



MORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION AND PHENOLOGICAL EVALUATION OF TEOCINTLE (*Zea spp.*) ACCESSIONS CULTIVATED IN APAN, MEXICO †

[CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y EVALUACIÓN FENOLÓGICA DE ACCESIONES DE TEOCINTLE (*Zea spp.*) CULTIVADAS EN APAN, MÉXICO]

Teresa Romero-Cortes¹, Víctor Hugo Pérez-España¹, Martín Peralta-Gil¹, José Esteban Aparicio-Burgos¹ and Jaime Alioscha Cuervo-Parra^{1*}

¹ Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Escuela Superior de Apan, Carretera Apan-Calpulalpan, Km 8, Chimalpa Tlalayote s/n, Colonia Chimalpa, Apan, Hidalgo. México. C.P. 43900 Tel (771) 7172000 ext. 5800, 5805. E-mail: jalioscha@gmail.com

* Corresponding author

SUMMARY

Background. Wild teosintle populations represent an important source for the increase of the genetic variability of the native corn of Mexico and Central America. Teosintle plants have a great tolerance to climatic variation and grow in a wide range of altitude; despite this, it is a plant genetic resource that is scarcely valued and therefore little studied. **Objective.** Morphologically characterize and make a phenological evaluation of accessions of Mexican wild teosintle from CIMMYT. **Methodology.** An experimental design of complete random blocks with three repetitions and plots of 4 rows of 2 m long with a separation between rows of 80 cm and a planting density adjusted to a hectare of 15,000 plants was used. **Results.** The Chalco and Mesa Central races of *Zea mays* ssp. *mexicana* were those that demonstrated the best values for the agronomic performance variables studied amongst of all the teosintle treatments evaluated. **Implications.** With the knowledge generated, it will be possible to establish management strategies for wild teosintle populations for commercial purposes. **Conclusion.** Based on the results obtained, the Chalco and Mesa Central races could be considered to increase genetic variability in genetic improvement programs of commercial corn, as food for farm animals and/or humans and in plant germplasm conservation programs.

Key words: Teosintle; *Zea mays* ssp. *mexicana*; *Zea perennis*; *Zea diploperennis*.

RESUMEN

Antecedentes. Las poblaciones silvestres de teocintle representan una fuente importante para el incremento de la variabilidad genética de los maíces nativos de México y Centroamérica. Las plantas de teocintle tienen una gran tolerancia a la variación climática y crecen en un amplio rango de altitud; a pesar de ello, es un recurso fitogenético escasamente valorizado y por ende poco estudiado. **Objetivo.** Caracterizar morfológicamente y hacer una evaluación fenológica de accesiones silvestres de teocintles mexicanos procedentes del CIMMYT. **Metodología.** Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones y parcelas de 4 surcos de 2 m de largo con una separación entre hilera de 80 cm y una densidad de siembra ajustada a una hectárea de 15,000 plantas. **Resultados.** De todos los tratamientos de teocintle evaluados, las razas Chalco y Mesa Central de *Zea mays* ssp. *mexicana* fueron los que mostraron los mejores valores para las variables de desempeño agronómico estudiadas. **Implicaciones.** Con el conocimiento generado, se podrán establecer estrategias de manejo de las poblaciones silvestres de teocintle con fines comerciales. **Conclusión.** En base a los resultados obtenidos se podría considerar a las razas Chalco y Mesa Central para incrementar la variabilidad genética en los programas de mejoramiento genético del maíz comercial, como alimento para animales de granja y/o humano y en programas de conservación de germoplasma vegetal.

Palabras claves: Teocintles; *Zea mays* ssp. *mexicana*; *Zea perennis*; *Zea diploperennis*.

† Submitted December 17, 2021 – Accepted June 27, 2022. <http://doi.org/10.56369/tsaes.4147>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ISSN: 1870-0462.

