

Influencia del tamaño de semilla en la productividad y el valor nutricional del maíz para ensilado

[Influence of seed size on productivity and nutritional value of maize silage]

Claudia Pérez Mendoza¹, Ma. del Rosario Tovar Gómez², Gabino García de los Santos³, and María Magdalena Crosby Galván⁴

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

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

³Programa de Recursos Genéticos y Productividad-Producción de Semillas, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Montecillo, Texcoco, Estado de México, Mexico

⁴Programa de Recursos Genéticos y Productividad-Ganadería, Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo, Montecillo, Texcoco, Estado de México, 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: In Mexico, the relationship of seed size with the productive and nutritional potential of maize silage needs to be studied. Thus, this study investigated the effect of seed size on yield and the nutritional value at the cutting stage for silage of various maize varieties. The research consisted of two phases: the productivity of maize for silage and the nutritional value estimated in the laboratory. Nine maize varieties, previously classified by their seed size, were used: flat large and flat medium. The experimental design was a randomized complete block with factorial arrangement and four repetitions. The harvest was carried out at the silage-cutting stage (30-35% DM, whole plant). Results for each estimated variable showed significant differences ($P < 0.001$) among varieties, while seed size was significant for only some variables. Based on the absolute value of the standardized coefficients, the outstanding variables were female flowering, total protein, *in vitro* digestibility, and dry matter yield. In conclusion, maize variety for silage affects the productivity and nutritional value in the cutting stage. In contrast, the effect of seed size on protein yield, protein content, and plant digestibility was minor. The materials Campeón, H-135, H-157, HS-2, and A-791 yielded the highest, while the nutritional value of H-135, Campeón, HS-2, VS-22, and H-358 was outstanding.

KEYWORDS: Seed Size, Protein Yield, *In Vitro* Digestibility, Nutritional Value.

RESUMEN: En México la relación que el tamaño de semilla tiene con el potencial productivo y nutricional del maíz para ensilado no se ha estudiado. El objetivo fue determinar si el tamaño de semilla influye sobre el rendimiento y el valor nutricional en la etapa de corte para ensilado en diferentes variedades de maíz. La investigación consistió en dos fases: en la primera, se evaluó la productividad del maíz para ensilado y en la segunda, se determinó el valor nutricional en laboratorio. Se utilizaron nueve variedades de maíz previamente clasificados en dos tamaños de semilla: plano grande y medio. El diseño experimental utilizado en cada fase fue bloques completos al azar con arreglo factorial y cuatro repeticiones. La cosecha se realizó en la etapa de corte para ensilado (30-35% MS, planta completa). Hubo diferencias significativas ($P < 0.001$) en todas las variables evaluadas para variedades; en tamaño de semilla solo hubo significancia en algunas variables. En función del valor absoluto de los

coeficientes estandarizados, las variables relevantes fueron floración femenina, proteína total, digestibilidad *in vitro* y rendimiento de materia seca. Se concluye que la variedad afecta la productividad y el valor nutricional en la etapa de corte del maíz para ensilado; mientras que el tamaño de semilla, sólo presentó un ligero efecto en el rendimiento de proteína por hectárea, contenido de proteína y en la digestibilidad de la planta. Los materiales Campeón, H-135, H-157, HS-2 y A-791 fueron los de mayor productividad y en cuanto al valor nutricional estuvieron H-135, Campeón, HS-2, VS-22 y H-358.

PALABRAS-CLAVES: Tamaño de Semilla, Rendimiento de Proteína, Digestibilidad *in vitro*, Valor Nutricional.

1 INTRODUCCIÓN

En México, el maíz conservado como ensilado, es un alimento energético muy importante para la alimentación de animales rumiantes, principalmente el ganado productor de leche. A nivel nacional y para el año 2022, con base en las estadísticas reportadas por el [1], se sembraron 570,384.88 ha⁻¹ de maíz forrajero y las entidades que presentaron la mayor superficie sembrada fueron Jalisco, Zacatecas, Durango, Aguascalientes, Chihuahua y Estado de México.

En México, la investigación de maíz se ha orientado principalmente a la generación de nuevas variedades para incrementar los niveles de rendimiento de grano por unidad de superficie, por lo cual se han liberado híbridos o variedades adaptables a las condiciones ambientales del país. En contraste, muy pocos programas de mejoramiento genético han tenido como objetivo el seleccionar el maíz para uso exclusivo de forraje. El criterio de selección en esos programas se ha basado principalmente en el rendimiento de materia seca y no se ha considerado la calidad nutricional como un parámetro de evaluación adicional [2].

Recientemente, [3] recomiendan tomar en cuenta para la selección de híbridos de maíz, la altura de planta, el área foliar, alta productividad de grano, resistencia a plagas, adaptación a condiciones edáficas, resistencia al acame y un ciclo vegetativo compatible con el manejo de corte de la planta para ensilar. Por su parte, [4] mencionan que entre las características que deben considerarse en un híbrido de maíz para forraje, es el índice de cosecha ya que este se relaciona con una mayor proporción de grano con respecto al forraje, lo que incrementa la palatabilidad, el nivel de energía y la digestibilidad.

Por otra parte, en México, algunos estudios se han realizado con la finalidad de demostrar la influencia que tiene el tamaño de semilla de maíz en el establecimiento en campo, en las características agronómicas o en el rendimiento del grano; sin embargo, se consideran escasos los estudios en donde los esquemas de investigación del maíz para forraje incluyan al tamaño de semilla como un ingrediente que se relacione con atributos agronómicos, de productividad y de calidad de híbridos o variedades de maíz con potencial forrajero.

En ese contexto [5] menciona que, al realizar la clasificación del maíz por su forma y tamaño de la semilla, se obtiene una mejor calidad física e inclusive en otros atributos, tal como un mayor contenido de proteína de la semilla. Tomando en cuenta lo anterior, se realizó la presente investigación con el siguiente objetivo: Determinar si el tamaño de semilla tiene influencia sobre la productividad y el valor nutricional en la etapa de corte para ensilado en diferentes variedades de maíz.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 UBICACIÓN

El estudio se llevó a cabo en dos localidades del Estado de México (Tecámac en el Distrito de Zumpango, ubicada a los 19° 42' de latitud norte, 98° 58' de longitud oeste y una altitud de 2260 m y, Coatlinchán en el Distrito de Texcoco localizada a los 19° 29' latitud norte y 98° 53' longitud oeste con una altitud de 2250 m), durante el ciclo primavera-verano. 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

El material genético utilizado consistió de nueve diferentes variedades de maíz: seis híbridos (H-157E, H-135, A-791, Promesa, HS-2 y H-358), dos variedades sintéticas (VS-2000 y VS-22) y un criollo (Campeón). Las semillas de estos materiales fueron seleccionadas mediante cribas para obtener dos formas y tamaños de cada variedad: plano grande (PG) y plano medio (PM).

2.3 DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental empleado fue series de experimentos en bloques al azar factorial de tratamientos en donde, se consideró a las localidades (Tecámac y Coatlinchán), bloques, variedades de maíz para forraje (nueve variedades) así como los tamaños de semilla (plano grande y medio) como fijos. y con cuatro repeticiones.

2.4 MANEJO CULTIVO

La densidad utilizada fue de 80,000 plantas ha⁻¹. La fertilización del cultivo se hizo mediante la fórmula: 180-90-30 que es la recomendada, para la producción de maíz forrajero en el Estado de México, aplicándose en dos partes: la primera al momento de la siembra con la mitad del nitrógeno y todo el fósforo y el potasio y la segunda a los cuarenta días después de la siembra, aplicándose el resto del nitrógeno. Las fuentes fueron: urea (46%), superfosfato de calcio triple (46%) y cloruro de potasio (60%) [6].

La cosecha se realizó en la etapa de corte para ensilado (30-35% MS de la planta). El forraje se cosechó, picó y secó (60 °C) para la determinación de la materia seca (MS); luego se molió (1 mm) para las determinaciones de los análisis de valor nutricional.

2.5 VARIABLES EVALUADAS

Las variables registradas en campo fueron: días a floración femenina (FF) y masculina (FM), altura de la planta (AP), altura de mazorca (AM), diámetro del tallo (DT), diámetro del nudo de inserción de la mazorca (DM), índice de cosecha (IC), rendimiento de forraje verde (RFV) y seco (RMS).

