

## Efecto del tamaño de semilla en la productividad y el valor nutricional del rastrojo y grano de maíz

### [ Effect of seed size on productivity and nutritional value of maize stover and grain ]

Claudia Pérez Mendoza<sup>1</sup>, Ma. del Rosario Tovar Gómez<sup>2</sup>, Gabino García de los Santos<sup>3</sup>, and María Magdalena Crosby Galván<sup>4</sup>

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

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

<sup>3</sup>Programa de Recursos Genéticos y Productividad-Producción de Semillas, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Montecillo, Texcoco, Estado de México, Mexico

<sup>4</sup>Programa de Recursos Genéticos y Productividad-Ganadería, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Montecillo, Texcoco, Estado de México, Mexico

---

Copyright © 2023 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:** The objective of this study was to evaluate the effect of seed size on the productivity and nutritional value of maize stover and grain. Nine varieties of maize previously classified by their shape and size were produced. The investigation consisted of two phases: in the first, the agronomic and productivity characters of maize stover and grain were evaluated, and in the second, the nutritional value. The experimental design used in each phase was randomized complete blocks with factorial arrangement and four repetitions. The harvest was carried out at the cutting stage of physiological maturity. Significant differences ( $P \leq 0.001$ ) were observed between varieties for all the evaluating parameters; For seed size, there was only significance in stover protein yield per hectare, stover and grain protein content, and in *in vitro* digestibility of stover dry matter. Based on the absolute value of the standardized coefficients, the most relevant variables were in *in vitro* digestibility and stover protein; grain yield, protein and starch. It is concluded that the variety affects the yield and nutritional value of maize stover and grain; seed size only had a slight effect on nutritional value. The outstanding materials for their stover yield were Campeón, VS-2000, H-157E and H-358 and for grain yield, they were the hybrids HS-2, Promesa and H-157E. The most outstanding variety for its productivity and nutritional value of maize stover and grain was VS-22.

**KEYWORDS:** Varieties, Hybrids, Landrace, Yield and Shearing.

**RESUMEN:** El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del tamaño de semilla en la productividad y el valor nutricional del rastrojo y grano de maíz. Se utilizó nueve variedades de maíz previamente clasificados por su forma y tamaño. La investigación consistió en dos fases: en la primera se evaluó los caracteres agronómicos y de productividad del rastrojo y grano de maíz y en la segunda, el valor nutricional. 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 de madurez fisiológica. Se observaron diferencias significativas ( $P \leq 0.001$ ) entre variedades para todos los parámetros evaluados; para tamaño de semilla, sólo hubo significancia en rendimiento de proteína del rastrojo por hectárea, contenido de proteína del rastrojo y del grano y en la digestibilidad *in vitro* de la materia seca del rastrojo. En función del valor absoluto de los coeficientes estandarizados, las variables más relevantes

fueron digestibilidad *in vitro* y proteína del rastrojo; rendimiento, proteína y almidón del grano. Se concluye que la variedad afecta el rendimiento y el valor nutricional del rastrojo y grano de maíz; el tamaño de semilla, sólo presentó un ligero efecto en el valor nutricional. Los materiales sobresalientes por su rendimiento de rastrojo fueron: Campeón, VS-2000, H-157E y H-358 y para rendimiento de grano fueron los híbridos HS-2, Promesa y H-157E. La variedad más sobresaliente por su productividad y valor nutricional del rastrojo y grano de maíz fue VS-22.

**PALABRAS-CLAVE:** Variedades; Híbridos, Criollo, Rendimiento y Esquilmo.

## 1 INTRODUCCIÓN

En México, la selección de la semilla con base en sus características físicas de forma y tamaño ha sido una práctica agrícola empleada, sobre todo por los agricultores que siembran maíz en condiciones de temporal; quienes basan su criterio de selección en que la semilla grande tiene una mejor emergencia en campo lo que conlleva a una buena producción de grano. Una vez cosechado el grano de maíz el subproducto que se obtiene es el rastrojo, el cual es un esquilmo muy importante para la alimentación animal sobre todo porque ayuda a disminuir los problemas ocasionados por la falta de alimentos durante la época seca del año, ya que sostiene a la ganadería de productores de bajos ingresos que se ubican en ejidos y pequeñas comunidades. El rastrojo de maíz tiene una amplia variedad de usos y dada su abundancia y disponibilidad, se puede considerar como una fuente barata de energía en la alimentación de los rumiantes [1] aunque su valor nutricional sea bajo [2].

En México, el rastrojo es una fuente de forraje importante durante la época seca, ya que aportan hasta el 40% de la disponibilidad de forraje [3] y representa el 24% de la materia seca disponible para el consumo animal [4]. En el país, se estima que existe una producción de 90 millones de toneladas de esquilmos agrícolas, de los cuales, alrededor de 32 millones de toneladas de rastrojo de maíz, que se aportan para la alimentación de la ganadería nacional [5]. Se han reportado diversos estudios en donde se evalúa la productividad y el valor nutricional del rastrojo y grano en diferentes variedades de maíz con potencial forrajero en los Valles Altos del Estado de México [6, 7] y se ha encontrado, que la variedad utilizada tiene influencia tanto en el rendimiento del rastrojo y de grano como en el valor nutricional de los mismos.

Por otra parte, se tiene que en el país y en la actualidad, son limitados los estudios en donde se relacione el efecto del tamaño de semilla con la productividad y el valor nutricional del grano y rastrojo de maíz, utilizando materiales con potencial forrajero, a pesar de la importancia que tienen ambos en la agricultura tradicional. Referente a lo anterior, se han llevado a cabo estudios en donde se relaciona el tamaño de semilla de maíz con la germinación en campo, desarrollo de la planta y productividad del cultivo, pero algunas veces los resultados han sido contradictorios e inconclusos.