ORCID = T. Romero-Cortes: 0000-0002-2615-1435; V.H. Pérez España: 0000-0003-2519-8677; M. Peralta-Gil: 0000-0002-1261-6633; J.E. Aparicio-Burgos: 0000-0002-7611-7825; J.A. Cuervo-Parra: 0000-0002-6586-8914

INTRODUCCIÓN

La adaptación del maíz comercial al calentamiento global ha motivado el estudio de sus parientes silvestres, que tienen el potencial de mejorar a los cultivos de maíz (Sánchez *et al.*, 2018). La gran variabilidad genética presente en las poblaciones silvestres de teocintle puede servir para el mejoramiento genético de las líneas de maíz, mediante métodos convencionales (Rosas, 2015; Gutiérrez, 2020). Los teocintles comprenden especies nativas de gramíneas silvestres, altamente emparentadas con el maíz (Benavides-González, 2002). Se encuentran distribuidos en poblaciones aisladas de tamaño variable, desde el sur de Chihuahua hasta Costa Rica; presentando su mayor diversidad en México (CONABIO, 2020a). Donde, las especies que presentan la mayor distribución son *Zea mays* ssp. *mexicana* (Razas: Nobogame, en el estado de Chihuahua; Durango, en el estado de Durango; Mesa Central, en los estados de Guanajuato, Jalisco, y Michoacán; y Chalco, en la Ciudad de México, Estado de México, Puebla y Tlaxcala), y *Zea mays* ssp. *parviglumis* (Raza: Balsas, en los estados de Nayarit, Jalisco, Michoacán, Guerrero y Oaxaca), y como poblaciones endémicas se encuentran como *Zea diploperennis* en el estado de Jalisco, y *Zea perennis* en los estados de Jalisco y Colima (Sánchez y Ordaz, 1987; Sánchez-Ken *et al.*, 2012; CONABIO, 2020a). Adicionalmente, dentro de la sección *Zea* se agrupa la especie *Zea mays* ssp. *huehuetangensis* (Raza: Huehuetenango) y dentro de la sección *Luxuriantes*, se agrupan las especies *Zea luxurians* (Raza: Guatemala), *Zea nicaraguensis* y *Zea vespertilio*, todas ellas distribuidas en Guatemala, Honduras, Nicaragua y Costa Rica (Sánchez y Ordaz, 1987; CONABIO, 2020a). Los teocintles crecen de forma silvestre, como arvenses o ruderales, entre o en los alrededores de los campos de cultivo de maíz (Sánchez y Ruíz, 1996; Vibrans, 2001). Constituyen los ancestros directos a partir de los cuales fue domesticado el maíz por parte de los habitantes de Mesoamérica (Márquez-Sánchez, 2008; CONABIO, 2012).

Después de décadas de estudio, y gracias al aporte de evidencias genéticas (Hugh, 1983), se pudo concluir que el ancestro directo del maíz moderno es el teocintle *Z. mays* ssp. *parviglumis* (McClung, 2013) y el teocintle *Z. mays* ssp. *mexicana* es el mayor contribuyente en la diversificación del maíz contemporáneo (Matsuoka *et al.*, 2002; Doebley, 2004). Otros trabajos, sugieren que el origen del maíz se debe a la participación de varias poblaciones de teocintle, existiendo al menos cuatro centros de origen y domesticación del maíz moderno a lo largo de México y Guatemala (Pandurang, 1930; Miranda, 1966; Kato-Yamakake, 1996; Kato-Yamakake, 2005). De los cuales, el occidente de México (Oaxaca y Chiapas) y las tierras altas de Guatemala es donde se

encuentra el mayor número de razas y donde convergieron los germoplasmas de los complejos Zapalote, Tuxpeño y Tierras Altas de Guatemala y los complejos Zapalote, Tuxpeño, Pepitilla y Mesa Central en el occidente mexicano (Kato-Yamakake *et al.*, 2009; Acosta, 2009; Serratos *et al.*, 2009). Por otro lado, en la costa del Golfo de México, solamente el complejo Tuxpeño, uno de los germoplasmas originales tuvo influencia. Por último, en la Mesa Central y la región norte de México se observa una variación racial intermedia en relación con los dos centros de origen antes descritos (Kato-Yamakake *et al.*, 2009).

