

Digestibilidad del rastrojo de variedades locales de maíz en el altiplano Poblano-Tlaxcalteca

Juan de Dios Guerrero-Rodríguez^{1,§}

Faviola Muñoz-Tlahuiz¹

Pedro Antonio López¹

Higinio López-Sánchez¹

J. Arahón Hernández Guzmán¹

Abel Gil-Muñoz¹

1 Colegio de Postgraduados-Campus Puebla. Boulevard Forjadores de Puebla # 205. Santiago Momoxpan, San Pedro Cholula, Puebla. CP. 72760. Tel. 222 2851442, ext. 2208. (faby19664@hotmail.com; palopez@colpos.mx; higinioils@colpos.mx; arahon@colpos.mx; gila@colpos.mx).

Autor para correspondencia: rjuan@colpos.mx.

Resumen

La calidad del rastrojo de maíz es un aspecto importante para mejorar su consumo en rumiantes y poco se conoce sobre su variación en la diversidad de variedades cultivadas en el altiplano mexicano. El objetivo fue conocer la calidad del rastrojo (hoja) en poblaciones nativas de maíz en dos regiones del altiplano Poblano-Tlaxcalteca. Por cada región, en dos localidades se ensayaron 144 cultivares, de los cuales 134 fueron poblaciones nativas y seis cultivares comerciales recomendados para zonas templadas. Se cuantificó la digestibilidad *in vitro*, fibra detergente neutro, fibra detergente ácido, precocidad, rendimiento de forraje y grano. El diseño experimental fue un látice simple 12x12 con dos repeticiones. En ambas regiones se encontraron diferencias en digestibilidad ($p < 0.01$) entre cultivares en un intervalo de 10 unidades porcentuales. Las variedades locales sobresalientes fueron las que presentaron la mayor digestibilidad (62.8 y 57.7% promedios por región) que los cultivares comerciales (57.3 y 57.7%), variable que se asoció a menores concentraciones de fibra insoluble en detergente neutro (68.8 y 75.7% vs 71.7 y 78.3%), principalmente. Tanto la precocidad, la coloración del grano o el rendimiento del grano no se asociaron con la digestibilidad. En conclusión, existe diversidad en la digestibilidad de la hoja en rastrojo entre cultivares, algunas variedades locales tuvieron mayor digestibilidad que los híbridos comerciales ensayados. Las diferencias en digestibilidad se relacionaron a diferencias en la concentración de fibra detergente neutro donde las variedades comerciales tendieron a ser más fibrosas. Algunas variedades locales sobresalientes en digestibilidad tuvieron alta producción de grano y rastrojo.

Palabras clave:

maíces criollos, Valles Altos, valor nutritivo.



License (open-access): Este es un artículo publicado en acceso abierto bajo una licencia **Creative Commons**

Introducción

En las áreas del altiplano mexicano el rastrojo de maíz es un subproducto importante en la alimentación de rumiantes debido a que brinda estabilidad económica a la unidad de producción, pues mantiene al subsistema pecuario durante el periodo de escasez de forraje que comprende al menos medio año (Martínez-Loperena *et al.*, 2011; Mutsamba *et al.*, 2020). No obstante, de acuerdo con algunos estudios, el valor nutritivo del rastrojo de maíz es bajo (digestibilidad *in vitro* de 47.3-60.8%, de fibra detergente neutro de 67.9-89.1%, de fibra detergente ácido 36.6-56.5% y proteína cruda de 4.1-7.8%) (Russell, 1986; Undi *et al.*, 2001; Methu *et al.*, 2001; Xie *et al.*, 2009; Hansey y de Leon, 2011; Aya#an *et al.*, 2020).

Resultados provenientes de ensayos de variedades de maíz, en donde la variabilidad genética ha sido estrecha, muestran que existe variación en la calidad nutritiva del rastrojo (Dhillon *et al.*, 1990; Lundvall *et al.*, 1994; Xie *et al.*, 2009; Lorenz *et al.*, 2010; Hansey y de Leon, 2011). En los maíces nativos, los cuales son diversos genéticamente, la información en relación con la variabilidad nutricional del rastrojo es limitada (Estrada-Flores *et al.*, 2006), de tal modo que poco se ha investigado sobre las características nutricionales de las poblaciones nativas de maíz de diferente color (blancos, azules y amarillos) o de diferente precocidad (tardíos, intermedios y precoces).

En México, prácticamente en cualquiera de sus regiones, la diversidad genética del maíz es amplia, por tanto, es factible encontrar variaciones a nivel morfológico, metabólico y fisiológico que se reflejen en los componentes del valor nutricional. Con base en lo anterior, se puede inferir que es posible identificar variedades con mejor calidad y cantidad de rastrojo y que, a la vez, combinen una producción aceptable de grano.

El presente estudio evaluó algunas características del valor nutricional del rastrojo de maíces nativos en la región de Libres-Serdán del Estado de Puebla y el valle de la región de Huamantla, Tlaxcala, para aportar elementos de decisión en la selección de variedades que conjuguen una mayor producción de grano y una mejor calidad de rastrojo.

Materiales y métodos

Descripción del área de estudio

Se colectaron muestras de semillas de maíces criollos en un rango altitudinal de 2 340 a los 2 980 m en dos regiones que comprendieron 19 municipios del estado de Puebla y cuatro del estado de Tlaxcala, México. A estas dos regiones se les denominó Libres-Mazapiltepec-Huamantla (L-M-H) y Serdán-Tlachichuca-Guadalupe Victoria (S-T-GV). Los municipios en L-M-H fueron Cuyoaco, Tepeyahualco, Ocoteppec, Libres, Oriental, San José Chiapa, Rafael Lara Grajales, Nopalucan, Mazapiltepec, y Soltepec, del estado de Puebla; Altzayanca, Citlaltepec, Cuapiaxtla y Huamantla del estado de Tlaxcala. La región S-T-GV incluyó los municipios de Chalchicomula de Sesma, Aljojuca, Esperanza, La Fragua, San Juan Atenco, San Nicolás Buenos Aires, San Salvador El Seco, Tlachichuca y Guadalupe Victoria.

En cada región se evaluaron 134 poblaciones nativas, cuatro testigos comerciales (32D06, Halcón, Z-60 y Sintético Serdán, para L-M-H y AS-722, Gavilán, Promesa y Sintético Serdán para S-T-GV) y seis testigos raciales. Se establecieron dos experimentos por región, los que quedaron ubicados de la siguiente manera.