En ese contexto, [8] evaluaron la influencia del tamaño de semilla sobre el rendimiento de un híbrido de maíz semitardío y encontraron mayores rendimientos de grano por planta empleando semilla de tamaño grande; estos autores recomiendan seguir trabajando en esta línea, a fin de confirmar la respuesta y así establecer conclusiones más universales. [9] al estudiar el efecto de la forma y tamaño de semilla en maíz, encontró que el tamaño plano grande, mostró una mayor concentración de proteína de 37.6 mg/semilla respecto a la de tamaño plano chico. [10] evaluaron tres híbridos de maíz por su tamaño de semilla y reportaron que no hubo diferencias significativas entre híbridos, en los atributos de desarrollo de la planta, componentes de rendimiento y rendimiento de grano. Derivado de lo anterior, se realizó la presente investigación bajo los siguientes objetivos: determinar la asociación entre el tamaño de semilla con el rendimiento y valor nutricional del rastrojo y grano en variedades de maíz con potencial forrajero; establecer que variables de productividad y de valor nutricional registradas en la etapa de madurez fisiológica son importantes para la selección de variedades de maíz para forraje.

## 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<sup>-1</sup>. 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%) [11].

La cosecha se efectuó en la etapa de corte a madurez fisiológica, se cosecharon las plantas de los dos surcos laterales de cada parcela, estas se pesaron y posteriormente, se separó la mazorca para registrar el peso de la misma; por diferencia se obtuvo el peso total del rastrojo de la parcela. Una muestra de ocho plantas fue cosechada, para la determinación de materia seca, índice de cosecha y valor nutricional. Esas muestras se picaron, secaron (60 °C) y molieron para las determinaciones de los análisis de valor nutricional del rastrojo y del grano.

## 2.5 VARIABLES EVALUADAS

Las variables registradas fueron: porcentaje de acame (ACA), es el porcentaje de plantas con acame de raíz, para cuyo cálculo se consideraron únicamente las plantas con una inclinación mayor de 30° con respecto a la vertical; rendimiento de rastrojo (RR); índice de cosecha (IC) se calculó dividiendo el rendimiento de grano entre la materia seca total (rastrojo más grano), en la cual se incluyó el peso seco del olote; rendimiento de grano (RG) se calculó tomando el peso de mazorca cosechada de los surcos laterales, la humedad del grano en la cosecha y la relación grano/mazorca multiplicado por 1042.

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 [12]. 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 total en rastrojo (PCR) y grano (PCG), se determinó siguiendo el método de Microkjendahl, descrito por la [12]; 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 (DIVMSR) en rastrojo, se realizó por el método de [13] modificado por [14]; porcentaje de almidón (ALM), se determinó mediante el método descrito por [15] y modificada por el laboratorio de Nutrición Animal del Colegio de Postgraduados. Con los datos de rendimiento de rastrojo total, proteína total y digestibilidad se generaron las variables rendimiento proteína por hectárea del rastrojo (RPCR) y rendimiento de rastrojo digestible (RRD).

## 2.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En cada una de las variables se realizó el análisis de varianza univariado (ANAVA de acuerdo con el diseño de la serie de experimentos en bloques al azar factorial; todo esto se realizó utilizando el paquete estadístico [16]. Se hizo la comparación de medias para los experimentos individuales y en conjunto, de aquellas variables que resultaron significativas en los ANAVA'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 [16].

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 ANÁLISIS UNIVARIADO

En la Tabla 1, se presenta el análisis de varianza para la serie de experimentos de bloques al azar con arreglo factorial en el cual, se aprecian diferencias significativas ( $P \leq 0.001$ ) entre localidades (L) para los rendimientos (RR, RPCR, RRD y RG) así como para el contenido de proteína (PCG) y almidón en el grano (ALM). Asimismo, se observan diferencias significativas ( $P \leq 0.001$ ) entre variedades (V) para todos los parámetros evaluados. El tamaño de semilla (TS) sólo tuvo efecto en el rendimiento de proteína del rastrojo por hectárea (RPCR), así como en el contenido de proteína del rastrojo (PCR) y del grano (PCG) y en la digestibilidad *in vitro* de la materia seca del rastrojo (DIVMSR). Se puede observar también, que para los cuadrados medios del análisis de varianza en las interacciones generadas de los efectos principales de localidad (L), variedad (V) y tamaño de semilla (TS) presentaron significancias estadísticas ( $P \leq 0.05$ ) en algunas variables evaluadas, y estas diferencias se debieron principalmente al efecto de la variedad y de la localidad en estudio, más que al efecto del tamaño de semilla. Es importante mencionar que el bloque anidado en la localidad tuvo una participación relevante más que el tamaño de semilla objeto de este estudio.

**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 de madurez fisiológica**

Factor de variación	Variables <sup>†</sup>									
	ACA (%)	RR (t ha <sup>-1</sup> )	RPCR (t ha <sup>-1</sup> )	RRD (t ha <sup>-1</sup> )	PCR (%)	DIVMSR (%)	IC	RG (t ha <sup>-1</sup> )	PCG (%)	ALM (%)
Localidad (L)	0.3 ns	99.2 **	0.4 **	31.6 **	0.3 ns	2.9 ns	0.008 ns	59.5 **	7.9 **	952.9 **
Variedad (V)	312.5 **	39.5 **	0.2 **	14.7 **	6.6 **	66.7 **	0.06 **	74.4 **	7.6 **	33.3 *
Tamaño de semilla (TS)	0.3 ns	7.3 ns	0.1 *	0.3 ns	15.0 **	42.6 **	0.004 ns	4.8 ns	8.4 **	3.3 ns
VxTS	1.2 ns	17.4 *	0.07 **	5.7 *	0.1 ns	1.5 ns	0.007 ns	2.1 ns	0.8 **	5.5 ns
LxV	1.4 ns	14.4 *	0.1 *	4.5 *	3.9 **	17.4 **	0.02 **	3.3 ns	2.3 **	89.7 **
LxTS	0.004 ns	2.9 ns	0.0007 ns	0.8 ns	0.05 ns	0.04 ns	0.02 ns	0.4 ns	0.3 ns	30.5 *
LxVxTS	0.2 ns	1.3 ns	0.004 ns	0.4 ns	0.4 **	1.5 ns	0.01 *	1.9 ns	0.5 *	8.6 ns
B (L)	0.7 ns	26.2 **	0.09 **	8.0 **	0.08 ns	0.3 ns	0.005 ns	19.7 **	0.05 ns	9.7 ns
CV (%)	17.6	22.6	22.2	23.0	4.9	2.3	15.0	19.2	4.0	3.03