Los teocintles están representados por especies anuales y perennes, lo cual les brinda una mayor rusticidad y vigor frente a las condiciones adversas del ambiente (Hugh, 1983; Biggs *et al.*, 2012) como: desecación, pobreza de nitrógeno o de otros nutrientes esenciales como el P, Fe, y K, alcalinidad del suelo (Hugh, 1983), ataque de patógenos de raíces y partes aéreas (Sánchez y Ordaz, 1987). Sin embargo, los teocintles en muchas regiones de México son considerados como malezas y se les combate con herbicidas (Sánchez-Yáñez *et al.*, 1998), y en pocas ocasiones son considerados como forraje para el ganado (Bedoya y Chávez, 2010; Benavides-González *et al.*, 2013). Por ejemplo, *Z. mays* ssp. *parviglumis* como alimento de cerdos y gallinas (Vela, 2011), y *Z. mays* ssp. *mexicana* como forraje para ganado en el estado de Jalisco (Xochicentli AC, 2020), o como alimento gourmet para humanos (Gourmet de México, 2019).

Para incrementar el rendimiento de los cultivos es importante su mejoramiento genético, el conocimiento de la variabilidad fenotípica y genotípica del mismo y de sus parientes silvestres (Bedoya y Chávez, 2010). En este sentido, *Z. mays* ssp. *mexicana* es una fuente importante ya que presenta una distribución nacional (Sánchez-Ken *et al.*, 2012) y da lugar a híbridos fértiles con el maíz (Pandurang, 1930; Sánchez y Ruíz, 1996; Kathen, 1998). Generalmente, alcanzan su etapa de floración entre los meses de agosto y septiembre, y entre los meses de octubre y diciembre las semillas maduras caen al suelo, donde permanecen en latencia hasta el siguiente año (Wilkes, 1993). De las 805 accesiones de teocintle ubicadas en los bancos de germoplasma del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícola y Pecuarias (INIFAP), del US Department of Agriculture - Agricultural Research Service (USDA - ARS), de la Universidad de Guadalajara y del Centro Internacional de Mejoramiento del Maíz y Trigo (CIMMYT), sólo se cuenta con datos parciales de pasaporte y de inventario de algunas accesiones (Bedoya y Chávez, 2010). Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue realizar la caracterización morfológica y evaluación fenológica de accesiones de teocintle nativos de México para determinar un patrón de agrupación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Origen y cultivo de las muestras

Con el propósito de entender mejor las relaciones dentro del género *Zea*, se realizó una parcela experimental preliminar de 2,328 m² (17 m de ancho por 136 m de largo), entre los meses de mayo-octubre del 2018, bajo condiciones de temporal, sin el aporte de ningún tipo de fertilizante, en las instalaciones de la Escuela Superior de Apan (ESAp), de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH), México, donde se evaluó algunas características morfológicas de 68 accesiones de semillas de teocintle, procedentes del Banco de Germoplasma del Centro de Recursos Fitogenéticos Welihausen Anderson, del CIMMYT (CIMMYT, 2020). De las cuales, 65 accesiones correspondieron a *Z. mays* ssp. *mexicana* (51 de la raza

Chalco, 12 de la raza Mesa Central, una de la raza Nobogame y una de la raza Durango), dos a accesiones de *Z. diploperennis* y una accesión de *Z. perennis* (Tabla 1). La parcela se ubicó en las coordenadas 19° 65' 63" latitud Norte, y 98° 52' 00" latitud Oeste, a una altitud de 2488 m, con clima templado subhúmedo, lluvias en verano, una temperatura promedio anual de 14.1°C y 622 mm de promedio anual de precipitación (SEMARNAT, 2013). Donde el tipo de suelo dominante del área de estudio está constituido por: durisol y phaeozem (GNN, 2018). Se utilizó un diseño en bloques completamente al azar, con tres repeticiones para cada tratamiento. Por repetición los tratamientos se distribuyeron en dos filas, con un total de 34 tratamientos por fila, dejando un espacio de 1 m de suelo sin sembrar entre filas aledañas, para minimizar la contaminación cruzada entre los tratamientos de la siguiente fila.

Tabla 1. Origen y características generales de las muestras de granos de teocintle.