Para L-M-H las localidades fueron Buenavista de Guerrero, municipio de Cuyoaco, ubicada a los 19° 38' 07" latitud norte y 97° 30' 32" longitud oeste, con altitud de 2 646 m con clima templado subhúmedo con lluvias en verano, de menor humedad (46.06%) de suelos Phaeozem (INEGI, 2010) y, Máximo Serdán, municipio de Lara Grajales, localizada a los 9° 16' 36" latitud norte y 97° 48' 19" longitud oeste, con altitud de 2 402 m, con clima templado con lluvias en verano de mayor humedad (100%) de suelo Phaeozem (INEGI, 2010).

La precipitación acumulada en el periodo experimental fue de 572.2 mm. Para S-T-GV las localidades fueron El Sabinal, municipio de Chalchicomula de Sesma, ubicada a 18° 55' 19" latitud norte y 97° 24' 07" longitud oeste, a una altitud de 2 540 msnm, con clima semiseco templado y suelo Arenosol (INEGI, 2010) y Tlachichuca, municipio de Tlachichuca, ubicada a 19° 06' 51" latitud norte y 97° 25' 08" longitud oeste con una altitud de 2 600 msnm, de clima templado subhúmedo con lluvias en verano de humedad media (43.13%) y suelo Regosol (INEGI, 2010). La precipitación acumulada en el periodo experimental fue de 652.8 mm.

Diseño y unidad experimental

El diseño experimental fue un látice 12 x 12 (Martínez, 1989) con dos repeticiones. Cada variedad se sembró en dos surcos cuyas dimensiones fueron de 5 m de longitud y 0.85 m de ancho. Cada 50 cm se sembraron tres semillas, aclarando a dos plantas por mata para alcanzar una densidad de población de 40 000 plantas ha⁻¹.

Manejo del cultivo

En la región L-M-H se sembró el 14 de abril en la localidad de Buenavista de Guerrero y el 21 del mismo mes en la localidad de Máximo Serdán. En la región S-T-GV se sembró el 26 de marzo en la localidad de El Sabinal y el 03 de abril de 2020 en la localidad de Tlachichuca. Los cuatro experimentos dependieron exclusivamente del temporal. Detalles de labores del cultivo y demás aspectos del manejo los mencionaron Muñoz-Tlahuiz *et al.* (2013).

Variables evaluadas

En las partes centrales de cada unidad experimental se cortaron tres plantas representativas con competencia completa y con mazorca. El forraje obtenido fue picado con tijeras de podar, puesto en bolsas de papel y secado en una estufa de aire forzado a 60 °C hasta alcanzar peso constante. El forraje ya seco se separó en hoja y tallo, partes que se redujeron a un tamaño de partícula menor en un molino de cuchillas. Después del proceso anterior, el material obtenido se molió en un molino ciclónico Marca Foss® con criba de 1 mm y se guardó en bolsas ziploc selladas, almacenadas en cajas de cartón también selladas.

Las hojas fueron las únicas analizadas a las cuales se les determinó la fibra insoluble en detergente neutro (FDN), la fibra insoluble en detergente ácido (FDA) y la digestibilidad *in vitro* enzimática, mediciones que se llevaron a cabo en el Laboratorio de Análisis Físicoquímicos, Bioquímicos y Biológicos del Colegio de Postgraduados, *Campus* Puebla. La determinación de la FDN y la FDA se hicieron por duplicado secuencialmente en un analizador de fibra ANKOM 200/220, mediante los protocolos de Ankom Technology® (Ankom Technology, 2006), excluyendo el paso con alfa-amilasa y el de acetona.

La digestibilidad *in vitro* se hizo con técnica de dos etapas pepsina-celulasa (Jones y Hayward, 1975; Clarke *et al.*, 1982; Klein y Baker, 1993), con enzimas de la compañía SIGMA-ALDRICH. La pepsina (1:10000 de mucosa de estómago porcino) fue disuelta en 0.125N de ácido clorhídrico a una proporción de 6.66 g litro. La celulasa Onozuka RS de *Trichoderma viride* (#5 000 unidades/g de sólido) se disolvió en buffer acetato (4.1 g de acetato de sodio anhidro y 2.9 ml de ácido acético por litro de agua destilada) con proporción celulasa:muestra de 1:100 (Clarke *et al.*, 1982).

Se utilizaron 0.3 g de materia seca por muestra colocándose en bolsas Ankom F57, por duplicado. En una incubadora de agitación orbital Lumistell® Modelo ISO-45 a 50 °C y a 80 revoluciones por minuto, cada etapa de digestión tuvo una duración de 48 h. Se estimó el rendimiento de materia seca de rastrojo y de grano, así como los días al 50% de floración femenina como información complementaria.

El rendimiento de materia seca de rastrojo fue expresado por planta, de igual modo el rendimiento de grano, para lo cual se dividió el rendimiento por parcela (en base seca) entre el

número de plantas de esta; para ello, las muestras de grano y rastrojo se secaron en una estufa de aire forzado Marca Thermo Scientific® a 80 °C hasta alcanzar peso constante y hacer los ajustes respectivos por humedad.

Análisis estadístico

El análisis de varianza se realizó primero individualmente por experimento y posteriormente se realizó un análisis de varianza combinado entre localidades por región utilizando el procedimiento GLM del paquete Statistical Analysis System (SAS) versión 9.4 (SAS, 2008). El modelo lineal para el látice fue el siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \gamma_j + \delta_{ij} + B(L)_{l(kj)} + \varepsilon_{ijkl}, \text{ con } i=1,2,\dots,144; j=1,2; k=1,2; l=1,2,\dots,12.$$

Donde: Y_{ijkl} es la observación de la i -ésima variedad en el j -ésimo ambiente de la k -ésima repetición dentro del l -ésimo bloque. μ es la media general. α_i es el efecto aleatorio de la i -ésima observación de la variedad γ_j es el efecto aleatorio del j -ésimo ambiente. δ_{ij} es el efecto aleatorio de la i -ésima variedad en el j -ésimo ambiente. $B(L)_{l(kj)}$ es el efecto aleatorio del l -ésimo bloque anidado en la k -ésima repetición del j -ésimo ambiente. ε_{ijkl} es el error aleatorio asociado a la unidad experimental Y_{ijkl} . La comparación entre medias de los tratamientos se realizó mediante la prueba de la diferencia mínima significativa ($\alpha=5\%$).

Resultados

Las variedades fueron diferentes en digestibilidad *in vitro* de la hoja ($p < 0.01$ y $p < 0.0001$ para L-M-H y S-T-GV, respectivamente). El valor medio para la región L-M-H fue de 59.5% y para S-T-GV fue de 54.9%, Cuadros 1 y 2. Para esta variable, el efecto de localidad fue detectado solo en la región L-M-H ($p < 0.0001$) en donde en Máximo Serdán las variedades tuvieron una digestibilidad promedio de 55.9% comparada con la de Buenavista que en promedio alcanzaron 63.1% (Figura 1). En las localidades de la región S-T-GV el promedio fue de 55%.