Las variables de valor nutricional evaluadas fueron: materia seca total (MST): a las muestras se les determinó el contenido de materia seca total siguiendo el método descrito por la [7]. El porcentaje de materia seca total (MST) obtenido, se utilizó para reportar los datos de cada uno de los análisis en 100% base seca; contenido de proteína cruda de la planta completa (PC), se determinó siguiendo el método de Microkjendahl, descrito por la [7]; la cantidad de nitrógeno total se expresa en términos de proteína, utilizando como factor de conversión 6.25; digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) de la planta completa, se realizó por el método de [8] modificado por [9]. Con los datos de rendimiento de forraje seco, proteína cruda de la planta completa y la digestibilidad *in vitro* (DIVMS).se generaron las variables de rendimiento de proteína (RCP) y de materia seca digestible (RMSD) por hectárea.

2.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En cada una de las variables se realizó el análisis de varianza univariado (ANOVA) de acuerdo con el diseño de la serie de experimentos en bloques al azar factorial; todo esto se realizó utilizando el paquete estadístico [10]. Se hizo la comparación de medias para los experimentos individuales y en conjunto, de aquellas variables que resultaron significativas en los ANOVA'S con base en la prueba de rango múltiple (Tukey, $\alpha=0.05$). Adicionalmente, la información se sometió a la metodología multivariada de colinealidad, excluyendo variables que tuvieran inconsistencia en su medición o se asociaran con otras variables del estudio; posteriormente, se llevó a cabo el análisis multivariado (MANOVA) y discriminante canónica (CANDISC), utilizando los procedimientos PROC REG ALL, PROC MANOVA y PROC CANDISC del SAS [10].

3 RESULTADOS

3.1 ANÁLISIS UNIVARIADO

El análisis de la información proveniente de la serie de experimentos (SEFABA) indicó diferencias significativas ($P\leq 0.001$) para localidad (L) en la mayoría de los parámetros evaluados a excepción de DT, RMS, RPC y RMSD ($P\geq 0.05$) y para la variedad (V) se encontró diferencias en todos los parámetros evaluados ($P\leq 0.001$). El tamaño de semilla (TS) sólo tuvo efecto en RPC, PC y DIVMS ($P\leq 0.001$) mientras que en las interacciones VxTS, LxV, LxTS y LxVxTS fueron significativas ($P\leq 0.001$) sólo en algunos parámetros de rendimiento y de valor nutricional (Tabla 1).

Con el fin de detectar qué variables respondieron mejor en este estudio, se procedió a realizar la comparación de medias de Tukey por localidad, variedad, tamaño de semilla y las combinaciones generadas de estos tres factores.

Tabla 1. Cuadrados medios del análisis de varianza de la serie de experimentos de bloques al azar con arreglo factorial, para las variables agronómicas, de rendimiento y valor nutricional evaluadas en la etapa de corte del maíz para ensilado.

FV	Variables												
	FF (d)	FM (d)	AP (cm)	AM (cm)	DT (cm)	DM (cm)	IC	RFV (t ha ⁻¹)	RMS (t ha ⁻¹)	RPC (t ha ⁻¹)	RMSD (t ha ⁻¹)	PC (%)	DIVMS (%)
Localidad (L)	27.56 *	10.563 *	9893.6 **	16716.3 **	0.06 ns	0.26 **	0.24 **	2146.0 **	17.5 ns	0.03 ns	62.0 ns	2.9 **	5.9 *
Variedad (V)	773.58 **	746.78 **	4714.3 **	4977.5 **	0.83 **	0.23 **	0.04 **	334.0 **	38.5 **	0.29 **	36.0 **	2.3 **	380.2 **
Tamaño de semilla (TS)	0.17 ns	0.56 ns	405.4 ns	6.5 ns	0.00001 ns	0.00001 ns	0.0004 ns	67.4 ns	24.7 ns	0.44 **	0.17 ns	17.2 **	90.2 **
VxTS	2.58 ns	1.42 ns	272.2 ns	63.5 ns	0.02 ns	0.02 ns	0.008 ns	98.1 *	24.7 **	0.09 **	7.0 **	0.09 **	3.0 **
LxV	6.28 *	4.20 ns	136.3 ns	604.5 **	0.16 *	0.18 **	0.01 **	256.3 **	24.0 **	0.09 ns	8.0 **	1.3 **	17.5 **
L*TS	5.06 ns	2.00 ns	165.6 ns	2.6 ns	0.08 ns	0.07 ns	0.01 ns	45.5 ns	5.8 ns	0.04 ns	8.2 ns	0.003 ns	17.0 **
LxVxTS	3.28 ns	2.08 ns	150.4 ns	217.3 ns	0.07 ns	0.02 ns	0.01 **	32.1 ns	2.1 ns	0.03 ns	1.6 ns	0.37 **	2.9 *
B(L)	3.36 ns	4.59 ns	8781.9 **	2378.6 **	0.33 ns	0.33 ns	0.003 ns	525.9 **	37.8 **	0.41 **	23.7 **	0.02 **	0.6 ns
CV (%)	1.7	1.7	7.3	8.9	8.5	7.5	15.0	10.5	12.7	11.3	10.9	0.82	1.4

FF = días a floración femenina; FM = días a floración masculina; AP = altura de planta; AM = altura de mazorca; DT = diámetro del tallo; DM = diámetro del nudo de la mazorca; IC = índice de cosecha; RFV = rendimiento de forraje verde; RMS = rendimiento de materia seca; RPC = rendimiento de proteína por hectárea; RMSD = rendimiento de materia seca digestible; PC = proteína en planta completa; DIVMS = digestibilidad in vitro de la materia seca de planta completa. **, * = significancia estadística al 0.001 y 0.05 de probabilidad; ns = no significativo

El efecto de la localidad se puede observar en la Tabla 2, en donde se presentan los valores de las variables que presentaron diferencia estadística significativa (P≤0.05). En Tecámac las alturas AP y AM, así como RFV y la DIVMS, tuvieron valores más altos comparado con la localidad de Coatlínchán, por el contrario, en esta última localidad, la floración (FF y FM), el IC y el contenido de PC fueron mayores que en la localidad de Tecámac.

Tabla 2. Comparación de medias por localidad para las variables agronómicas, de rendimiento y valor nutricional evaluadas en la etapa de corte del maíz para ensilado.

Localidad	Variables [†]							
	FF (d)	FM (d)	AP (cm)	AM (cm)	IC	RFV (t ha ⁻¹)	PC (%)	DIVMS (%)
Tecámac	99 b	89 b	259 a	157 a	0.35 b	66.1 a	7.9 b	68.0 a
Coatlínchán	100 a	90 a	242 b	135 b	0.43 a	58.4 b	8.6 a	67.6 b

[†]FF = días a floración femenina; FM = días a floración masculina; AP = altura de planta; AM = altura de mazorca; IC = índice de cosecha; RFV = rendimiento de forraje verde; PC = proteína en planta completa; DIVMS = digestibilidad in vitro de la materia seca de planta completa. Medias con la misma literal son estadísticamente iguales (Tukey P < 0.05).

Tomando en cuenta la comparación de medias de las variables evaluadas (Tabla 3) se observa que en la mayoría de las variedades utilizadas fueron de ciclo tardío (>92 días de FF) a excepción de la variedad sintética VS-22 que fue de ciclo intermedio con 88 días de FF. Respecto a la altura de la planta, la variedad sintética VS-2000 fue la de mayor porte (288 cm) y el híbrido Promesa presentó una altura menor (229 cm). Si se consideran los parámetros de rendimiento (RMS, RMSD y RPC),

el criollo Campeón y los híbridos HS-2, H-135 y H-157 fueron los más productivos. Además, estos materiales también presentan un buen valor nutricional a excepción del H-157 que obtuvo menor contenido de PC y DIVMS. Asimismo, la variedad VS-22 aunque no tiene un rendimiento elevado, si posee buena calidad nutricional.

Tabla 3. Variables agronómicas, de rendimiento y valor nutricional de las variedades de maíz para ensilado evaluadas en dos localidades del Edo. de México.