<sup>†</sup>ACA = porcentaje de acame; RR = rendimiento de rastrojo; RPCR = rendimiento de proteína del rastrojo por hectárea; RRD = rendimiento de rastrojo digestible; PCR = proteína de rastrojo; DIVMSR = digestibilidad *in vitro* de la materia seca del rastrojo; IC = índice de cosecha; RG = rendimiento de grano; PCG = proteína de grano; ALM = almidón en el grano. \*\*, \* = significancia estadística al 0.001 y 0.05 de probabilidad; ns = no significativo

Con el fin de detectar qué parámetros 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 de variación.

El efecto de la localidad se puede observar en la Tabla 2, en donde la localidad de Tecámac presentó los más altos valores para la mayoría de las variables a excepción del rendimiento de grano (RG) y el contenido de proteína (PCG) los cuales fueron mayores para la localidad de Coatlínchán.

**Tabla 2. Comparación de medias por localidad para las variables de rendimiento y valor nutricional evaluadas en la etapa de corte de madurez fisiológica**

Localidad	Variables <sup>†</sup>									
	ACA (%)	RR (t ha <sup>-1</sup> )	RPCR (t ha <sup>-1</sup> )	RRD (t ha <sup>-1</sup> )	PCR (%)	DIVMSR (%)	IC	RG (t ha <sup>-1</sup> )	PCG (%)	ALM (%)
Tecámac	5.6 a	13.5 a	0.81 a	7.4 a	6.0 a	54.8 a	0.50 a	6.7 b	10.7 b	76.8 a
Coatlínchán	5.5 a	11.9 b	0.69 b	6.5 b	5.9 a	54.5 a	0.46 a	8.0 a	11.1 a	71.6 b
Media	5.6	12.7	0.8	7.0	5.9	54.7	0.47	7.34	10.9	74.2

<sup>†</sup>ACA = porcentaje de acame; RR = rendimiento de rastrojo; RPCR = rendimiento de proteína del rastrojo por hectárea; RRD = rendimiento de rastrojo digestible; PCR = proteína de rastrojo; DIVMSR = digestibilidad *in vitro* de la materia seca del rastrojo; IC = índice de cosecha; RG = rendimiento de grano; PCG = proteína de grano; ALM = almidón en el grano. Media con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey  $\alpha = 0.05$ ).

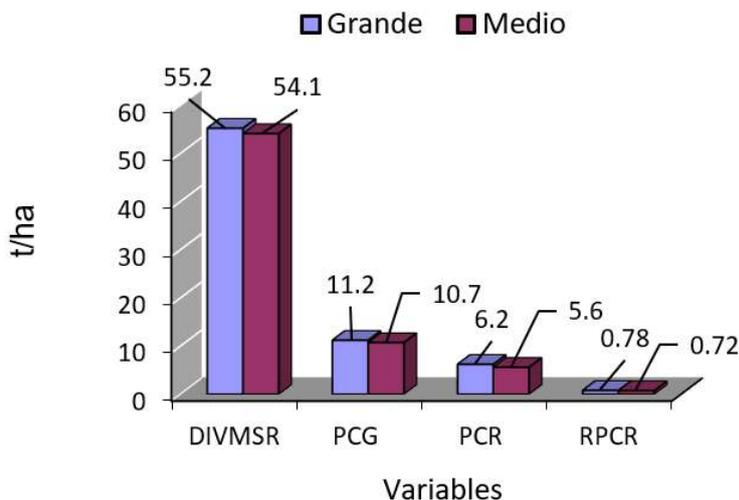
En promedio de las dos localidades, las variedades con los más altos rendimientos de rastrojo (RR) así como de nutrientes digestibles por hectárea (RPCR y RRD) fueron VS-2000 y Campeón; sin embargo, estos materiales también presentaron mayor incidencia de acame y menor producción de grano. Los materiales con alto contenido de proteína (PCR) y con mayor digestibilidad del rastrojo (DIVMSR) fueron el Campeón y el VS-22. En cuanto a la producción de grano, los híbridos HS-2, H-157E y Promesa presentaron los más altos rendimientos y el contenido de almidón fue mayor para VS-2000, HS-2, H-157E, VS-22 y H-358 (Tabla 3).

**Tabla 3. Comparación de medias de las variables agronómicas, de rendimiento y valor nutricional evaluadas en la etapa de corte de madurez fisiológica analizadas mediante la serie de experimentos**