Numero de accesión	Origen de la muestra	msnm	Especie	Raza
CIMMYTMA 8753	Sin dato	2320	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Chalco
CIMMYTMA 8754	Sin dato	2320	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Chalco
CIMMYTMA 8768	Sin dato	2400	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Chalco
CIMMYTMA 8769	Sin dato	2300	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Chalco
CIMMYTMA 8770	Sin dato	2270	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Chalco
CIMMYTMA 8771	Churintzio Michoacán	1855	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Mesa Central
CIMMYTMA 8772	Sin dato	1900	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Mesa Central
CIMMYTMA 8773	Chalco Estado de México	2255	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Chalco
CIMMYTMA 13531	Miraflores Estado de México	2365	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Chalco
CIMMYTMA 13541	Sin dato	2200	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Chalco
CIMMYTMA 13542	Chalco Estado de México	2247	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Chalco
CIMMYTMA 13547	Copándaro Michoacán	1938	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Mesa Central
CIMMYTMA 13548	Sin dato	1925	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Mesa Central
CIMMYTMA 13549	Sin dato	2000	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Mesa Central
CIMMYTMA 13550	Sin dato	2000	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Mesa Central
CIMMYTMA 13553	Sin dato	2300	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Chalco
CIMMYTMA 13556	Miraflores Estado de México	2200	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Chalco
CIMMYTMA 13557	Guerrero	212	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Mesa Central
CIMMYTMA 13561	Amecameca Estado de México	2484	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Chalco
CIMMYTMA 13562	Los Reyes Estado de México	2271	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Chalco
CIMMYTMA 13564	Amecameca Estado de México	2255	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Chalco
CIMMYTMA 13566	Guadalupe y Calvo Chihuahua	2372	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Nobogame
CIMMYTMA 13568	Chalco Estado de México	2247	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Chalco
CIMMYTMA 13569	Juchitepec Estado de México	2538	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Chalco
CIMMYTMA 13570	Amecameca Estado de México	2255	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Chalco
CIMMYTMA 13571	Sin dato	1950	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Durango

Numero de accesión	Origen de la muestra	msnm	Especie	Raza
CIMMYTMA 13573	Sin dato	1700	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Mesa Central
CIMMYTMA 13574	Cuitzeo Michoacán	1845	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Mesa Central
CIMMYTMA 13576	Ciudad Hidalgo Michoacán	2020	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Mesa Central
CIMMYTMA 13577	Chalco Estado de México	2236	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Chalco
CIMMYTMA 13578	Sin dato	2390	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Chalco
CIMMYTMA 13579	Estado de México	2271	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Chalco
CIMMYTMA 13587	Sin dato	2320	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Mesa Central
CIMMYTMA 14976	Sin dato	2130	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Chalco
CIMMYTMA 14977	Estado de México	2694	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Chalco
CIMMYTMA 14978	Sin dato	1650	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Mesa Central
CIMMYTMA 16790	San Juan Atenco Estado de México	2455	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Chalco
CIMMYTMA 16791	San Juan Atenco Estado de México	2455	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Chalco
CIMMYTMA 16792	San Salvador el Seco Puebla	2373	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Chalco
CIMMYTMA 16793	San Salvador el Seco Puebla	2373	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Chalco
CIMMYTMA 16794	Ocoyoacac Estado de México	2595	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Chalco
CIMMYTMA 16795	Chapultepec Ciudad de México	2583	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Chalco
CIMMYTMA 29059	Cocotitlán Estado de México	2286	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Chalco
CIMMYTMA 29060	Sin dato	2263	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Chalco
CIMMYTMA 29061	Sin dato	2236	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Chalco
CIMMYTMA 29062	Sin dato	2381	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Chalco
CIMMYTMA 29063	Atenco Estado de México	2250	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Chalco
CIMMYTMA 29064	Amecameca Estado de México	2501	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Chalco
CIMMYTMA 29066	Cocotitlán Estado de México	2286	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Chalco
CIMMYTMA 29067	Juchitepec Estado de México	2462	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Chalco
CIMMYTMA 29069	Apayango Estado de México	2440	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Chalco
CIMMYTMA 29070	Sin dato	2400	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Chalco
CIMMYTMA 29071	Sin dato	2253	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Chalco
CIMMYTMA 29072	Xonacatlán Estado de México	2580	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Chalco
CIMMYTMA 29073	Xonacatlán Estado de México	2580	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Chalco
CIMMYTMA 29074	Rayón Estado de México	2623	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Chalco
CIMMYTMA 29075	Calimaya Estado de México	2713	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Chalco
CIMMYTMA 29076	Chapultepec Ciudad de México	2833	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Chalco
CIMMYTMA 29077	Mexicalcingo Estado de México	2722	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Chalco
CIMMYTMA 29078	San Mateo Atenco Estado de México	2574	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Chalco
CIMMYTMA 29079	Sin dato	2570	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Chalco
CIMMYTMA 29786	Sin dato	2210	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Chalco
CIMMYTMA 29787	Sin dato	2227	<i>Zea mays</i> ssp. <i>mexicana</i>	Chalco