Variedad	Variables [†]												
	FF (d)	FM (d)	AP (cm)	AM (cm)	DT (cm)	DM (cm)	IC	RFV (t ha ⁻¹)	RMS (t ha ⁻¹)	RPC (t ha ⁻¹)	RMSD (t ha ⁻¹)	PC (%)	DIVMS (%)
H-157	104	96	256	151	2.9	2.2	0.41	65.6	24.2	1.8	15.6	7.6	64.4
H-135	103	96	248	148	3.0	2.3	0.35	65.3	22.9	2.0	16.4	8.5	71.7
A-791	105	96	233	129	3.9	2.2	0.37	57.0	22.5	1.8	12.7	8.0	56.7
VS-2000	102	88	288	182	2.9	2.3	0.33	68.2	20.4	1.6	13.4	8.1	65.8
Campeón	94	84	255	157	2.8	2.2	0.34	65.9	23.4	2.1	16.8	8.8	71.5
Promesa	94	84	229	123	2.6	2.1	0.44	57.9	20.4	1.8	13.9	8.7	68.3
HS-2	94	85	258	147	2.6	2.0	0.47	63.3	23.0	1.8	16.6	7.9	70.7
VS-22	88	81	243	145	2.8	2.2	0.40	61.9	20.1	1.7	14.1	8.4	70.2
H-358	109	101	244	132	3.3	2.5	0.37	55.2	20.6	1.7	14.6	8.1	70.9
Media	89	81	250	146	2.9	2.2	0.39	56.0	19.8	1.6	13.4	7.4	61.0
(P<0.05)	1.88	1.73	20.6	14.7	0.27	0.19	0.07	7.29	3.1	0.23	2.09	0.08	1.08
DMSH													

[†]FF = días a floración femenina; FM = días a floración masculina; AP = altura de planta; AM = altura de mazorca; DT = diámetro del tallo; DM = diámetro del nudo de la mazorca; IC = índice de cosecha; RFV = rendimiento de forraje verde; RMS = rendimiento de materia seca; RPC = rendimiento de proteína por hectárea; RMSD = rendimiento de materia seca digestible; PC = proteína en planta completa; DIVMS = digestibilidad in vitro de la materia seca de planta completa. DMSH = diferencia mínima significativa honesta.

En la serie de experimentos, el tamaño de semilla tuvo efecto significativo (P≤0.05) en RPC, PC y DIVMS. En la Figura 1, se puede observar que, al utilizar semilla de tamaño grande, se presentó un ligero incremento en RPC, PC y DIVMS comparada con la semilla de tamaño medio.

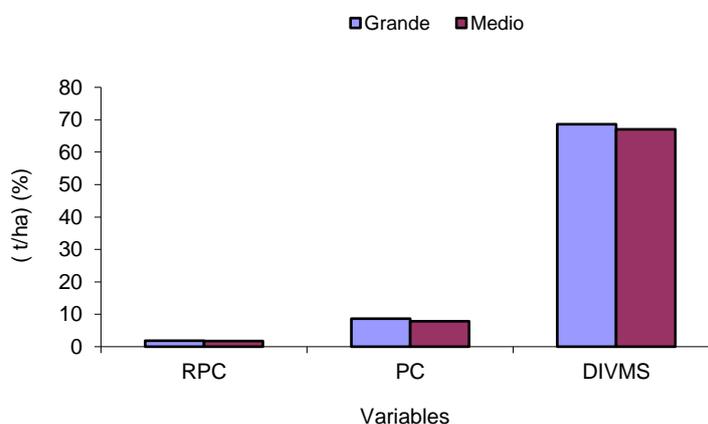


Fig. 1. Diferencias registradas entre tamaños de semilla para rendimiento de proteína (RPC), proteína total (PC) y digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS).

Respecto a las combinaciones de variedad por tamaño de semilla (VxTS), localidad por variedad (LxV) y localidad por variedad por tamaño de semilla (LxVxTS) se observa que las diferencias encontradas en algunos parámetros evaluados se deben a que el factor de variación principal fue la variedad utilizada, la localidad de estudio y es muy importante mencionar, que el bloque anidado en la localidad tuvo una participación relevante más que el tamaño de semilla objeto de este estudio.

3.2 ANÁLISIS MULTIVARIADO

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, AM, DT, DM, RFV, RPC y RMSD por presentar colinealidad con FF, AP y RMS. El análisis de varianza multivariado (MANOVA) permitió detectar diferencias significativas entre localidad (L), variedad (V), tamaño de semilla (TS) e interacciones de VxTS, LxV y LxVxTS ($P \leq 0.0001$), lo que indica que, en conjunto, las variables analizadas afectaron los criterios de clasificación, por lo que fue factible someterlas a distintas metodologías de análisis multivariado, decidiéndose realizar el Análisis Discriminante Canónico (CANDISC).

El CANDISC mostró (Tabla 4) que el factor localidad en una sola variable canónica (CAN1) se acumuló el 100% de la variación total y resultando significativa ($P \leq 0.0001$). Las medias de clase para las localidades de Tecámac y Coatlinchán, registraron valores de -0.71 y de 0.71, respectivamente.

Tomando en cuenta este valor y los coeficientes canónicos estandarizados, se puede decir que en la localidad de Coatlinchán se obtuvo el mejor valor nutricional en la etapa del maíz para ensilado, dado que la variable PC (1.05) fue la variable original de mayor ponderación; el valor negativo de la media de clase para la localidad de Tecámac, indica que habrá una relación inversa en esta localidad para el contenido de PC. La distancia de Mahalanobis entre localidades fue de 2.02 y resultó significativa ($P \leq 0.0001$).

Por otra parte, el MANOVA (Tabla 4) detectó diferencias significativas entre variedades ($P \leq 0.0001$) en cuanto a sus caracteres agronómicos, de rendimiento y valor nutricional. Con el CANDISC se observa cómo en el factor variedad, las tres primeras variables canónicas (CAN1, CAN2 y CAN3) resultaron significativas y ambas explicaron el 99% de la varianza total. Tomando en cuenta la variedad, los coeficientes canónicos estandarizados, muestran que con base en su valor absoluto las variables originales más relevantes fueron FF (0.97) en CAN1 y en CAN2 la DIVMS (0.98), en tanto que en CAN3 el RMS (0.70) y AP (-1.00) fueron las variables de mayor ponderación.

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.

	Variable canónica	Proporción de la varianza explicada	Valor de probabilidad	Coeficientes canónicos estandarizados				
				FF	AP	RMS	PC	DIVMS
Localidad (L)	CAN1	100	<0.0001	0.25	-0.30	0.22	1.05	-0.29
Variedad (V)	CAN1	0.73	<0.0001	0.97	0.19	-0.04	-0.17	-0.25
	CAN2	0.24	<0.0001	0.32	-0.02	0.19	-0.05	0.98
	CAN3	0.02	<0.0001	-0.004	-1.00	0.70	0.26	0.003
Tamaño de semilla (TS)	CAN1	100	<0.0001	0.39	0.16	0.04	1.05	0.16

FF = días a floración femenina; AP = altura de planta; RMS = rendimiento de materia seca; PC = proteína en la planta completa; DIVMS = digestibilidad in vitro de la materia seca de la planta completa.

Con base en la ponderación de las variables originales definida por los coeficientes canónicos estandarizados y la posición de los materiales en la Figura 2, determinada por sus respectivas medias de clase, esto permite hacer la siguiente caracterización cuantitativa:

Cuadrante I. Los materiales H-135 y H-358 que se observan en este Cuadrante, fueron liberados por el INIFAP y poseen germoplasma Tropical. Además, se caracterizaron por presentar mayor ciclo (103 a 108 días a FF), alturas de planta de 244 a 248 cm, rendimientos de materia seca que oscilaron entre 20.6 y 22.9 t ha⁻¹, y con alto valor en la DIVMS (70.9 a 71.7%) características que les permitieron ubicarlos como los de mejor respuesta con base en CAN1 y CAN2.

Cuadrante II. Las variedades que se observaron en este Cuadrante fueron opuestas Campeón y HS-2 de ciclo intermedio (94 días a FF), con alturas de planta de 258 cm, combinado con rendimientos de materia seca (23.4 t ha⁻¹) que fueron ligeramente superiores al resto de los materiales evaluados, y con DIVMS similares a los presentados por las variedades que integraron el primer cuadrante (70.7 y 71.5%). Características, que permitieron ubicarlos como los de mejor respuesta en la variable CAN2. Es importante mencionar que los materiales provienen de Institutos de Investigación (Colegio de Postgraduados), excepto el criollo Campeón que es material del Estado de Tlaxcala y de origen Valles Altos.