Variedad	Variables <sup>†</sup>									
	ACA (%)	RR (t ha <sup>-1</sup> )	RPCR (t ha <sup>-1</sup> )	RRD (t ha <sup>-1</sup> )	PCR (%)	DIVMSR (%)	IC	RG (t ha <sup>-1</sup> )	PCG (%)	ALM (%)
H-157E	1.7	13.9	0.69	7.6	4.9	54.9	0.48	10.2	9.7	74.8
H-135	3.2	12.5	0.76	6.8	5.9	54.2	0.51	7.1	10.5	72.5
A-791	1.2	11.8	0.71	6.0	6.1	50.6	0.49	7.3	11.5	72.3
VS-2000	11.2	15.0	0.83	8.3	5.5	55.4	0.38	5.0	11.3	76.1
Campeón	11.5	14.4	1.0	8.2	7.1	56.7	0.40	4.3	10.8	73.8
Promesa	4.1	10.6	0.67	5.7	6.4	54.0	0.56	8.6	11.2	73.3
HS-2	4.6	12.2	0.68	6.5	5.7	53.3	0.52	10.6	10.1	76.5
VS-22	11.1	10.6	0.67	6.1	6.3	57.8	0.48	6.2	11.4	74.3
H-358	1.5	13.2	0.71	7.3	5.4	54.9	0.43	6.7	11.7	74.2
Media (P < 0.05)	5.6	12.7	0.75	6.95	5.92	54.65	0.47	7.34	10.9	74.2
DMSH	1.09	3.22	0.19	1.79	0.32	1.43	0.08	1.58	0.47	2.52

<sup>†</sup>ACA = porcentaje de acame; RR = rendimiento de rastrojo; RPCR = rendimiento de proteína del rastrojo por hectárea; RRD = rendimiento de rastrojo digestible; PCR = proteína de rastrojo; DIVMSR = digestibilidad in vitro de la materia seca del rastrojo; IC = índice de cosecha; RG = rendimiento de grano; PCG = proteína de grano; ALM = almidón en el grano.

Referente al tamaño de semilla, se observa en la Figura 1 que al utilizar semilla de tamaño grande se presentó un ligero incremento en las variables anteriores comparado con la semilla de tamaño medio.



**Fig. 1. Diferencias en digestibilidad in vitro (DIVMSR) del rastrojo, proteína del grano (PCG), proteína del rastrojo (PCR) y rendimiento del contenido de proteína del rastrojo (RPCR) debidas al tamaño de semilla**

En cuanto a la combinación de variedad por tamaño de semilla que en los materiales H-157, H-135, Campeón y VS-22 los rendimientos de RR, RPCR y RRD, así como PCG fueron ligeramente mayores en la semilla de tamaño grande comparada con la de tamaño medio, contrariamente a lo que se presentó en los materiales A-791, Promesa y HS-2 en donde RR, RPCR y RRD

en el tamaño medio fue ligeramente más alto. De acuerdo con los datos obtenidos, las diferencias encontradas en estos parámetros se debieron al efecto de la variedad más que al tamaño de la semilla.

### 3.2 ANÁLISIS MULTIVARIADO

Las variables de rendimiento y valor nutricional del rastrojo y grano de maíz se sometieron al análisis multivariado, con el propósito de lograr una mejor interpretación de los resultados y discriminar con precisión, las variables utilizadas en la evaluación de la productividad y calidad nutricional. Adicionalmente, la información se analizó con la técnica multivariada de colinealidad donde RPCR, RRD fueron eliminadas debido a su colinealidad con RR, PCR y DIVMSR. La variable ACA se descartó por no presentar significancia estadística en el análisis de varianza univariado y así también, el índice de cosecha (IC) por ser un factor que se encuentra implícito en el cálculo del RG.

El análisis multivariado (MANOVA) permitió detectar diferencias ( $P \leq 0.001$ ) entre localidades (L), variedades (V) y tamaños de semilla (TS; Tabla 4), así como en las interacciones de variedad por tamaño de semilla (VxTS; Tabla 4), Esto indica que, en conjunto, las variables analizadas afectaron los criterios de clasificación, por lo que fue factible someterlas a las distintas metodologías de análisis multivariado decidiéndose a realizar el Análisis Discriminante Canónico (CANDISC).

Dado que el MANOVA (Tabla 4) permitió detectar diferencias significativas entre tamaños de semilla, se procedió a efectuar el CANDISC para localidad, variedad y tamaño de semilla considerando estas fuentes de variación como criterios de clasificación. Tomando en cuenta la localidad, la CAN1 absorbió el 100% de la variación de todo el análisis, debido a que el número de variables generadas fue igual al número de clases (en este caso dos localidades de estudio) menos una. Esta variable canónica resultó significativa ( $P \leq 0.0001$ ). En cuanto a los coeficientes canónicos estandarizados indican que, con base en su valor absoluto, la variable original con mayor ponderación fue el ALM. Al considerar las medias de clase obtenidas para la localidad de Tecámac (0.90) y Coatlinchán (-0.90) así como los coeficientes canónicos estandarizados, es posible detectar que en la localidad de Coatlinchán se presentó la menor concentración de almidón. La distancia de Mahalanobis entre localidades fue de 3.26 y resultó significativa ( $P \leq 0.001$ ).

**Tabla 4. Análisis de varianza multivariado, proporción de la varianza explicada, probabilidad y coeficientes canónicos estandarizados para las dos primeras variables canónicas en parámetros de rendimiento y valor nutricional medidas en la etapa de corte de madurez fisiológica**

	Variable canónica	Proporción de la varianza explicada	Valor de probabilidad	Coeficientes canónicos estandarizados					
				RR	PCR	DIVMSR	RG	PCG	ALM
Localidad (L)	CAN1	100	< 0.0001	0.19	0.06	-0.07	-0.53	-0.44	0.82
Variedad (V)	CAN1	0.45	< 0.0001	-0.50	-0.09	0.14	0.97	-0.59	0.30
	CAN2	0.29	< 0.0001	-0.10	0.06	1.00	-0.09	-0.49	0.04
Tamaño de semilla (TS)	CAN1	100	< 0.0001	-0.19	0.75	0.43	0.36	0.45	0.06
VxTS	CAN1	0.54	< 0.0001	0.51	0.30	0.17	-0.90	0.56	-0.42
	CAN2	0.21	< 0.0001	0.45	-0.31	0.57	-0.13	-0.53	-0.003
Grande	CAN1	0.44	< 0.0001	-0.37	0.57	1.03	0.30	-0.88	-0.15
	CAN2	0.32	< 0.0001	-0.16	-0.39	-0.11	0.79	-0.46	0.17

RR = rendimiento de rastrojo; PCR = proteína del rastrojo; DIVMSR = digestibilidad in vitro de la materia seca del rastrojo; RG = rendimiento de grano; PCG = proteína de grano; ALM = almidón del grano.