Numero de accesión	Origen de la muestra	msnm	Especie	Raza
CIMMYTMA 9476	Las joyas Sierra de Manantlán Jalisco	1485	<i>Zea diploperennis</i>	-----
CIMMYTMA 8751	Estado de México	2400	<i>Zea mays ssp. mexicana</i>	Chalco
CIMMYTMA 29065	Miraflores Estado de México	2340	<i>Zea mays ssp. mexicana</i>	Chalco
CIMMYTMA 29739	Sin dato	1380	<i>Zea perennis</i>	-----
CIMMYTMA 10003	Las joyas Sierra de Manantlán Jalisco	1900	<i>Zea diploperennis</i>	-----

Las características de cada tratamiento experimental, dentro de cada fila, consistió de 4 hileras de 2 m de largo, con una separación entre hilera de 0.8 m (Figura 1). Se sembró una semilla cada 66 cm, lo que representó una densidad de población de 15,000 plantas/ha. Por tratamiento y repetición se utilizaron 18 plantas, donde cada tratamiento experimental útil consistió de las dos hileras centrales, con un número máximo de 6 plantas de teocintle, para evitar la contaminación cruzada y el efecto de borde (Castro *et al.*, 2013).

Con base en los resultados obtenidos para las características morfológicas evaluadas en las 18

plantas por repetición y tratamiento, en la fase preliminar del experimento de campo, se observó que no existió diferencias significativas para de la mayoría de las accesiones de las razas Chalco y Mesa Central, dentro de *Z. mays ssp. mexicana* y para las dos accesiones de *Z. diploperennis* (datos no mostrados). Por lo cual, para esas razas de *Z. mays ssp. mexicana* y *Z. diploperennis*, se utilizó una mezcla representativa de semillas. Derivado de los resultados obtenidos del experimento de campo preliminar, se generó un diseño experimental para evaluar las variables de crecimiento y rendimiento de las cuatro razas de *Z. mays ssp. mexicana*, *Z. perennis* y *Z. diploperennis*, durante el ciclo de cultivo 2019 (Tabla 2).