Cuadro 1. Variedades locales correspondientes al 10% superior en digestibilidad y testigos comerciales en la región L-M-H (promedio de dos localidades) con sus valores de fibras, materia seca de rastrojo producido, grano seco y días al 50% de floración femenina.

Variedad	Color	DIV (%)	FDN (%)	FDA (%)	MS (g planta ⁻¹)	GS (g planta ⁻¹)	DFF
41	Blanco	64.2	66.9	35.7	145.3	61.3	129
78	Blanco	64.2	66.3	35.5	114.3	68.8	126
42	Azul	63.6	65.5	34.5	95.4	41.7	122
16	Blanco	63.5	72.3	37.4	118.4	53.6	127
76	Blanco	63.2	66.3	36.3	109.3	58.9	126
133	Blanco	63.1	69	36.9	87.5	62.1	126
83	Azul	62.8	69.5	36.6	94.9	57.1	123
12	Azul	62.7	70.5	38	79.3	40.6	121
70	Azul	62.7	68.7	36.9	112.8	45.5	122
97	Blanco	62.5	68.1	34.6	105.9	49	128
142	Blanco	62.1	71.6	39.8	44	22.3	105
126	Blanco	62.1	68.1	35.5	114.9	62	125
19	Amarillo	62	70.4	37.7	76.1	58.7	117
43	Blanco	61.1	70.6	37.5	130.3	57.3	130
S. Serdán	Blanco	61.1	69.9	36.3	96.2	63.6	127
Halcón	Blanco	57.2	75.3	37.2	83.2	52.2	123
Z-60	Blanco	56.9	70.1	37	78.8	44.8	125
32D06	Blanco	54.2	71.8	38.4	71.9	56.6	121

DMS	4.35	4.19	3.7	31.82	19.65	5.46
Loc (Pr>F)	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Var (Pr>F)	0.01	0.004	0.003	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Loc*Var (Pr>F)	0.13	0.1	0.001	0.13	0.69	0.24
CV (%)	5.2	4.3	7.2	23.3	23.7	3.2
Media	59.5	69.8	36.9	97.6	59.4	121
Mínimo	54.2	65.2	34.3	26.8	14.8	98
Máximo	64.2	75.3	43.1	155.5	81.3	132

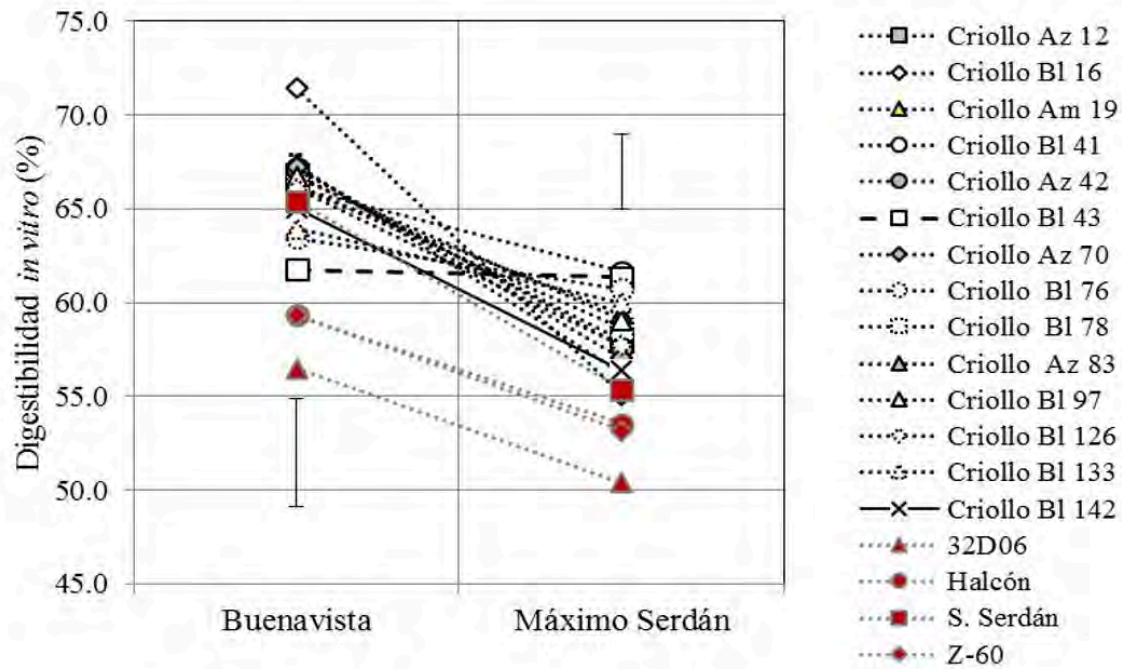
DIV= digestibilidad *in vitro*; FDN= fibra insoluble en detergente neutro; FDA= fibra insoluble en detergente ácido; MS= materia seca; GS= grano seco; DFF= días al 50% de floración femenina.

Cuadro 2. Variedades locales correspondientes al 10% superior en digestibilidad y testigos comerciales en la región S-T-GV (promedio de dos localidades) con sus valores de fibras, materia seca de rastrojo producido, grano seco y días al 50% de floración femenina.

Variedad	Color	DIV (%)	FDN (%)	FDA (%)	MS (g planta ⁻¹)	GS (g planta ⁻¹)	DFF
36	Amarillo	60.4	76.5	40.5	91.1	59.8	126
77	Blanco	58.6	75.2	39.2	99.6	57.6	136
20	Blanco	58.4	75.9	38.2	77.7	60.7	128
81	Azul	57.9	74	40	100.1	58.9	128
9	Azul	57.7	75.4	38.7	82.4	66.4	126
34	Blanco	57.6	76.2	37.3	81.9	71	127
15	Blanco	57.6	75	38.7	104.8	67.8	130
39	Blanco	57.4	76.2	37.8	111.6	66.7	134
92	Blanco	57.4	76.7	40.3	95.4	73.7	124
5	Blanco	57.3	75.2	38.7	117.9	65.5	138
123	Blanco	57.3	75.4	37.4	86.6	77.9	125
67	Blanco	57.1	77.6	41.2	126.1	77.8	124
26	Blanco	57.1	74.9	38.6	120.1	71.5	135
68	Blanco	57	75.9	39.1	99.7	66.3	131
Promesa	Blanco	55.8	77.5	42	97.2	67.6	128
Gavilán	Blanco	55	79	41.8	86.1	57.9	125
AS722	Blanco	51.6	79	41	60	64.9	116
S. Serdán	Blanco	50.8	77.8	39.6	62.7	45.1	129
DMS		3.54	4.01	3.75	31.41	25.89	7.3
Loc (Pr>F)		0.539	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Var (Pr>F)		<0.0001	0.3619	0.5138	<0.0001	0.0017	<0.0001
Loc*Var (Pr>F)		0.85	0.74	0.79	0.84	0.29	0.81
CV (%)		4.6	3.7	6.7	24	30.3	4.4
Media		54.9	77.2	40.5	90.5	61.4	128.2
Mínimo		50.8	73.7	37.3	32.5	36.6	100
Máximo		60.4	81.2	44.6	127.7	87	144