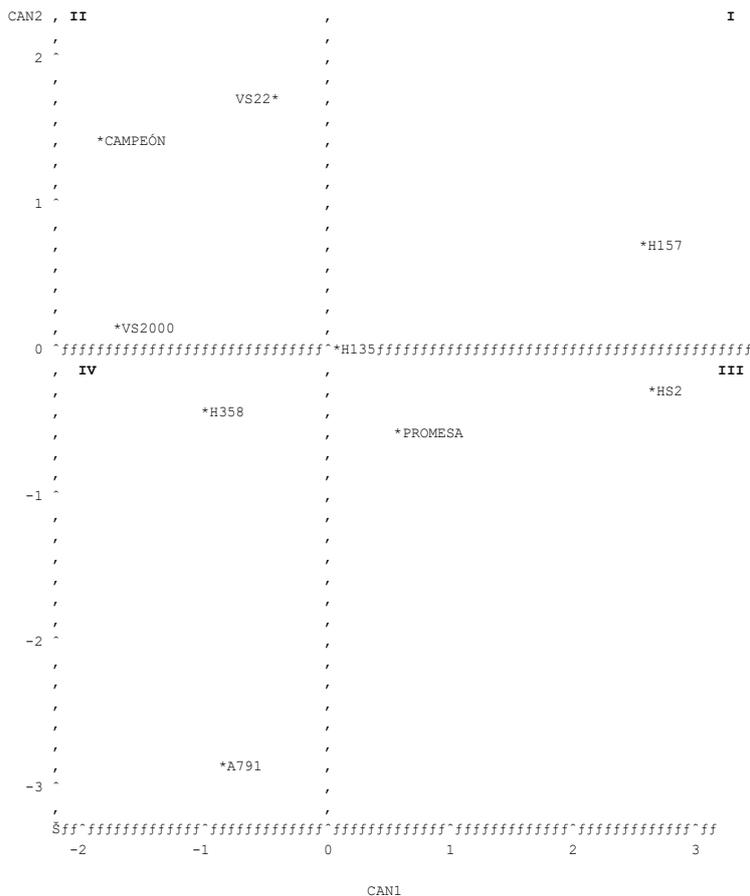
Por otra parte, el MANOVA también detectó diferencias significativas entre variedades ( $P \leq 0.0001$ ) en cuanto a sus caracteres de rendimiento y valor nutricional. En el CANDISC se observa que para el factor variedad, las dos primeras variables canónicas (CAN1 y CAN2) resultaron significativas y ambas explicaron el 74% de la varianza total. Tomando en cuenta la variedad, los coeficientes canónicos estandarizados, muestran que, con base en su valor, las variables originales más relevantes fueron RG, PCG y RR en CAN1 y en CAN2 la DIVMSR y PCG ya que tuvieron la mayor ponderación, por lo que con estas variables se puede seleccionar, las variedades de maíz con fines forrajeros. Con base en la ponderación de las variables originales definida por los coeficientes canónicos estandarizados y por la posición de los materiales en la Figura 2, determinada por sus respectivas medias de clase, se permite hacer la siguiente caracterización cuantitativa:

**Cuadrante I.** Con base en las variables canónicas CAN1 y CAN2 se puede observar en este Cuadrante, que está integrado por los híbridos H-157E y H-135 de ciclo tardío. El rendimiento de grano del híbrido H-157E fue más alto que del material H-135 pero ambos presentaron una DIVMSR similar, lo que permitió ubicarlos como los de mejor respuesta al conjugar las variables. Estos materiales poseen germoplasma de origen Valles Altos y Tropical.

**Cuadrante II.** Los materiales VS-2000 (tardío), Campeón y VS-22 (intermedio) que se observan en este Cuadrante, se caracterizaron por presentar los menores rendimientos de grano, pero con los mayores porcentajes de DIVMSR; característica que les permitió ubicarse como los de mejor respuesta en la variable CAN2. Es importante mencionar que los tres materiales son de origen Valles Altos.

**Cuadrante III.** Los materiales Promesa y HS-2 de ciclo intermedio que se observan en este Cuadrante, se caracterizaron por presentar altos rendimientos de grano, pero bajos porcentajes de DIVMSR y contenido de PCG. Estos materiales poseen germoplasma Valles Altos.

**Cuadrante IV.** Presenta materiales de ciclo tardío (A-791 y H-358) con menores rendimientos de grano, contenido de proteína y digestibilidad *in vitro* del rastrojo. Estos materiales poseen germoplasma Tropical.



**Fig. 2.** Dispersión de las nueve variedades, en función del rendimiento y el valor nutricional del rastrojo - grano de maíz y ponderada, por las dos primeras variables canónicas del análisis discriminante canónico

Dado que el MANOVA (Tabla 4) permitió detectar diferencias significativas entre tamaños de semilla, se procedió a efectuar el CANDISC considerando esta fuente de variación como criterio de clasificación. La CAN1 absorbió el 100 % de la variación de todo el análisis, debido a que el número de variables generadas fue igual al número de clases (en este caso dos tamaños de semilla) menos una. Esta variable canónica resultó 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 PCR. Al considerar las medias de clase obtenidas para tamaño de semilla grande (0.49) y medio (-0.49) y los coeficientes canónicos estandarizados, es posible detectar que el tamaño medio presentó la menor concentración de proteína del rastrojo. La distancia de Mahalanobis entre ambos tamaños de semilla fue de 0.99 ( $P \leq 0.0001$ ).