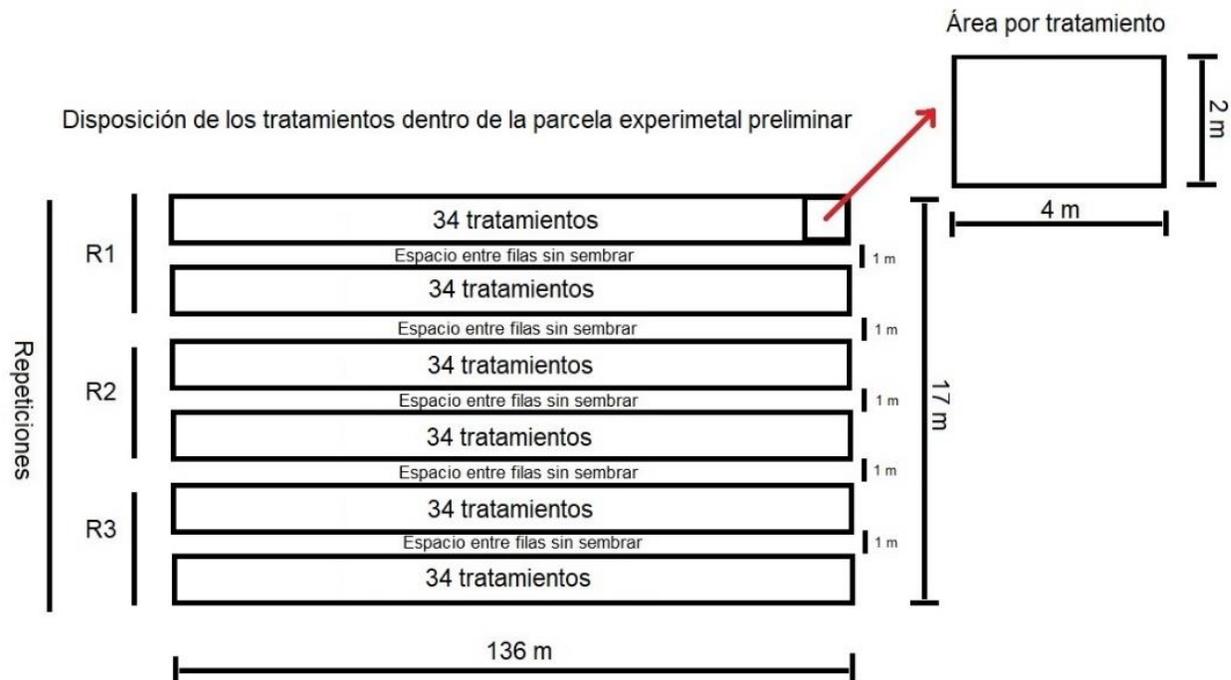


Figura 1. Disposición de los tratamientos dentro de la parcela experimental preliminar.

Tabla 2. Tratamientos de plantas de teocintle utilizados para evaluar las variables morfológicas de crecimiento y rendimiento en el experimento de campo.

Clave	Tratamientos
T1	<i>Z. mays</i> ssp. <i>mexicana</i> /raza Chalco
T2	<i>Z. mays</i> ssp. <i>mexicana</i> /raza Mesa Central
T3	<i>Z. mays</i> ssp. <i>mexicana</i> /raza Nobogame
T4	<i>Z. mays</i> ssp. <i>mexicana</i> /raza Durango
T5	<i>Z. perennis</i>
T6	<i>Z. diploperennis</i>

Diseño experimental

El área total de la parcela experimental fue de 192 m² (8 m de ancho por 24 m de largo) durante el año 2019, bajo condiciones de temporal, sin el aporte de fertilizantes químicos, en las instalaciones de la ESAP-UAEH, México. En las coordenadas 19° 65' 49" Norte y 98° 51' 90" Oeste, a una altitud de 2488 msnm, con clima templado subhúmedo, con lluvias en verano, una temperatura promedio anual de 14.1°C y 622 mm de promedio anual de precipitación (SEMARNAT, 2013). Donde todos los tratamientos se distribuyeron dentro de la parcela mediante un diseño experimental en bloques completamente al azar, con tres repeticiones. Dejando un espacio de 1 m de suelo sin

sembrar entre filas, para minimizar la contaminación cruzada entre tratamientos. Las características de cada tratamiento experimental, dentro de cada fila, consistió de 4 surcos de 2 m de largo, con una separación entre hilera de 0.8 m (Figura 2). Por hilera, se sembró tres semillas cada 66 cm, lo que represento un total de 9 semillas por hilera. Posteriormente, a los 30 días de crecimiento vegetativo, se aclareo a una planta por punto de siembra, dejando la planta más vigorosa, para realizar la caracterización morfológica de las plantas, mazorcas y semillas. Por tratamiento y repetición se utilizaron 36 plantas, de las cuales cada tratamiento experimental útil consistió de los dos surcos centrales, para evitar la contaminación cruzada y el efecto borde (Castro *et al.*, 2013), considerando un número máximo de 18 plantas por tratamiento y repeticiones. El laboreo del terreno consistió en un barbecho y una cruz. La temporalidad en la que se llevó a cabo la siembra en la parcela experimental fue en el periodo de tiempo comprendido entre los meses de mayo-octubre del 2019 (SMN, 2010). Todos los tratamientos experimentales fueron manejados de la misma forma durante el ciclo de cultivo de 6 meses. Después de ese periodo de tiempo, se midió las variables de crecimiento y rendimiento de las 18 plantas consideradas en las tres repeticiones de cada tratamiento.