Cuadrante III. Con base en CAN1 se puede observar que el Cuadrante III, está integrado por los híbridos A-791 y H-157 de ciclo tardío (105 días a FF). Las alturas de planta de estos materiales son de 233 a 256 cm, pero con los menores contenidos de

DIVMS, lo que viene a confirmar, los resultados obtenidos en los análisis estadísticos univariados. El H-157 es un material del INIFAP con origen Bajío-Valles Altos, y el A-791 pertenece a ASGROW con germoplasma tropical.

Cuadrante IV. Presenta materiales de ciclo intermedio (VS-22, Promesa) y tardío (VS-2000), con rendimientos de RMS alrededor de 20.0 t ha⁻¹ en comparación a los materiales que integran el segundo cuadrante y con un porcentaje más bajo de DIVMS (65.8 a 70.2%), por lo que se ubican como las variedades de menor rendimiento y valor nutricional en la etapa de corte del maíz para ensilado, de acuerdo a las variables canónicas CAN1 y CAN2. Estos materiales también pertenecen a INIFAP (VS-22), Colegio de Postgraduados (Promesa) e ICAMEX (VS-2000) y todos tienen germoplasma de Valles Altos.

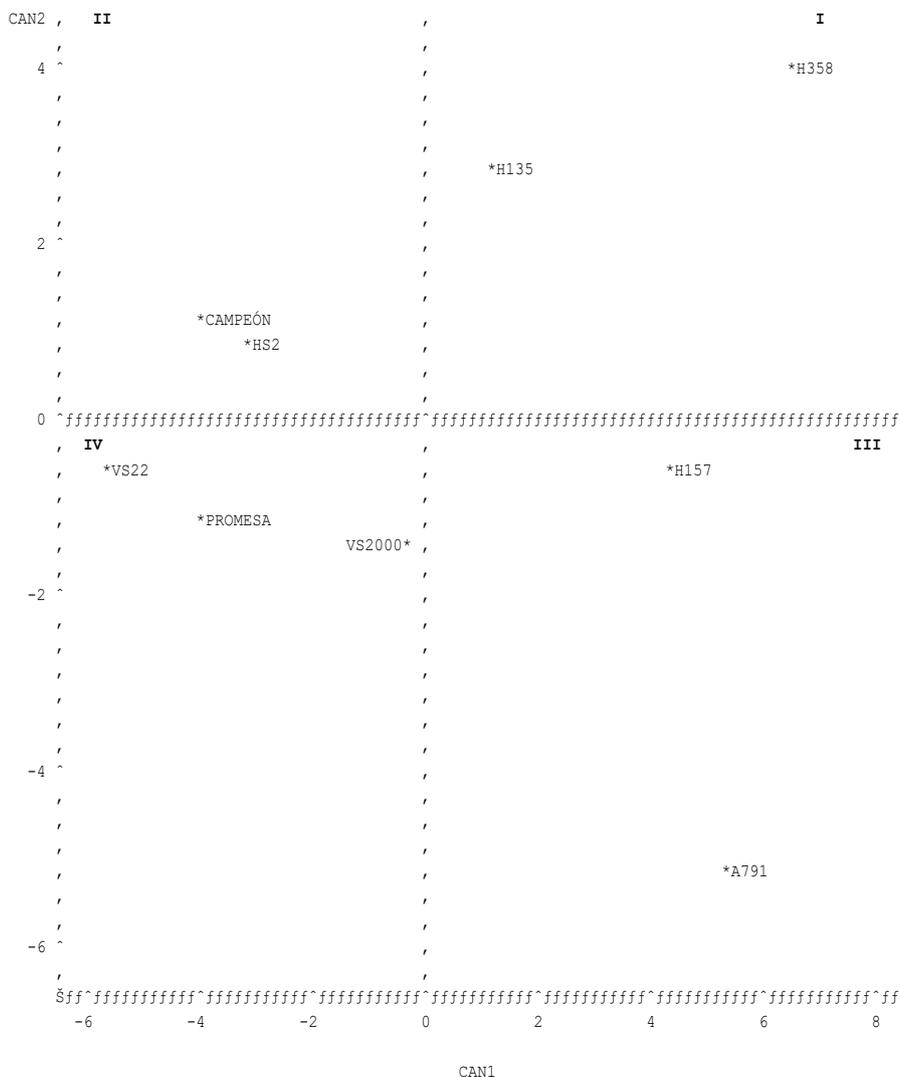


Fig. 2. *Dispersión de las variedades de maíz para forraje en función del rendimiento y el valor nutricional evaluados en la etapa de corte del maíz para ensilado y ponderada, por las dos primeras variables canónicas del análisis discriminante canónico.*

Por lo anterior, las variables FF y DIVMS son las más eficientes para seleccionar variedades de maíz con fines forrajeros.

El análisis de varianza multivariado (MANOVA) permitió, como se observó en el Cuadro 4, detectar diferencias significativas entre tamaños de semillas (TS). El CANDISC mostró que el factor tamaño de semilla, en una sola variable canónica (CAN1) se acumuló el 100% de la varianza total resultando significativa ($P \leq 0.0001$). Asimismo, y como los coeficientes canónicos estandarizados indican que, con base en su valor absoluto, la variable original con mayor ponderación fue el contenido de PC. Al considerar las medias de clase obtenidas para tamaño de semilla grande (0.62) y medio (-0.62), es posible asegurar que el tamaño medio presentó la menor concentración de proteína y con ello el menor valor nutricional en las variables de maíz para ensilado evaluadas. La distancia de Mahalanobis entre ambos tamaños de semilla fue de 1.53 y resultó significativa ($P \leq 0.0001$).

Por otra parte, en el MANOVA (Tabla 5) se detectaron diferencias significativas ($P \leq 0.001$) en la interacción VxTS acumulando el 98% de la proporción de la varianza total en cada una de estas interacciones (VxTS grande y medio). Tomando en cuenta ambas interacciones, se encontró que en CAN1 la variable FF, en CAN2 DIVMS y en CAN3 AP y RMS fueron las de mayor importancia en este estudio.

Tabla 5. Análisis de varianza multivariado, 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.

Factor	Variables canónicas	Proporción de la varianza explicativa	Valor de probabilidad	Coeficientes canónicos estandarizados				
				FF	AP	RMS	PC	DIVMS
†VxTS Grande	CAN1	0.66	<0.0001	0.88	0.15	-0.19	-0.29	0.45
	CAN2	0.30	<0.0001	0.55	0.16	0.23	0.03	0.92
	CAN3	0.02	<0.0001	-0.023	-0.82	0.86	0.19	0.04
VxTS Medio	CAN1	0.67	<0.0001	0.83	-0.25	-0.17	-0.57	-0.68
	CAN2	0.29	<0.0001	0.58	-0.09	0.23	0.47	0.95
	CAN3	0.02	<0.0001	0.02	-1.01	0.92	0.50	0.002

V = variedad; TS = tamaño de semilla. FF = días a floración femenina; AP = altura de planta; RMS = rendimiento de materia seca; PC = proteína en la planta completa; DIVMS = digestibilidad in vitro de la materia seca de la planta completa.

Con base en los coeficientes canónicos estandarizados, las medias de clases y las distancias de Mahalanobis para las combinaciones de VxTS grande, se puede observar en la Figura 3, que los híbridos H-358 y H-135 se ubicaron dentro del grupo de materiales tardíos con mayor digestibilidad (Cuadrante I). Los materiales A-791, VS-2000 y H-157 presentan mayores días a FF pero menor digestibilidad (Cuadrante II); mientras que las variedades Campeón y HS-2 son más precoces y más digestibles (Cuadrante III) que los materiales VS-22 y Promesa, que también tienen menos días a floración pero presentan una menor DIVMS que los anteriores (Cuadrante IV). Considerando VxTS medio (Figura 4), la dispersión de los materiales es similar a los resultados obtenidos para la interacción VxTS grande, con excepción de los materiales H-135 que se ubica en el Cuadrante II y el H-157 que pasa a formar parte del Cuadrante I.