DIV= digestibilidad *in vitro*; FDN= fibra insoluble en detergente neutro; FDA= fibra insoluble en detergente ácido; MS= materia seca; GS= grano seco; DFF= días al 50% de floración femenina.

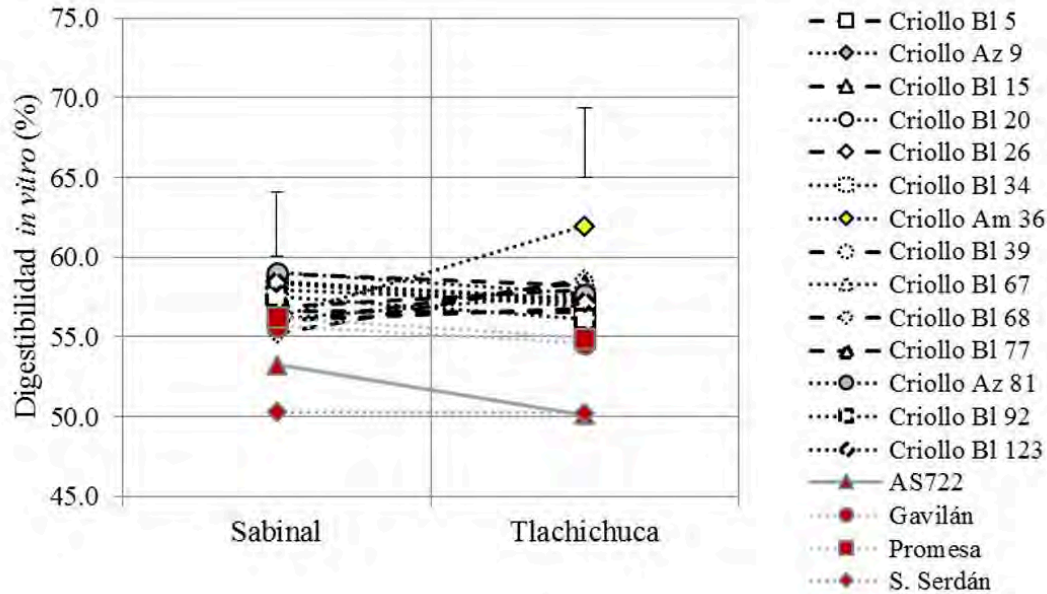
Figura 1. Digestibilidad de la materia seca de hoja de variedades nativas de maíz (10% superior del total ensayado) y variedades comerciales, en dos localidades de la región Libres-Mazapiltepec Huamantla. La línea continua representa a las variedades precoces, la punteada a las intermedias y las guionadas a las tardías. Las dos barras representan la LSD ($\alpha= 0.05$).



En ambas regiones los testigos comerciales tuvieron, en general, menor digestibilidad de hoja que las variedades nativas (Figuras 1 y 2, Cuadros 1 y 2). Se encontraron variedades de color azul y amarillo que fueron igualmente digestibles que las blancas, aunque hubo una predominancia de estas últimas. Asimismo, en cuanto al tiempo de desarrollo de las plantas medido a través de los días al 50% de floración femenina, se encontró representación en el grupo superior de digestibilidad a variedades precoces, intermedias y tardías.



Figura 2. Digestibilidad de la materia seca de hoja de variedades nativas de maíz (10% superior del total ensayado) y variedades comerciales, en dos localidades de la región Serdán-Tlachichuca-Guadalupe Victoria. La línea continua representa a las variedades precoces, la punteada a las intermedias y las guionadas a las tardías. Las barras representan la LSD ($\alpha= 0.05$).



Esta variable se correlacionó negativamente ($p= 0.007$ y 0.003) con la FDN en -0.61 y -0.66 para las regiones L-M-H y S-T-GV, respectivamente; mientras que con la FDA no hubo significancia en la correlación. La digestibilidad se correlacionó positivamente ($p= 0.05$ y 0.02) con la producción de materia seca por planta en 0.45 y 0.43 para las regiones L-M-H y S-T-GV, respectivamente.

Diferencias entre variedades en concentración de FDN sólo se detectaron en la región L-M-H ($p < 0.004$). En ambas regiones hubo un efecto marcado de la localidad ($p < 0.0001$). En Máximo Serdán el promedio general fue 73.2% , mayor al registrado en Buenavista que alcanzó 66.4% . En la región S-T-GV las diferencias entre localidades fueron menores (76.2% en El Sabinal y 78.2% en Tlachichuca) (Figura 3 y 4).



Figura 3. Contenidos de fibra insoluble en detergente neutro de la materia seca de hoja de variedades nativas de maíz (10% superior del total ensayado) y variedades comerciales, en dos localidades de la región Libres-Mazapiltepec-Huamantla. La línea continua representa a las variedades precoces, la punteada a las intermedias y las guionadas a las tardías. Las barras representan la LSD ($\alpha= 0.05$).