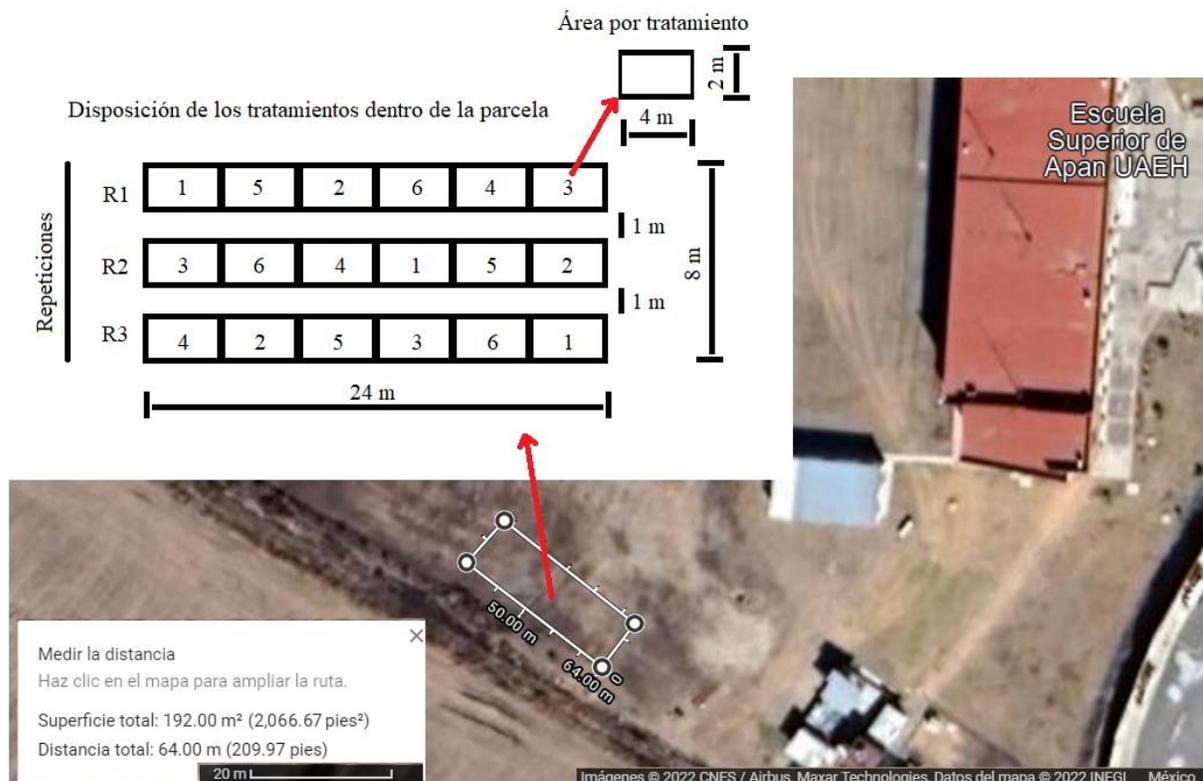


Figura 2. Mapa de la ubicación y disposición de los tratamientos dentro de la parcela experimental conducida en el año 2019 (Google Maps, 2022).

Definición de variables

En esta investigación, se determinó las características de crecimiento y rendimiento de las plantas de teocintle mediante un diseño experimental de bloques completamente al azar, con tres repeticiones. Las características de crecimiento y rendimiento durante las diferentes etapas de desarrollo de las plantas de teocintle, se definieron como los parámetros necesarios para poder observar los cambios en la variable de tiempo en el crecimiento. Para esto, se analizaron dos etapas de desarrollo; la etapa de desarrollo vegetativo, entre los 90 y 120 días, y la etapa de maduración, entre los 150-180 días (Wilkes, 1993; Mondragón *et al.*, 2009).