Por otra parte, en el MANOVA (Tabla 4) se detectaron diferencias significativas ( $P \leq 0.0001$ ) en las interacciones VxTS en ambos tamaños, acumulando el 75% de la proporción de la varianza total para semilla grande y 76% de la varianza total en semilla de tamaño medio. Tomando en cuenta ambas combinaciones de VxTS, se encontró que en CAN1 y CAN2 las variables RG, PCG, DIVMSR y PCR fueron las de mayor relevancia en este estudio.

#### **4 DISCUSIÓN**

Dada la importancia que tiene el maíz en la producción nacional, es necesaria la utilización de semillas mejoradas para obtener altos rendimientos de grano y forraje. Sin embargo, en la mayor parte de la superficie sembrada en México no se utilizan variedades mejoradas [17], limitando con ello la productividad. Al respecto, en la agricultura mexicana de subsistencia, se realiza una práctica tradicional por parte del agricultor, que consiste en la selección de semilla de maíz por su forma y tamaño utilizando sólo semillas grandes y planas porque considera que se obtiene un mejor establecimiento en campo y con ello altos rendimientos del cultivo. Aunado a esto, actualmente la venta de semilla por las empresas que la comercializan, la llevan a cabo tomando en cuenta el número y el tamaño de la semilla lo que incide en el precio de venta de la misma. Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar si el tamaño de semilla tiene influencia en el rendimiento y valor nutricional del rastrojo y del grano en diferentes variedades de maíz.

Tomando en cuenta los resultados obtenidos de la serie de experimentos analizada, se determinó que la localidad tuvo efecto en la mayoría de las variables estudiadas en la etapa de madurez fisiológica a excepción de acame, contenido de proteína del rastrojo e índice de cosecha. La variedad empleada para este estudio afectó en todos los parámetros evaluados. El tamaño de semilla no influyó en el rendimiento del rastrojo y del grano, pero la semilla de tamaño grande presentó un ligero incremento en el contenido de proteína del rastrojo y grano, así como en la digestibilidad del rastrojo de maíz comparado con la semilla de tamaño medio.

En general, se puede considerar que las diferencias observadas en este estudio, pueden ser explicadas más por la variedad y la localidad que en sí por el tamaño de la semilla, el bloque anidado en la localidad también tuvo una participación importante. Estos resultados coincidieron con lo obtenido por [18], quien reportó que el tamaño de semilla no tuvo efecto sobre el rendimiento en dos híbridos de maíz evaluados en Estados Unidos, pero el rendimiento se vio afectado por la variedad y el ambiente. [19] trabajando en Kenya con tamaños de semilla de maíz, hacen mención al poco efecto que tuvo el tamaño de semilla sobre el rendimiento y estos autores mencionan un incremento en mazorcas por planta proveniente de semillas de tamaño pequeño, aunque esto no fue significativo en el análisis de varianza. Asimismo, [20] reportaron que el tamaño de semilla en un híbrido de maíz de cruzamiento doble no tuvo efecto en el establecimiento en campo, altura de planta y rendimiento final. Caso contrario a lo anterior, lo reportan [21] en un estudio realizado en Ahwaz, Irán, quienes utilizando el híbrido de maíz S.C704 clasificados por tamaño de semilla, sí registraron diferencias en rendimiento de grano, el número de semillas por mazorca, número de semillas por hilera y el peso de mil semillas.

Considerando algunas de las variables agronómicas, en este estudio se observó que la mayor incidencia de acame fue para las variedades de maíz con germoplasma Valles Altos como fue el caso de los materiales VS-2000, VS-22 y Campeón. Asimismo, se observó que estas variedades también tuvieron la mejor respuesta en el rendimiento del rastrojo y en el valor nutricional. Respecto a esto, [22] estudiando cinco poblaciones de maíz con potencial forrajero, encontraron que el germoplasma precoz y de Valles Altos tuvo una mayor incidencia de acame y una mayor DIVMS del rastrojo, superando al resto de las poblaciones evaluadas. Por su parte, [23] evaluaron el rendimiento y la digestibilidad del rastrojo de maíz por dos años en 12 líneas endogámicas con incidencia al acame y reportaron una correlación negativa entre lignina detergente ácido (LDA) con la digestibilidad de la materia orgánica *in vitro* (IVDOM) siendo el valor de -0.59.

En este estudio se observó que las variedades Campeón y VS-2000 además de tener altos rendimientos de rastrojo y de nutrientes fueron también, los de mejor valor nutricional en PCR y DIVMSR. Los resultados del presente estudio no son consistentes con lo reportado con [24], quienes observaron que variedades con altos rendimientos de rastrojo tienden a tener bajas digestibilidades *in vitro*. Sin embargo, esta observación se manifestó en los híbridos H-157E, H-135 y H-358 de ciclo tardío quienes presentaron rendimientos de rastrojo aceptables pero su valor nutricional fue menor.

Los resultados de rastrojo obtenidos en este estudio fueron más altos que los reportados por [25] y difieren de los mencionados por [7]. [25] observaron rendimientos de 2877 a 6220 kg ha<sup>-1</sup> en un estudio realizado en los valles altos de Libres-Serdán, Puebla, México con variedades locales de maíz. De igual manera, [7] registraron rendimientos de rastrojo de maíz de 18 a 23 t ha<sup>-1</sup> y de 10 a 18 t ha<sup>-1</sup> en RRD, siendo las variedades sobresalientes en ese estudio VS-2000, Triunfo y H-135 quienes presentaron los mayores rendimientos de rastrojo.