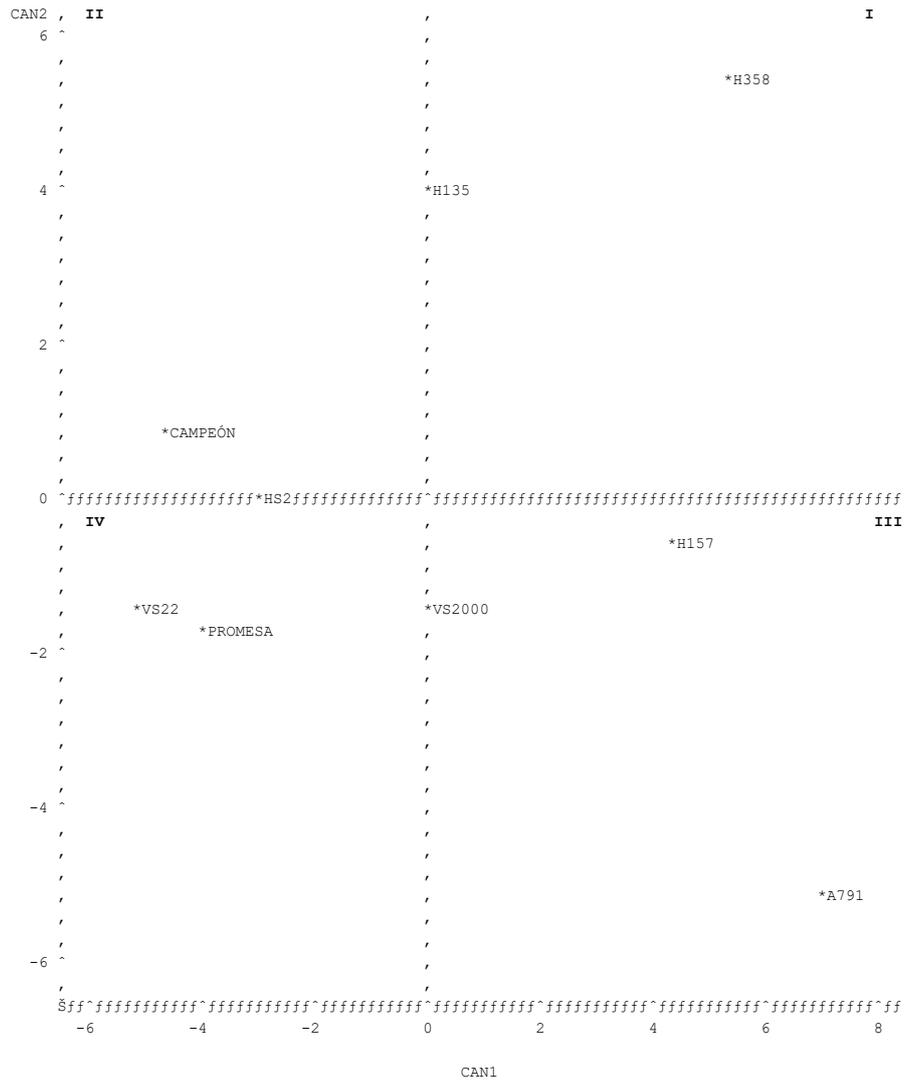


Fig. 3. *Dispersión entre variedades y tamaño de semilla grande en función de las variables agronómicas, de rendimiento y valor nutricional en la etapa de corte del maíz para ensilado y ponderada, por las dos primeras variables canónicas del análisis discriminante canónico.*

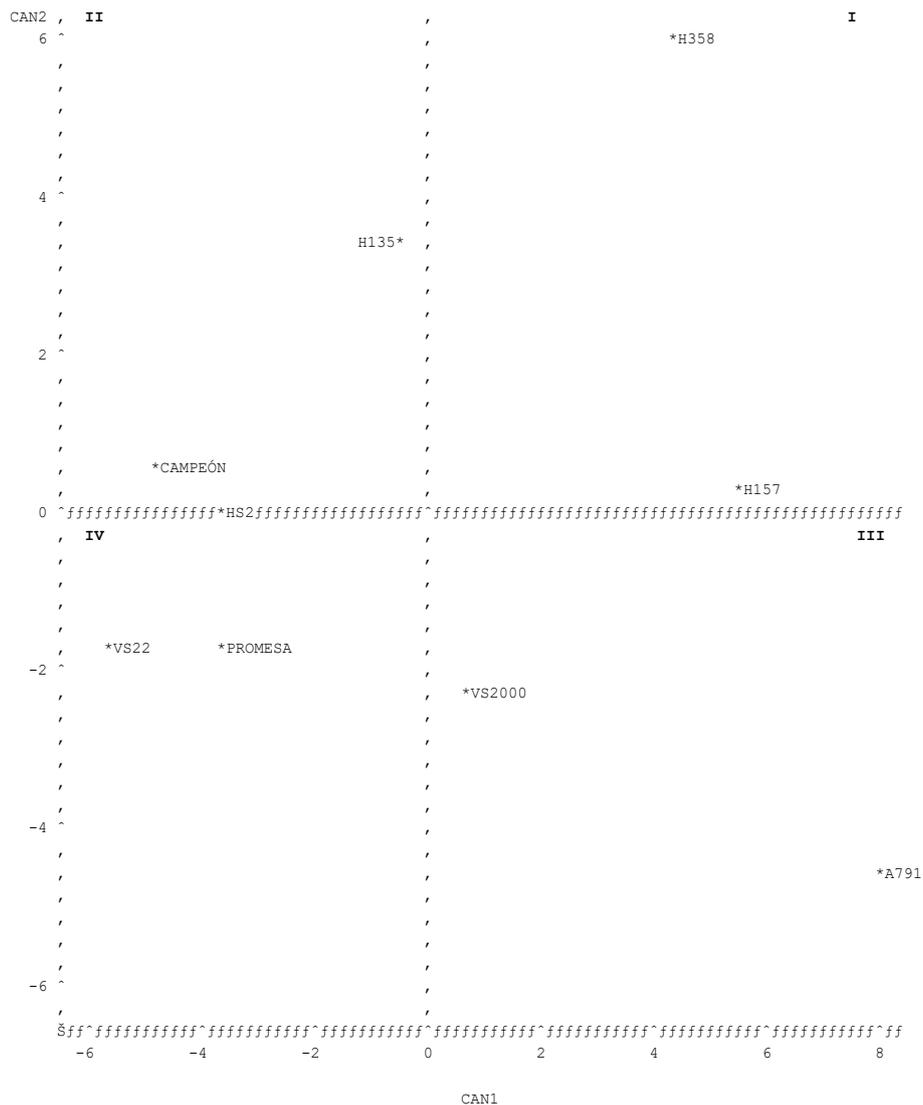


Fig. 4. *Dispersión entre variedades y tamaño de semilla medio en función de las variables agronómicas, de rendimiento y valor nutricional en la etapa de corte del maíz para ensilado y ponderada, por las dos primeras variables canónicas del análisis discriminante canónico.*

RELACIÓN ENTRE LA CALIDAD DE SEMILLAS, CON EL RENDIMIENTO Y VALOR NUTRICIONAL DEL MAÍZ PARA ENSILADO

El análisis de correlación (CANCORR) que se realizó en esta etapa cuyos resultados obtenidos se presentan en la Tabla 6, es muy importante para identificar las principales variables de la calidad de la semilla que estén relacionadas con el rendimiento y el valor nutricional del maíz para ensilado. Como se estableció anteriormente, las variables de mayor relevancia en el análisis multivariado y discriminante canónico en calidad de semillas fueron: peso de mil semillas (P1000S), longitud (LS), ancho (AS) y espesor (ES) de la semilla, porcentaje de germinación (PG4D), viabilidad (VIA), peso seco de raíz (PSR), velocidad de emergencia (VE), peso seco de la parte aérea (PSPA) y porcentaje de establecimiento en campo de Tecámac (PECT) y Coatlinchán (PECSL) que para el análisis a realizar fueron utilizadas como variables independientes. Por otra parte, las variables relevantes medidas en la etapa de corte de maíz para ensilado fueron las siguientes: días a floración femenina (FF), altura de planta (AP), rendimiento de materia seca (RMS), proteína cruda (PC) y digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) y estas variables fueron utilizadas como dependientes.

Tabla 6. Proporción de la varianza y probabilidad de la correlación canónica entre las variables independientes y dependientes medidas en la calidad de semilla, parámetros agronómicos, de rendimiento y valor nutricional por localidad en la etapa de corte del maíz para ensilado.