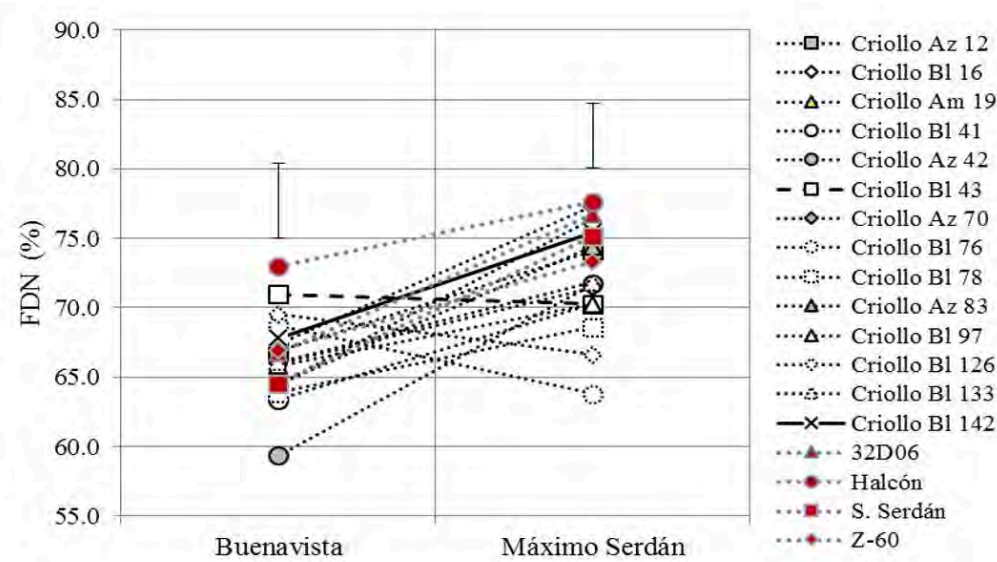
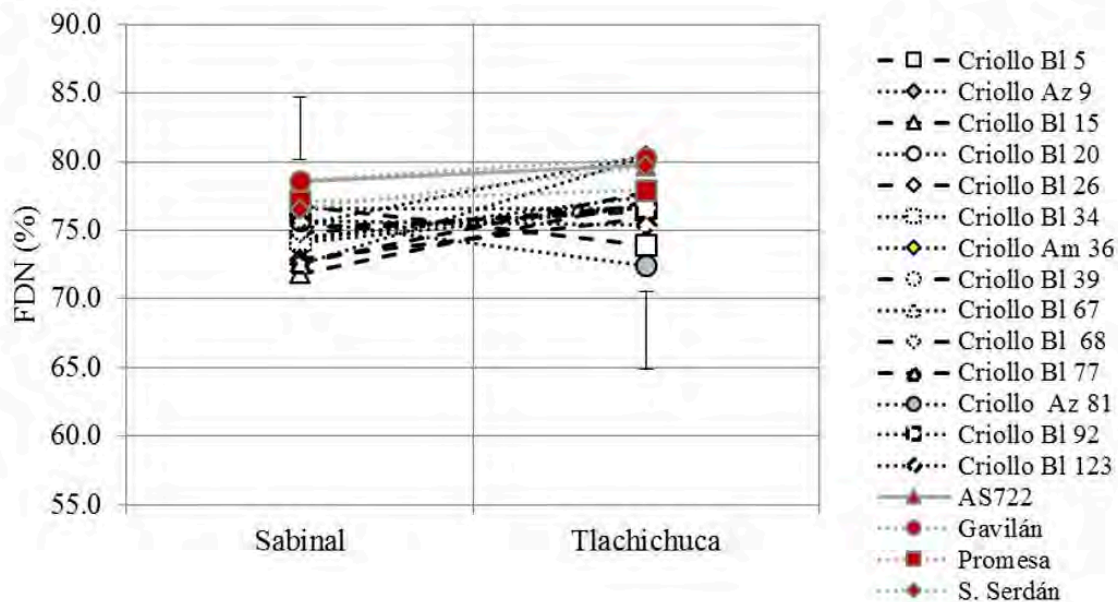


Figura 4. Contenidos de fibra insoluble en detergente neutro de la materia seca de hoja de variedades nativas de maíz (10% superior del total ensayado) y variedades comerciales, en dos localidades de la región Serdán-Tlachichuca-Guadalupe Victoria. La línea continua representa a las variedades precoces, la punteada a intermedias y las guionadas a las tardías. Las barras representan la LSD ($\alpha= 0.05$).



Los testigos comerciales se ubicaron en el grupo de variedades con valores más altos, confirmando su mayor fibrosidad comparados con las variedades locales, principalmente en la región L-M-H. La FDN se correlacionó negativamente ($p= 0.05$) en la región L-M-H a la cantidad

de materia seca producida por planta (-0.46), mientras que en la región S-T-GV se detectó una fuerte tendencia negativa ($p= 0.06$) en -0.44.

En cuanto a la concentración de FDA (Figuras 5 y 6), las variedades fueron diferentes ($p > 0.002$), pero sólo en la región L-M-H, donde el valor promedio general fue de 36.9%, siendo de 33.0% para Buenavista y 40.9% para Máximo Serdán. No ocurrió lo mismo en las localidades de la región S-T-GV en las que se alcanzó un valor promedio de 40.5%. Esta característica fue influenciada por la localidad ($p < 0.0001$) en ambas regiones.

Figura 5. Contenidos de fibra insoluble en detergente ácido de la materia seca de hoja de variedades nativas de maíz (10% superior del total ensayado) y variedades comerciales, en dos localidades de la región Libres-Mazapiltepec-Huamantla. La línea continua representa a las variedades precoces, la punteada a las intermedias y las guionadas a las tardías. Las barras representan la LSD ($\alpha = 0.05$).