Las diferencias en rendimiento de grano fueron muy marcadas entre variedades, como fue en el caso del criollo Campeón quien registró el menor RG con 4.3 t ha<sup>-1</sup> y HS-2 el de mayor RG con 10.6 t ha<sup>-1</sup>. Por lo tanto, los resultados alcanzados en este estudio fueron ligeramente mayores a los reportados por [26] para maíces forrajeros en Etiopía donde los rendimientos oscilaron entre 2.2 y 7 t ha<sup>-1</sup> y a los de [6] en el Estado de México que reportan rendimientos de 3.6 a 9.5 t ha<sup>-1</sup> y similares a los obtenidos por [7] con rendimientos de 6 a 10 t ha<sup>-1</sup>.

Respecto al índice de cosecha (IC) los materiales Promesa, HS-2, H-135, A-791 y H-157E sobresalieron significativamente en relación con las demás variedades, en donde VS-2000 y Campeón fueron las de menor IC y RG. Los índices de cosecha de las variedades evaluadas en este estudio coinciden en parte con otros estudios, como los de [26] quienes reportan valores de 0.26 a 0.48. Resulta importante hacer notar que VS-2000 y Campeón presentaron mayor rendimiento de materia seca tanto en corte para ensilado como en rastrojo, pero no necesariamente tuvieron una máxima producción de grano (RG). [22] mencionan que el mejoramiento genético para mayor producción de grano *per se*, no garantiza tampoco que los híbridos presenten una mayor calidad forrajera, como lo sugieren [27].

En cuanto al valor nutricional del rastrojo, las variedades con mayor concentración de proteína (PCR) fueron Campeón, Promesa y VS-22 mientras que en la digestibilidad *in vitro* los materiales más sobresalientes fueron VS-22, Campeón, VS-2000 y H-358 superando al resto de las variedades evaluadas. Los valores de proteína obtenidos en rastrojo son similares a los reportados por [26] y son ligeramente superiores a los encontrados por [28]. [26] registraron porcentajes de 3.1 a 6.1% al realizar un estudio con ocho variedades de maíz en Etiopía, en tanto que [28] reportaron valores de proteína del rastrojo de maíz de 4.5%.

En el contenido de proteína del grano (PCG), hubo diferencias significativas entre variedades. Los valores obtenidos en nuestro estudio, fueron ligeramente mayores a los observados por [6] quienes mencionan valores entre 8.3 y 11.2% así como a los reportados por [29] quienes determinaron valores entre 8.3 y 10.6%. Por su parte, [30] reporta contenidos de proteína en el grano de 10%. Los híbridos H-358, A-791 y VS-22 obtuvieron el mayor contenido de PCG. Para la concentración de almidón (ALM) del grano, se observaron diferencias importantes en variedades donde HS-2, H-157E, H-358 y VS-22 fueron las más sobresalientes. [30] reporta concentraciones de almidón en el grano de maíz de 64 a 78%.

Por otra parte, VS-22, VS-2000 y Campeón mostraron mayores porcentajes de digestibilidad del rastrojo (DIVMSR) en cambio, A-791 que es un híbrido de ciclo tardío registró un bajo porcentaje de digestibilidad. [31] reportan una relación inversa entre el rendimiento de grano con el valor nutricional del rastrojo. Lo anterior coincide con lo encontrado en este estudio para VS-2000, Campeón y VS-22 cuyos rendimientos de grano fueron menores, pero presentaron alta digestibilidad del rastrojo. Los valores obtenidos en este estudio son superiores a los reportados por [28] quienes reportan valores de DIVMS del rastrojo de 47.71%.

Es importante que en un programa de mejoramiento de maíz para forraje se identifiquen las variables agronómicas, de rendimiento y de valor nutricional que pueden ser importantes para considerarlas como criterios de selección. Para identificar estas variables, se utilizó el análisis discriminante canónico (CANDISC), con el cual se determinó que el rendimiento de grano, así como el contenido de proteína del rastrojo y del grano, la concentración de almidón y la digestibilidad del rastrojo, son las variables de mayor importancia en la etapa de madurez fisiológica. Asimismo, se identificó que los materiales con la mejor respuesta en esta etapa de estudio fueron los materiales H-358, VS-2000, VS-22 y Promesa.

Los resultados observados en este estudio, coinciden parcialmente con lo reportado por [6] quienes realizaron a través de la técnica de componentes principales la caracterización de 30 variedades de maíz y encontraron que el rendimiento de grano, los contenidos de proteína del rastrojo y del grano, así como el rendimiento de rastrojo digestible, fueron los parámetros de mayor peso en los dos ejes de los componentes principales. Asimismo, estos autores reportaron que las variedades con mayor productividad y valor nutricional tanto del rastrojo como del grano de maíz fueron las de ciclo tardío y con germoplasma de Valles Altos.

## **5 CONCLUSIONES**

La variedad afecta el rendimiento y el valor nutricional del rastrojo y grano de maíz; mientras que el tamaño de semilla, sólo presenta un ligero efecto en el contenido de proteína del rastrojo y grano, así como en la digestibilidad del rastrojo de maíz. De acuerdo con el análisis de varianza multivariado, las variables de mayor importancia para seleccionar variedades de maíz en la etapa de madurez fisiológica son el rendimiento de grano, los contenidos de proteína del grano y rastrojo, la digestibilidad *in vitro* del rastrojo, así como el contenido de almidón en el grano. Las variedades con la mayor productividad del rastrojo de maíz fueron Campeón, VS-2000, H-157 y H-358 mientras, que las variedades con el rendimiento más alto en grano de maíz son Promesa, H-157E y HS-2. La variedad más sobresaliente en cuanto a su valor nutricional tanto en rastrojo como en grano de maíz fue VS-22.