Localidad	Correlación canónica	Valor propio	Proporción de la varianza		P
			Parcial	Acumulada	
Tecámac	CANCORR1	4.43	0.71	0.71	<0.0001
	CANCORR2	0.70	0.11	0.82	<0.0001
	CANCORR3	0.56	0.09	0.91	0.0001
Coatlinchán	CANCORR1	1.05	0.46	0.46	<0.0001
	CANCORR2	0.53	0.23	0.23	0.002
	CANCORR3	0.37	0.16	0.85	0.03

Como lo indica el CANCORR (Tabla 6), se observa que en la localidad de Tecámac, las tres primeras correlaciones explicaron el 91% de la varianza total, mientras que para la localidad de Coatlinchán fue el 85% y con base en la significancia mostrada, se consideraron para establecer la definición específica de las variables involucradas. La CANCORR1 que en la localidad de Tecámac, explicó el 71% de la varianza total, en la Tabla 7 por ejemplo, considerando también esta localidad, estuvo definida por las variables LS (0.82) con FF (-0.62) de manera negativa y LS con PC (0.78) de manera positiva. Esto indica que las variedades que tuvieron menores días a floración femenina (menos tardías) tuvieron una mayor longitud de semilla con un incremento en el contenido de proteína en la planta completa; esto fue particularmente cierto para la variedad VS-22 y el criollo Campeón en donde se registró este tipo de respuesta.

Por otra parte, para la localidad de Coatlinchán, y considerando la CANCORR1 que explicó el 46% de la varianza total, se encontró una correlación positiva entre la LS (0.59) con DIVMS (0.67). Esto indica que las variedades de maíz con mayor tamaño de semilla, pueden tener mayor digestibilidad en la planta completa.

Respecto a la CANCORR2 en la localidad de Tecámac y la cual contribuyó a explicar el 11% de la varianza total, se puede observar que la variable más importante fue AS (0.67) con una relación positiva con FF (0.75) y PC (0.63); esto indica que las variedades con mayor AS fueron las más tardías y con mayor contenido de proteína. Para la localidad de Coatlinchán, la segunda CANCORR2 explicó el 23% de la varianza total, por lo que el PSR (0.55) se correlacionó en forma positiva con PC (0.84) y negativa con DIVMS (-0.76). Esto se traduce que los materiales con mayor peso seco de raíz, tendrán mayor contenido de proteína, pero menor digestibilidad.

La CANCORR3 explicó el 9% de la varianza total para la localidad de Tecámac y la variable más importante fue PECT (0.75) la cual estuvo relacionada con RMS (0.75) y con AP (-0.63), indicando que las variedades con un mejor establecimiento en campo tienen mayor rendimiento y son las de menor porte. En tanto la CANCORR3 en Coatlinchán explicó el 16% de la varianza total, las variables PSPA (0.58) y ES (-0.53) registraron una asociación con RMS (0.84) y con AP (-0.90).

Tabla 7. Correlación canónica entre las variables evaluadas en la calidad de semillas y con las variables evaluadas en la etapa corte del maíz para ensilado.

Variables canónicas	Variables																													
	P1000S	LS	AS	ES	PG4D	VIA	PSR	VE	PSPA	PECT	PECSL	FF	AP	RMS	PC	DIVMS														
CALIDAD DE SEMILLAS																														
<i>TECAMAC</i>																														
Calidad1	0.10	0.82	0.18	0.08	-0.04	-0.08	0.17	-0.18	0.16	0.04																				
Calidad2	0.29	0.15	0.67	-0.07	0.07	0.05	-0.01	0.49	-0.32	-0.22																				
Calidad3	-0.21	0.06	0.27	-0.34	0.44	-0.01	0.10	0.23	-0.27	0.75																				
<i>COATLINCHÁN</i>																														
Calidad1	-0.01	0.59	0.18	0.35	0.16	0.07	0.34	0.44	0.39	---	0.17																			
Calidad2	0.09	0.39	0.27	-0.49	-0.48	-0.36	0.55	-0.27	-0.18	---	0.22																			
Calidad3	0.18	-0.35	0.33	-0.53	0.24	0.20	0.002	-0.35	0.58	---	-0.06																			
RENDIMIENTO Y VALOR NUTRITIVO																														
<i>TECAMAC</i>																														
Ensilado1																		-0.62	0.43	-0.05	0.78	-0.03								
Ensilado2																			0.75	-0.23	-0.03	0.63	-0.06							
Ensilado3																			0.20	-0.63	0.75	0.34	-0.26							
<i>COATLINCHÁN</i>																														
Ensilado1																								-0.02	-0.22	0.23	0.49	0.67		
Ensilado2																									0.45	0.31	0.34	0.84	-0.76	
Ensilado3																										-0.01	-0.90	0.84	-0.11	-0.01

P1000S = peso de mil semillas; LS = longitud de semilla; AS = ancho de semilla; ES = espesor de semilla; PG4D = porcentaje de germinación al cuarto día; VIA = porcentaje de viabilidad; PSR = peso seco de raíz; VE = velocidad de emergencia; PSPA = peso seco de la parte aérea; PECT = porcentaje de establecimiento en campo en Tecámac; PECSL = porcentaje de establecimiento en campo de Coatlinchán; FF = días a floración femenina; AP = altura de planta; RMS = rendimiento de materia seca; PC = proteína de planta completa; DIVMS = digestibilidad in vitro de la materia seca.

4 DISCUSIÓN

En maíz diversas investigaciones se han enfocado a estudiar el tamaño de semilla en aspectos relacionados con características agronómicas y de rendimiento de grano, pero sin considerar parámetros de rendimiento y valor nutricional del maíz para ensilado. En este contexto, se ha reportado que el tamaño de semilla tiene inferencia importante sobre la emergencia y el crecimiento inicial de las plántulas en varios cultivos de leguminosas forrajeras y al incrementar el tamaño de semilla puede incrementarse también la producción de materia seca [11] y la concentración de proteína [12]. Tomando en cuenta lo anterior, el objetivo de este estudio fue determinar si el tamaño de semilla tiene influencia sobre la productividad y el valor nutricional en la etapa de corte para ensilado en diferentes variedades de maíz.

Los resultados obtenidos en este estudio indicaron que la localidad en estudio y la variedad utilizada afectan los caracteres agronómicos, el rendimiento y el valor nutritivo del maíz para ensilado. En tanto que el tamaño de semilla no tiene influencia en las variables agronómicas, pero si presenta un ligero efecto en el rendimiento de proteína por hectárea, así como en el contenido de proteína y la digestibilidad de la planta siendo ligeramente superiores en semilla de tamaño grande comparado con la de tamaño medio.

Los resultados obtenidos en el presente estudio coinciden con lo reportado por [13], [11], [14] y [15] quienes no encontraron efecto del tamaño de semilla en variables agronómicas evaluadas como la floración (FF, FM) o con lo observado por [16] quienes señalan que al evaluar la influencia del tamaño de semilla en el desarrollo de cinco híbridos de maíz, no encontraron efecto significativo en altura de planta. Sin embargo, [16] y [17] encontraron que la semilla de maíz plano grande resultó ser más precoz por un día con respecto a los otros tamaños de semilla evaluados, lo cual puede ser consecuencia de un desarrollo más rápido, aunque estos resultados no fueron significativos.

Es importante mencionar que, en nuestro estudio, las diferencias presentadas en algunos parámetros como en el contenido y rendimiento de proteína, así como en la digestibilidad de la planta fueron explicadas más por el efecto de la variedad, la localidad teniendo participación importante en esto el bloque anidado en la localidad más que el efecto del tamaño de la semilla. Existen algunos estudios que se han realizado con el fin de evaluar la cantidad de materia seca acumulada en la planta completa de maíz utilizando como un factor de estudio el tamaño de semilla, como es el caso de [11] en Kenya, [13] en USA, [18] en México y [19] en la India, quienes observaron que la materia seca acumulada en la planta (g/planta) no fue significativo en los tamaños de semilla evaluados.

Tomando en cuenta los resultados observados en los parámetros evaluados por el efecto de la variedad y localidad, estos coinciden con algunos estudios como lo reportado por [3] quienes mencionan que la variedad, el ambiente y la localidad, proporcionan variaciones en la expresión de la altura de planta y de mazorca; asimismo se ha mencionado que los factores climáticos, edáficos, bióticos y de manejo que se presentan en el año cuando la planta de maíz está en desarrollo pueden influir de manera positiva o negativa en el índice de cosecha [20] así como en el rendimiento de grano.

