. Luna F., Depresión del rendimiento de grano y forraje de híbridos de maíz en generaciones avanzadas. *Agricultura Técnica de México*, vol. 31, no. 2, pp. 165-175, 2005.