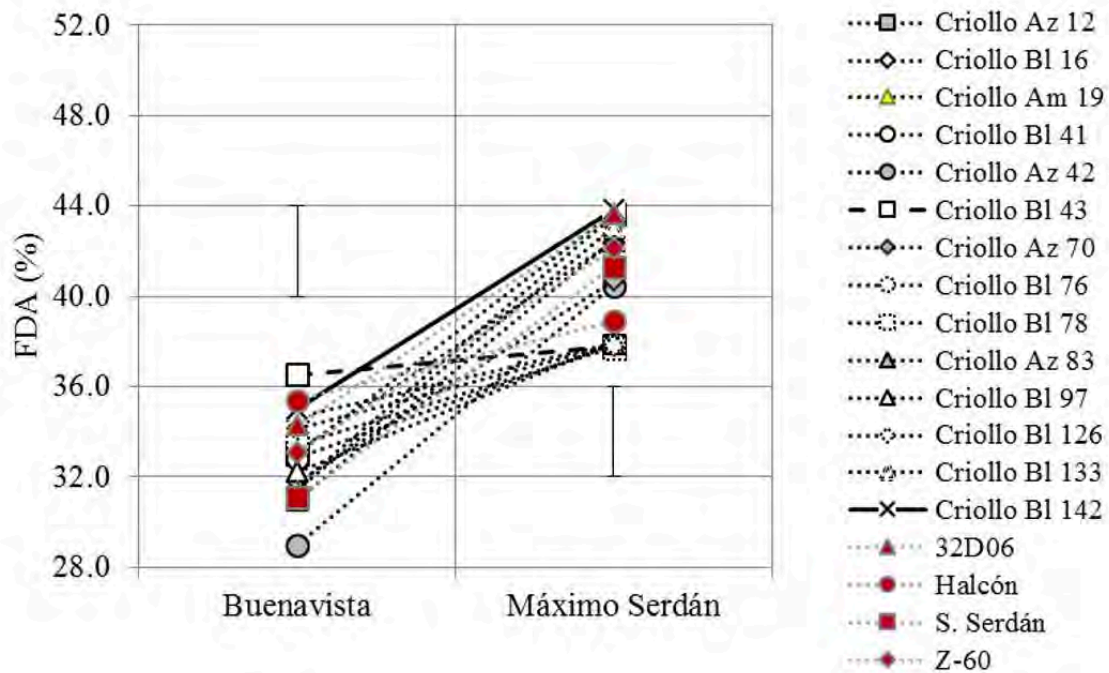
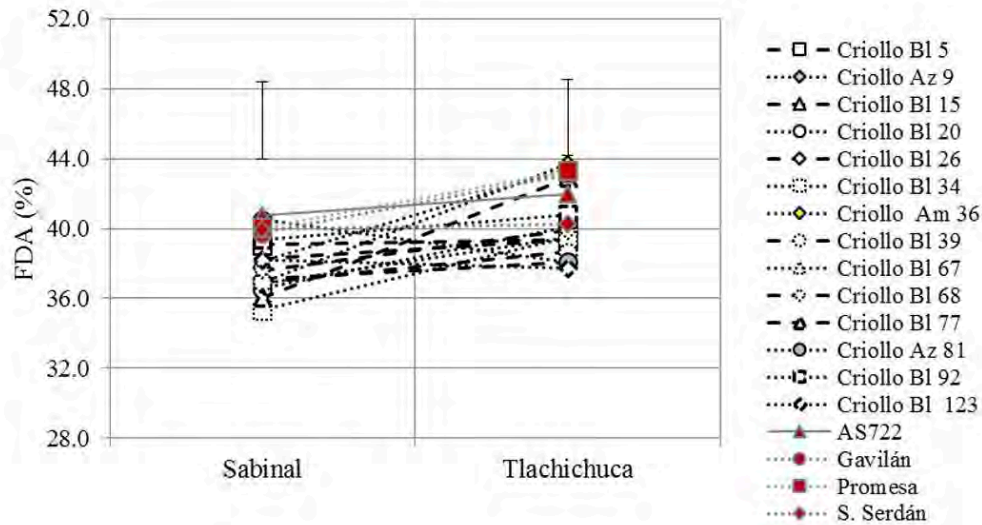


Figura 6. Contenidos de fibra insoluble en detergente ácido de la materia seca de hoja de variedades nativas de maíz (10% superior del total ensayado) y variedades comerciales, en dos localidades de la región Serdán-Tlachichuca-Guadalupe Victoria. La línea continua representa a las variedades precoces, la punteada a las intermedias y las guionadas a las tardías. Las barras representan la LSD ($\alpha= 0.05$).



En los Cuadros 1 y 2 se observan los promedios de 10% de las variedades locales sobresalientes en digestibilidad de hoja, sus fibras y los rendimientos de materia seca, de grano seco y los días a alcanzar el 50% de la floración femenina. En la región L-M-H el intervalo de floración femenina para estos cultivares fue de 25 días, hubo dominancia de cultivares de ciclo intermedio y solo uno fue precoz y uno tardío. En este caso los testigos comerciales presentaron en promedio el mismo ciclo que los cultivares locales sobresalientes.

En producción de materia seca por planta el intervalo fue de 101 g, con dominancia de las variedades locales a tener mayor cantidad de MS, mientras que los testigos comerciales tendieron a tener un promedio bajo (82.5 g planta⁻¹). En cuanto al rendimiento de grano seco por planta el intervalo que se tuvo fue de 46.5 g, con similitud en los promedios entre las variedades locales y los testigos comerciales. En esta región, las variedades locales que mostraron aptitud para la producción de rastrojo y de grano, así como mejor digestibilidad fueron las variedades 41, 78 y 126.

En la región S-T-GV el intervalo de floración femenina para los cultivares locales fue de 22 días, hubo dominancia de cultivares de ciclo intermedio, se presentaron seis tardíos y un precoz (un testigo comercial). En producción de materia seca por planta el intervalo fue de 66 g, con dominancia de las variedades locales a tener mayor cantidad de MS respecto de los testigos comerciales (97.6 vs 76.5 g planta⁻¹).

En cuanto al rendimiento de grano seco por planta, el intervalo que se tuvo fue de 32.8 g, donde los promedios mayores fueron para las variedades locales en relación con los testigos comerciales. En esta región, las variedades locales que mostraron aptitud para la producción de rastrojo y de grano con digestibilidad mayor fueron las variedades 5, 15, 26, 39, 67, 77. La producción de materia seca se correlacionó positivamente a la producción de grano seco y a los días a floración femenina en ambas regiones; para la región L-M-H se tuvo una correlación de 0.58 ($p= 0.01$) y de 0.8 ($p< 0.0001$), mientras que en la región S-T-GV la correlación fue de 0.47 ($p= 0.04$) y de 0.58 ($p= 0.01$), respectivamente.

Discusión

El mejoramiento del maíz en los campos experimentales, generalmente se ha conducido con fines exclusivos de producción de grano o bien para producción de ensilado (Bertoia *et al.*, 2002; Xie *et al.*, 2009; Santiago *et al.*, 2018) y prácticamente nada para la generación de variedades de doble propósito en la que se incluya la producción de rastrojo de mejor calidad. Actualmente, en países como Estados Unidos de Norteamérica se busca mejorar el maíz para doble propósito con fines de producción de etanol celulósico, tratando de encontrar plantas que tengan alta concentración de glucosa en la pared celular, la cual pueda ser liberada, y que tengan baja concentración de lignina (Hansey *et al.*, 2010; Lewis *et al.*, 2010).

En México el maíz es fuente de diversidad amplia y generador de bienestar rural (Polanco y Flores, 2008) el cual se encuentra ligado a la producción pecuaria y al consumo humano. Al ser éste parte fundamental en la alimentación de rumiantes, es altamente probable que los productores tomen en cuenta en la selección de las variedades el qué tan aceptado es el rastrojo por el animal. Los resultados encontrados en las hojas de las variedades locales en lo referente a digestibilidad promedio, oscilaron en el intervalo de diez unidades porcentuales (54.2 a 64.2% en la región L-M-H y de 50.8 a 60.4% en S-T-GV) y difirieron de las variedades comerciales.