Tomando en cuenta la precocidad de los materiales utilizados en este estudio, [14] y [21] en trabajos realizados en el Estado de México con las mismas variedades evaluadas en esta investigación reportaron días a floración similares a las registradas en este estudio. En cuanto a los rendimientos de forraje (RFV, RMS, RPC y RMSD) se observó que los híbridos H-135, H-157, HS-2 y el criollo Campeón registraron los mayores rendimientos. Como era de esperarse a un mayor rendimiento de forraje verde corresponde un mayor RMS, así como RPC y RMSD.

Los presentes resultados obtenidos en RFV, RMS y RMSD fueron menores a los reportados por [14], [22] y [21] en estudios llevados a cabo en el Estado de México y ligeramente superiores a los reportados por [23] en un estudio llevado a cabo en Brasil con 15 híbridos de maíz y [24] en cinco poblaciones de maíz con potencial forrajero evaluados en Aguascalientes, Ags., y Torreón, Coahuila, México.

En este estudio, se observó que las variedades con las mayores alturas obtuvieron también los mayores rendimientos, siendo los materiales VS-2000, H-157, HS-2 y Campeón con germoplasma Valles Altos los de mayor rendimiento. Esto quizás se deba a que este carácter morfológico influye en la expresión y determinación del rendimiento de materia verde y seca; comportamiento que coincide con lo reportado por [14] aunado también al origen genético como lo señalan [25]. [26] señalan que los híbridos de ciclo tardío tienen mayores rendimientos de forraje y en algunos casos llegan a tener también bajos índices de cosecha.

Por otra parte, el índice de cosecha (IC) ha sido propuesto como un indicador de la eficiencia de la planta por estar correlacionada con el rendimiento [27] aunque su uso no ha sido del todo generalizado en las investigaciones de maíz e incluso para forraje.

Con base en los resultados obtenidos, se observó que las variedades de maíz para ensilado de ciclo intermedio y tardío (HS-2, Promesa, H-157 y VS-22) registraron el mayor IC, mientras que los de menor IC se registraron con los materiales VS-2000 y Campeón. Este resultado coincide parcialmente con lo reportado por [4], quienes señalan que los híbridos forrajeros precoces producen menores IC que los de ciclo tardío; lo cual podría estar relacionado con una mayor eficiencia de la planta en los materiales la acumulación de materia seca en tallos y hojas y en su capacidad de traslocar fotosintatos hacia el grano.

[28] en un estudio realizado sobre el valor agronómico de la planta completa para ensilado en híbridos de maíz europeos mejorados entre los años 1950 a 1980, revelaron que, en germoplasma de madurez precoz, se incrementó la materia seca a una tasa de 0.07 Mg/ha/año, lo cual fue ligeramente menor que a 0.08 Mg/ha/año medido para rendimiento de grano. En germoplasma de madurez tardía la materia seca total decreció por -0.02 Mg/ha/año, mientras que para rendimiento de grano se incrementó por 0.04 Mg/ha/año. [29] indican que, en un programa de selección recurrente de maíz para incrementar el rendimiento de grano, también es posible encontrar efectos indirectos en el rendimiento de forraje, tendiendo históricamente hacia un alto índice de cosecha.

Tomando en cuenta los resultados obtenidos en el valor nutritivo de los materiales evaluados en este estudio, las variedades con mayor concentración de proteína (PC) fueron el criollo Campeón, Promesa y H-135. Los valores del contenido de proteína en planta completa observados en esta investigación se ubican en los rangos reportados por [30] en Europa; en Brasil, [3 y 23] y [31]; en los Estados Unidos, [26]; y en México, [32], [33], [14], [22] y [21].

La digestibilidad *in vitro* (DIVMS) de la planta completa mostró diferencias entre variedades donde el criollo Campeón, que registró alto porcentaje de acame, presentó la mayor digestibilidad, lo que podría estar relacionado con una menor concentración de lignina y hemicelulosa en la pared celular del tallo. Este resultado concuerda con lo reportado por [24] quienes encontraron altas DIVMS en poblaciones precoces con germoplasma de Valles Altos, pero también alta susceptibilidad al acame.

Los valores de digestibilidad *in vitro* (DIVMS) encontrados en el presente estudio son mayores con respecto a los reportados por [34] en Chapingo México, quien reportó valores de 52.7 a 60.4% de digestibilidad; pero son similares a los reportados por [35], [14] y [36]. [35] encontraron una variación en la digestibilidad *in vitro* de 67.1 a 71.8%. Por su parte [14] en el Estado de México, observaron una fluctuación de la digestibilidad *in vitro* de la materia seca de la planta de maíz entre 59.6 a 75.6 % con una media de 65.8% para las mismas variedades evaluadas en este estudio, en tanto que [36] reportaron una variación en la digestibilidad en planta completa de 65.2 a 77%. Entre los factores que afectan el valor nutritivo del maíz, se ha reportado que la temperatura máxima, horas luz y la radiación solar tienen efecto en la fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y lignina (LDA) así como la digestibilidad *in vitro* [37].

Por otra parte, se tiene que, en México la selección de variedades de maíz para uso forrajero se ha basado principalmente en el rendimiento de materia seca, sin considerar la calidad nutricional como un parámetro importante de evaluación [2]. Ante esta situación es necesario que en un programa de mejoramiento dirigido a la obtención de variedades de maíz para uso forrajero se identifiquen las variables agronómicas, de rendimiento y valor nutricional del maíz para ensilado que son importantes y que podrían tomarse en cuenta como criterios de selección. Para ello, en este estudio, se utilizó la técnica estadística multivariada mediante el análisis discriminante canónico (CANDISC).

El CANDISC discriminó con mayor claridad a los días a floración femenina (FF), al contenido de proteína (PC) a la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) y al rendimiento de materia seca de la planta completa, como las variables de mayor importancia en la etapa de ensilado. Asimismo, se identificó que los materiales con la mejor respuesta tanto en el rendimiento como en el valor nutricional fueron los híbridos de ciclo tardío H-358 y H-135.

En ese contexto, en un estudio realizado por [14] quienes a través de la técnica de componentes principales caracterizaron 30 materiales de maíz para ensilado, reportaron que las variables de índice de área foliar (IAF), floración femenina (FF), floración masculina (FM), altura de planta (AP), rendimiento de materia seca digestible (RMSD) y proteína cruda (PC) fueron los parámetros de mayor peso en los dos ejes de los componentes principales y que las variedades de mejor productividad y valor nutricional fueron las de ciclo tardío con germoplasma de Valles Altos entre las que estuvo el híbrido H-135. Esto deja la posibilidad de considerar estos parámetros en el mejoramiento genético del maíz para ensilado.

Respecto al análisis de correlación canónica que buscó determinar que variables de la calidad de semillas están más relacionadas el rendimiento y el valor nutricional del maíz para ensilado, se observó que la longitud y el ancho de la semilla; el peso seco de raíz, la velocidad de emergencia, así como el peso seco de la parte aérea se correlacionaron con los parámetros de floración femenina, la altura de la planta, el contenido de proteína y la digestibilidad *in vitro* de la planta completa.

5 CONCLUSIONES

La variedad afecta el rendimiento de forraje, así como la calidad nutricional del maíz para ensilado en cada localidad. El tamaño de semilla tiene un efecto en el rendimiento de proteína por hectárea, así como en el contenido de proteína y la digestibilidad de la materia seca de la planta, siendo ligeramente superiores en semilla de tamaño grande comparado con la de tamaño medio. Las variedades con el mayor rendimiento de forraje ensilado fueron el criollo Campeón y los híbridos H-135, H-157, HS-2 y A-791. Las variedades más sobresalientes en cuanto a su valor nutricional de la planta completa fueron: H-135, Campeón, HS-2, VS-22 y H-358. Con base en el análisis multivariado, las variables importantes que pueden tomarse en cuenta para la selección de variedades de maíz para ensilado son la floración femenina, la proteína y la digestibilidad *in vitro* de la materia seca de la planta completa, así como el rendimiento de materia seca de la planta completa. Los parámetros de la calidad de semillas que están más relacionados con el rendimiento y el valor nutricional del maíz para ensilado son la longitud y el ancho de la semilla; el peso seco de raíz, la velocidad de emergencia, así como el peso seco de la parte aérea.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por otorgar la beca para realizar estudios de postgrado a la primera autora. Al Colegio de Postgraduados por las facilidades otorgadas para realizar esta investigación y al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias por el apoyo económico para esta investigación a través del Proyecto titulado: *Mejoramiento Genético de Maíz Para Forraje de Alta Productividad y Calidad Nutricional* con número SIGI 135260688.