## **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] Jaramillo, V.V., *La importancia forrajera del maíz*. In: III Simposio nacional sobre maíz. Comisión Técnico Consultiva de Coeficientes de Agostadero. SARH. Guadalajara, Jalisco, México, 1992.
- [2] S. Fernández R., and J.T. Klopfenstein, «Yield and quality components of corn crop residues and utilization of these residues by grazing cattle», *Journal Animal Science*, vol. 67, pp. 597-605, 1989.
- [3] T. D. Beuchelt, V. C. T. Camacho, L. Göhring, R. V. M. Hernández, J. Hellin, K. Sonder, and O. Erenstein, «Social and income trade-offs of conservation agriculture practices on crop residue use in Mexico's central highlands». *Agricultural Systems*, vol. 134, pp. 61-75, 2015.
- [4] L. Reyes M., V. T. C. Camacho, y H. F. Guevara, *Rastrojos manejo, uso y mercado en el centro y sur de México*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, México. Libro Técnico No. 7, 256 p., 2013.
- [5] R. Martínez-Loperena, A. O. Castelán-Ortega, M. González-Ronquillo, and J. G. Estrada-Flores, «Determinación de la calidad nutritiva, fermentación *in vitro* y metabolitos secundarios en arvenses y rastrojo de maíz utilizados para la alimentación del ganado lechero». *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, vol. 14, pp. 525-536, 2011.
- [6] M. Vera U., y J. I. Vázquez L., Productividad y valor nutritivo de 30 genotipos de maíz (*Zea mays* L.) para forraje en la región de Valles Altos. Tesis Profesional UACH. Chapingo, México. 105 p., 2001.
- [7] 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 «El Horno», no. 6, pp. 55-60, 2003.
- [8] M. H. Faiguenbaum, y L. Romero A., «Efecto del tamaño de semilla sobre la germinación, el vigor y el rendimiento en un híbrido de maíz (*Zea mays* L.) ». *Ciencia e Investigación Agraria*, vol. 18, no. 3, pp. 111-117, 1991.
- [9] Quintana, C. M., 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.
- [10] U. A. Chaudhry, and A. I. Ullah, «Influence of seed size on yield, yield components and quality of three maize genotypes». *Journal of Biological Sciences*, vol. 1, no. 3, pp. 150-151, 2001.
- [11] 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.
- [12] Association of Officiating Analytical Chemists (AOAC), *Official method of analysis*. 19th Edition. Washington DC, USA. 672 p., 2012.
- [13] 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.
- [14] E. P. Sosa, Manual de procedimientos analíticos para alimentos de consumo animal. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México, 115 p., 1979.
- [15] R. Herrera-Saldaña, and J. T. Hubbert, «Influence of varying protein and starch degradabilities on performance of lactating cows». *Journal Dairy Science*, vol. 72, pp. 1477-1483, 1988.
- [16] Statistical Analysis Software, SAS/STAT, *Guide for personal computers*. Statistical Analysis System Institute. Inc. Cary, NC. USA, 2016.
- [17] L. A. Guillén-Pérez, C. Sánchez-Quintanar, S. Mercado-Domenech y H. Navarro-Garza, «Análisis de atribución causal en el uso de semilla criolla y semilla mejorada de maíz». *Agrociencia*, vol. 36, pp. 377-387, 2002.
- [18] E. D. Nafziger, «Seed size effects on yields of two corn hybrids». *Journal of Production Agriculture*, vol. 5, no. 4, pp. 538-540, 1992.
- [19] 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.
- [20] R. W. Silva, and J. M. Filho, «Influence of weight and size of corn seeds on field performance». *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, vol. 17, no. 12, pp. 1743-1750, 1982.
- [21] E. M. R. Gholizadeh, A. M. Bakhshandeh, M. Dehghan S., M. H. Ghaineh, K. H. Aala, and M. Sharafizadeh, «Effect of source and seed size on yield component of corn S.C704 in Khuzestan». *African Journal of Biotechnology*, vol. 11, no. 12, pp. 2938-2944, 2012.
- [22] 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.
- [23] P. A. Gurrath, B. S. Dhillon, W. G. Pollmer, D. Klein and E. Zimmer, «Utility of inbred line evaluation in hybrid breeding for yield and stover digestibility in forage maize». *Maydica*, vol. 36, pp. 65-68, 1991.

- [24] D. P. Wolf, J. G. Coors, K. A. Albrecht, D. J. Undersander and P. R. Carter, «Agronomic evaluations of maize genotypes selected for extreme fiber concentrations». *Crop Science*, vol. 33, pp. 1359-1365, 1993.
- [25] F. Muñoz-Tlahuiz, J.D. Guerrero-Rodríguez, A. P. López, A. Gil-Muñoz, H. López-Sánchez, E. Ortiz-Torres, J. A. Hernández-Guzmán, O. Taboada-Gaytán, S. Vargas-López, and M- Valadez-Ramírez, «Producción de rastrojo y grano de variedades locales de maíz en condiciones de temporal en los valles altos de Libres-Serdán, Puebla, México». *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, vol. 4, no. 4, pp. 515-530, 2013.
- [26] A. Tolera, T. Berg and F. Sundstol, «The effect of variety on maize grain and crop residue yield and nutritive value of the stover». *Animal Feed Science and Technology*, vol. 79, pp. 165-177, 1999a.
- [27] W. J. Cox, J. H. Cherney, D. J. R. Cherney and W.D. Pardee, «Forage quality and harvest index of corn hybrids under different growing conditions». *Agronomy Journal*, vol. 86, pp. 277-282, 1994.
- [28] B. Wattanaklang, A. Abrar, and A. Cherdthong, «Nutritional value of fermented maize stover as feed for ruminant». *Journal Peternakan Sriwijaya*, vol. 5, no. 1, pp. 44-51, 2016.
- [29] M. R. Tovar G., J. L. Arellano V. y J. M. Hernández C., «Maíz para forraje en la región de valles altos de la mesa central». In: Memoria Técnica. INIFAP-CEVAMEX, no. 2, pp. 16-19, 2002.
- [30] P. Reyes C., *El maíz y su cultivo*. A. G. T. Editor, S.A. México, 460 p., 1990.
- [31] 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.