Por tanto, se puede considerar que las diferencias encontradas en digestibilidad y concentración de fibras entre las variedades locales respecto de las variedades comerciales se deban a lo que el productor ha seleccionado ciclo tras ciclo en sus variedades manteniendo un rastrojo más suave. Russell (1986) y Methu *et al.* (2001), reportan un intervalo de la digestibilidad *in vitro* de hoja para un híbrido cultivado en varios años de 55.4 a 62.1% y de 52.2 a 58.4%, respectivamente, lo que indica que la digestibilidad de una variedad puede variar año con año de acuerdo a las condiciones climáticas que se presenten.

Lundvall *et al.* (1994), reportaron un intervalo de digestibilidad *in vitro* de hoja de 51.7 a 60.2% en 45 líneas de maíz en las que estuvieron incluidas tres líneas con la característica de nervadura café las cuales sintetizan menos lignina que los genotipos normales, realizando la estimación en una etapa muy cercana a la madurez fisiológica. Valores más bajos de digestibilidad *in vitro* de la hoja de maíz para grano de cuatro híbridos fueron reportados por Gutierrez-Ornelas y Klopfenstein (1991) en un intervalo de 33.5 a 51.1%. Con los resultados del presente estudio, se confirma que existe una variación considerable en digestibilidad entre variedades criollas y se detecta que existe una variación por localidad.

Estos valores de digestibilidad se encuentran en el intervalo reportado inicialmente por otros autores. Buxton (1996) menciona que entre sitios y entre años las variaciones en digestibilidad son comunes, dado que algunos factores ambientales, como la temperatura, pueden variar y eso afectar las concentraciones de fibra, como se logra detectar principalmente en la región L-M-H. Se ha encontrado que pequeños incrementos en digestibilidad *in vitro* se reflejan en incrementos mayores a la magnitud de ésta en las ganancias diarias de peso en el animal (Casler y Vogel, 1999; Krämer-Schmid *et al.*, 2016), de ahí la importancia en seleccionar materiales más digestibles, no dejarlos perder y mejorarlos.

En FDN para hoja, Russell (1986) reportó un intervalo de 56.6 a 61.2%; Lundvall *et al.* (1994), situaron el intervalo entre 51.7-60.2%. Valores más altos fueron reportados por Hansey *et al.* (2010) con promedio de 71.6% de 23 híbridos y Methu *et al.* (2001) de 80.9 a 82.1% también para un híbrido. En 24 variedades criollas de maíz del valle de Toluca, México, Estrada-Flores *et al.* (2006), reportaron un promedio para NDF de la hoja de 71.3%.

Los resultados encontrados para NDF en el presente estudio van de 65.2 a 75.3% en la región L-M-H y de 73.7 a 81.1% en la región S-T-GV, concordando con los resultados de Estrada-Flores *et al.* (2006). De acuerdo con la correlación encontrada con la concentración de FDN y la digestibilidad *in vitro*, los cultivares deben tener diferencias en la composición de la pared celular, principalmente en hemicelulosa. En FDA para hoja el valor promedio que reportaron Hansey *et al.* (2010) fue de 34.6% los de Methu *et al.* (2001) estuvieron en el intervalo de 49.8 a 52%, de igual forma, Gutierrez-Ornelas y Klopfenstein (1991) reportaron un intervalo de 43 a 55.1%, estas

dos últimas investigaciones con valores por arriba de los encontrados en la región L-M-H y S-T-GV (34.3 a 43.1% y 37.3 a 44.6%, respectivamente).

Estrada-Flores *et al.* (2006), reportan un promedio para FDA de la hoja de variedades criollas de 42.4%, concordando con los valores encontrados en la presente investigación. Probablemente, estos resultados contrastan con los de otros autores por diferencias ambientales y porque han trabajado con maíces híbridos que han sido seleccionados para la producción de grano con arquetipos diseñados para soportar altas densidades (Duvick, 2005; Perez *et al.*, 2019). La característica de hojas erectas en los híbridos está relacionada a mayores concentraciones de fibra, pues implica un aumento en la nervadura de la hoja con cambios en el patrón de venación y esclerénquima como lo reporta Ford *et al.* (2018).

Conclusiones

Existe diversidad en las poblaciones locales en cuanto a digestibilidad y concentraciones de fibra en las hojas, diferenciándose de los testigos comerciales que en general fueron más fibrosos y con menor digestibilidad. Entre esta variación en calidad de la materia seca, se encontraron variedades locales que reúnen una producción de rastrojo y grano que supera a los testigos comerciales en las condiciones de temporal. Es por tanto factible partir de estos materiales para comenzar selección combinando la producción de grano, rastrojo y digestibilidad para derivar materiales de doble propósito.

Bibliografía

- 1 ANKOM Technology. 2006. Operator's manual fiber analyzer. Macedon, NY, USA.
- 2 Aya#an, T.; Cetinkaya, N.; Aykanat, S. and Celik, C. 2020. Nutrient contents and *in vitro* digestibility of different parts of corn plant. *S. Afr J Anim Sci.* 50(2):302-309.
- 3 Bertoia, L. M.; Burak, R. and Torrecillas, M. 2002. Identifying inbred lines capable of improving ear and stover yield and quality of superior silage maize hybrids. *Crop Sci.* 42(2):365-372.
- 4 Buxton, D. R. 1996. Quality-related characteristics of forages as influenced by plant environment and agronomic factors. *Anim Feed Sci Tech.* 59(1-3):37-49.
- 5 Clarke, T.; Flinn, P. C. and McGowan, A. A. 1982. Low-cost pepsin-cellulase assays for prediction of digestibility of herbage. *Grass Forage Sci.* 37(2):147-150.
- 6 Casler, M. D and Vogel, K. P. 1999. Accomplishments and impact from breeding for increased forage nutritional value. *Crop Sci.* 39(1):12-20.
- 7 Dhillon, B. S.; Paul, C.; Zimmer, E.; Gurrath, P. A; Klein, D. and Pollmer, W. G. 1990. Variation and covariation in stover digestibility traits in diallel crosses of maize. *Crop Sci.* 30(4):931-936.
- 8 Duvick, D. N. 2005. The contribution of breeding to yield advances in maize (*Zea mays* L.). *Adv. Agron.* 86(1):83-145.
- 9 Estrada-Flores, J. C.; González-Ronquillo, M.; Mould, F. L.; Arriaga-Jordán, C. M. and Castelán-Ortega, O. A. 2006. Chemical composition and fermentation characteristics of grain and different parts of the stover from maize land races harvested at different growing periods in two zones of central Mexico. *Animal Sci.* 82(6):845-852.
- 10 Ford, D.; Cocke, A.; Horton, L.; Fellner, M. and Van, V. E. 2018. Estimation, variation and importance of leaf curvature in *Zea mays* hybrids. *Agr. Forest. Meteorol.* 148(10):1598-1610.
- 11 Gutierrez-Ornelas, E. and Klopfenstein, T. J. 1991. Changes in availability and nutritive value of different corn residue parts as affected by early and late grazing seasons. *J Anim. Sci.* 69(4):1741-1750.