REFERENCIAS

- [1] Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), *Avance de siembras y cosechas año agrícola 2022 en México*. En línea. Disponible en <http://sagarpa.gob.mx> (03 de diciembre de 2023).
- [2] M. R. Tovar G., C. Sánchez, J. L. Arellano, J. E. Guzmán and I. Morales, Maize varieties in the Highlands Valleys of Central México: Forage yield and nutritive value of whole maize plants fed as silage to sheep. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, vol. 3, pp. 91-94, 2003b.
- [3] A. Henrique F., R. Garcia V. P., M. Neves P., R. G. Silva B. e G. Silva C., Características agrônômicas, químicas e nutricionais de híbridos de milho, visando à produção de silagem de alto valor nutritivo. *Revista Ceres*, vol. 49, no. 281, pp. 41-54, 2002a.
- [4] W. D. Widdicombe, and K. D. Thelen, Row width plant density effect on corn forage hybrids. *Agronomy Journal*, vol. 94, pp. 326-330, 2002.
- [5] M. Quintana C., Tamaño de semilla de maíz (*Zea mays* L.) y su relación con la calidad Física y Fisiológica. Tesis Licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila, México. 70 p., 1992.
- [6] M. R. Tovar G., J. L. Arellano V., y C. Pérez M., «*Tecnología para la producción de forraje con variedades criollas de maíz en el Estado de México*». INIFAP-Campo Experimental Valle de México, Desplegable para productores, no. 12, 2018.
- [7] Association of Officiating Analytical Chemists (AOAC), *Official method of analysis*. 19th Edition. Washington DC, USA. 672 p., 2012.
- [8] 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.
- [9] E. P. Sosa, *Manual de procedimientos analíticos para alimentos de consumo animal*. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México, 115 p., 1979.
- [10] Statistical Analysis Software, SAS/STAT, *Guide for personal computers*. Statistical Analysis System Institute. Inc. Cary, NC. USA, 2016.
- [11] R. S. Hawkins and P. J. M. Cooper, Effects of seed size on growth and yield of maize in the Kenya Highlands. *Experimental Agriculture*, Vol. 15, no. 1, pp. 73-79, 1979.
- [12] G. S. Dhillon, D. S. Kler and A. S. Walia, Effect of seed on the forage yield of cowpea. *Seed Research*, vol. 10, no. 1, pp. 27-31, 1982.
- [13] D. R. Hicks, H. Peterson, W. E. Lueschen and J. H. Ford, Seed grade effect on corn performance. *Agronomy Journal*, vol. 68, pp. 819-820, 1976.
- [14] M. Vera U. y J. I. Vázquez L, *Productividad y valor nutricional de 30 genotipos de maíz (Zea mays L.) para forraje en la Región de los Valles Altos*. Tesis Profesional. Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma de Chapingo, México. 105 p., 2001.
- [15] A. Martinelli and N. Moreira de Carvalho, Seed size and genotype effects on maize (*Zea mays* L.) yield under different technology levels. *Seed Science and Technology*, vol. 27, pp. 999-1006, 1999.
- [16] M. B. Kurdikeri, B. Aswathaiyah and S. Rajendraprasad, Influence of seed size on field performance in maize hybrids (*Zea mays* L.). *Seed Research*, vol. 26, no. 1, pp. 23-27, 1998.
- [17] F. Morales R., *Efecto del tamaño de semilla y vigor de plántula sobre caracteres agronómicos y rendimiento en maíz (Zea mays L.)*. Tesis Profesional. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM. Cuatitlán Izcalli, Edo de México. 90 p., 1988.
- [18] P. Sánchez G., *Efecto del tamaño de semilla y la profundidad de siembra en el rendimiento de maíz*. Tesis Profesional. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. México. 59 p., 1982.
- [19] N. S. Veera, S. H. Hussaini, B. Muralimohan R., H. Savitri, S. Mahbood A., K. Anand R., K. Srinivasulu R. and V. Padma. Effect of seed size and various stresses on field performance of maize hybrid Ganga 5. *Seed Research*, vol. 26, no. 1, pp. 28-33, 1998.
- [20] J. S. Graybill, W. J. Cox and D. J. Otis, Yield and quality of forage maize as influenced by hybrid, planting date, and plant density. *Agronomy Journal*, vol. 83, pp. 559-564, 1991.
- [21] M. R. Tovar G., J. L. Arellano V., S. Hernández J., P. Pérez, E. Vera y J. M. Hernández C., *Tecnología para producción de maíz forrajero en los Valles Altos de la Mesa Central de México*. In: Memoria Técnica INIFAP-Campo Experimental Valle de México. Vol. 6, pp. 55-60, 2003a.
- [22] J. E. Guzmán y I. Morales P., *Composición química y digestibilidad in vivo del ensilado de diferentes variedades de maíz (Zea mays L.)*. Tesis Profesional. Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. México. 91 p., 2002.
- [23] F. A. Henrique, R. Garcia V. P., M. Neves P. e A. G. Steola, Desempenho de cultivares de milho em relação às características agrônômicas, químicas e de degradabilidade da silagem. *Revista Ceres*, vol. 49, no. 282, pp. 109-122, 2002b.
- [24] 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.

- [25] M. R. Tovar G., J. L. Arellano V., D. A. Terrón I. y J. M. Hernández C., *Características agronómicas y rendimiento de nuevas variedades de maíz para ensilado en la Región de Valles Altos*. [Resumen]. Memoria del XX Congreso de Fitogenética. pp. 85, 2004.
- [26] J. G. Coors, K. A. Albrecht, and E. J. Bures, Ear-fill effects on yield and quality of silage corn. *Crop Science*, vol. 37, pp. 243-247, 1997.
- [27] F. Ramírez P. y A. Carballo C., Evaluación de otros índices de eficiencia como sustituto del índice de cosecha en maíz *Zea mays* L. *Revista Chapingo*, vol. 9, no. 44, pp. 56-63, 1986.
- [28] Y. Barrière, A. Gallai, M. Derieux, et A. Panoullé, Etude de la valeur agronomique en plante entière au stade de récolte ensilage de différentes variétés de maïs grain sélectionnées entre 1950 et 1980. *Agronomie*, vol. 7, no. 2, pp. 73-79, 1987.
- [29] J. G. Coors and J. G. Lauer, *Silage corn*. In: *Speciality corns*, Hallauer, A. R. Ed. CRC Press INC. Iowa State University, Ames, USA. pp: 347-392, 2001.
- [30] P. Darnene, J. Andrieu, Y. Barriere, R. Biston, C. Demarquilly, N. Fermenias, M. Lila, P. Maupetit, F. Rivière and T. Ronsin, Composition and nutritive value of whole maize plants fed fresh to sheep. II. Prediction of the in vivo organic matter digestibility. *Annales Zootechnie*, vol. 42, pp. 251-270, 1993.
- [31] P. R. García V., T. E. Areco V., M. Souza G. e P. Milanez R., Época de semeadura e de corte de plantas de milho para silagem. *Revista Ceres*, vol. 49, no. 282, pp. 137-150, 2002.
- [32] D. G. Reta S., A. Gaytán M. y J. S. Carrillo A., Respuesta del maíz para ensilaje a métodos de siembra y densidades de población. *Revista Fitotecnia Mexicana*, vol. 23, pp. 37-48, 2000.
- [33] J. Jiménez O., Comparación de diferentes genotipos de maíz para forraje en la región templada de Michoacán (primer año). [Resumen]. Memorias XXXVII Reunión nacional de investigación pecuaria. pp: 130. 2001.
- [34] R. Bernal P., Efecto de la época de corte sobre el rendimiento en grano y la calidad del forraje de maíz (*Zea mays*). Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. 108 p., 1983.
- [35] C. Hunt, W. Kezar and R. Vinande, Yield, chemical composition, and ruminal fermentability of corn whole plant, ear, and stover as affected by hybrid. *Journal of Production Agriculture*, vol. 5, no. 2, pp. 286-290, 1992.
- [36] A. Peña R., G. Núñez H. y 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.
- [37] G. Núñez H., y E. J. Cantú B., Producción, composición química y digestibilidad del forraje de sorgo x sudan de nervadura café en la Región Norte de México. *Técnica Pecuaria de México*, vol. 38, no. 3, pp. 177-187, 2000.