- 12 Hansey, C. N.; Lorenz, A. J. and de Leon, N. 2010. Cell wall composition and ruminant digestibility of various maize tissues across development. *BioEnergy Res.* 3(1):28-37.
- 13 Hansey, C. N. and de Leon N. 2011. Biomass yield and cell wall composition of corn with alternative morphologies planted at variable densities. *Crop Sci.* 51(3):1005-1015.
- 14 INEGI. 2010. Compendio de información geográfica municipal 2010. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- 15 Jones, D. I. H. and Hayward, M. V. 1975. The effect of pepsin pretreatment of herbage on the prediction of dry matter digestibility from solubility in fungal cellulase solutions. *J. Sci. Food Agric.* 26(5):711-718.
- 16 Klein, L. and Baker, S. K. 1993. Composition of the fractions of dry, mature subterranean clover digested *in vivo* and *in vitro*. Ed. Proceedings of the 17 international grasslands congress. Palmerston north, New Zealand. 593-595 pp.
- 17 Krämer-Schmid, M.; Lund, P. and Weisbjerg, M. R. 2016. Importance of NDF digestibility of whole crop maize silage for dry matter intake and milk production in dairy cows. *Anim. Feed Sci. Tech.* 219(1):68-76.
- 18 Lewis, M. F.; Lorenzana, R. E.; Jung, H.-J. G. and Bernardo, R. 2010. Potential for simultaneous improvement of corn grain yield and stover quality for cellulosic ethanol. *Crop Sci.* 50(2):516-523.
- 19 Lorenz, A. J.; Gustafson, T. J.; Coors, J. G. and de Leon, N. 2010. Breeding maize for a bioeconomy: A literature survey examining harvest index and stover yield and their relationship to grain yield. *Crop Sci.* 50(1):1-12.
- 20 Lundvall, J. P.; Buxton, D. R.; Hallauer, A. R. and George, J. R. 1994. Forage quality variation among maize inbreds: *In vitro* digestibility and cell-wall components. *Crop Sci.* 34(6):1672-1678.
- 21 Martínez, G. A. 1989. Manual de diseño y análisis de los Látices. Centro de Estadística y Cálculo, Colegio de Postgraduados. Monografías y Manuales en Estadística y Cómputo. 8(3): 1-14.
- 22 Martínez-Loperena, R.; Castelán-Ortega, O. A.; González-Ronquillo, M. y Estrada-Flores, J. G. 2011. Determinación de la calidad nutritiva, fermentación *in vitro* y metabolitos secundarios en arvenses y rastrojo de maíz utilizados para la alimentación del ganado lechero. *Trop. Subtrop. Agroecosy.* 14(2):525-536.
- 23 Methu, J. N.; Owen, E.; Abate, A. L. and Tanner, J. C. 2001. Botanical and nutritional composition of maize stover, intakes and feed selection by dairy cattle. *Livestock Prod Sci.* 71(2-3):87-96.
- 24 Muñoz-Tlahuiz, F.; Guerrero-Rodríguez, J. D.; López, P. A.; Gil-Muñoz, A.; López-Sánchez, H.; Ortiz-Torres, E.; Hernández-Guzmán, J. A; Taboada-Gaytán, O.; Vargas-López, S. and Valadez-Ramírez, M. 2013. Stover and grain production from maize landraces under rainfed conditions in the highland plateau of Libres-Serdán, Puebla, Mexico. *Rev. Mex. Cienc. Pec.* 4(4):515-530.
- 25 Mutsamba, E. F.; Nyagumbo, I. and Mupangwa, W. 2020. Forage and maize yields in mixed crop-livestock farming systems enhancing forage and maize yields in mixed crop-livestock systems under conservation agriculture in sub humid Zimbabwe. *NJAS-Wageningen J. Life Sci.* 92(10031):1-10.
- 26 Perez, R.; Fournier, C.; Cabrera, B. L.; Artzet, S.; Pradal, C. and Brichet, N. 2019. Changes in the vertical distribution of leaf area enhanced light interception efficiency in maize over generations of selection. *Plant Cell Environ.* 42(7):2105-2119.
- 27 Polanco, J. A. y Flores, M. T. 2008. Bases para una política de innovación de la cadena de valor del maíz. Distrito federal, México: Foro Consultivo Científico y Tecnológico, AC. 11-19 pp.

- 28 Russell, J. R. 1986. Influence of harvest date on the nutritive value and ensiling characteristics of maize. *Anim. Feed Sci. Tech.* 14(1-2):11-27.
- 29 Santiago, L. U.; Rosales, N. C. A.; Santiago, L. E.; Santiago, L. N.; Preciado, R. P.; Palomo, G. A. and Real, D. 2018. Yield of forage, grain and biomass in eight hybrids of maize with different sowing dates and environmental conditions. *Rev. Mex. Cienc. Pec.* 9(1):86-104.
- 30 SAS. 2008. User's guide statistics (version 9.4). Ed. Cary, NC, USA: SAS Institute Inc.
- 31 Undi, M.; Kawonga, K. C. and Musendo, R. M. 2001. Nutritive value of maize stover/pasture legume mixtures as dry season supplementation for sheep. *Small Rumin Res.* 40(3):261-267.
- 32 Xie, H. L.; Ji, H. Q.; Liu, Z. H.; Tian, G. W.; Wang, C. L.; Hu, Y. M. and Tang, J. H. 2009. Genetic basis of nutritional content of stover in maize under low nitrogen conditions. *Euphytica.* 165(3):485-493.





Digestibilidad del rastrojo de variedades locales de maíz en el altiplano Poblano-Tlaxcalteca

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 January 2023
Date accepted: 01 March 2023
Publication date: 15 September 2023
Publication date: August 2023
Volume: 14
Issue: 29 Suppl Especial
Electronic Location Identifier: e3257
DOI: 10.29312/remexca.v14i29.3527

Categories

Subject: Artículo

Palabras clave:

Palabras clave:

maíces criollos

Valles Altos

valor nutritivo

Counts

Figures: 6

Tables: 2

Equations: 0

References: 32

Pages: 0