Variable independiente

Para el tiempo, se planteó desde el momento en el cual las semillas de teocintle fueron sembradas en la parcela experimental en el mes de mayo, hasta el momento de la cosecha de las semillas producidas por las plantas evaluadas, al final del ciclo de cultivo en el mes de octubre (180 días).

Variables dependientes del crecimiento y rendimiento

En la etapa de desarrollo vegetativo, se midió la altura máxima de la planta hasta el ápice de la espiga, la presencia de hijos adyacentes al tallo principal y el diámetro del tallo principal medido a una altura de 10 cm de crecimiento desde el suelo. Durante la etapa de maduración, se cuantificó el número de mazorcas por segmento de crecimiento, el número total de mazorcas por planta, el número total de granos por mazorca y planta. La medición y el peso del grano se obtuvo a partir de una muestra de 100 granos tomados al azar. El largo y ancho del grano (mm) se calculó con un vernier (Marca PRETUL) tomando la medida de 100 granos, y el peso (g) se determinó en una balanza analítica (Marca Ohaus) con 100 granos tomados al azar. Todas las mediciones realizadas a los 100 granos de teocintle, se realizaron por triplicado. Con los datos obtenidos del número total de granos por mazorca y planta se calculó el rendimiento ajustado al 12% H₂O por parcela experimental, mediante el factor de conversión del área cosechada con respecto a una hectárea (0.88), expresado en kg/ha (Verhulst *et al.*, 2012).

Análisis estadístico

Los análisis para calcular las variables de crecimiento y rendimiento durante las etapas de desarrollo vegetativo y maduración, de las plantas de teocintle de los seis tratamientos evaluados, se realizó durante los meses de julio-agosto y septiembre-octubre, respectivamente. Los resultados se compararon

utilizando un diseño completamente al azar con tres repeticiones. Previo al análisis de varianza, se confirmó la homogeneidad de la varianza para el conjunto de datos, mediante la utilización de la prueba de Bartlett. La información obtenida a partir de los datos de las variables de crecimiento y rendimiento, fue sometida a un análisis de varianza mediante el procedimiento GLM del SAS (SAS, 2010) con base en la distribución de Poisson. La comparación de medias, se realizó por la prueba Tukey HSD, con una diferencia significativa de ($P \leq 0.05$). Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software SAS, versión 9.4 (SAS, 2010).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Altura de la planta

Bajo condiciones naturales, los teocintles comienzan su crecimiento con las primeras lluvias del verano durante el mes de junio (Mondragón *et al.*, 2009). La altura es un parámetro importante porque indica la velocidad de crecimiento de una planta, debido al crecimiento del tallo durante la fotosíntesis por la acumulación de nutrientes en su interior (Rivas y Mairena, 2008). Al respecto, las plantas de teocintle suelen tener tallos erectos ramificados que pueden llegar a alcanzar alturas de entre dos y seis metros (Kato-Yamakake *et al.*, 2009; Vela, 2011; Morán, 2012), dependiendo de la especie y condiciones ambientales, así como la competencia con malezas presentes en la región donde se desarrollen (Benavides-González, 2002). En este sentido, para la variable de altura de planta, en las plantas de teocintle sembradas en este experimento, se observaron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados (Tabla 3). Observándose los valores promedio más altos de 171.66 a 176.72 cm para las plantas de *Z. mays* ssp. *mexicana* razas Chalco y Mesa Central, respectivamente. Estos resultados fueron estadísticamente similares entre sí, y son consistentes con los datos reportados previamente por Sánchez (2011) para las mismas razas, con valores que van desde 100 hasta 215 cm de altura. En otro trabajo realizado con las mismas razas de teocintle, se reporta una variación de 65 a 300 cm de altura (Sánchez, 2015). Datos que son semejantes a los valores reportados por varios autores para los maíces híbridos (SB-104 Audaz, SB-Formidable, SBA-470 Conquistador, Gacela H72 y H-52) evaluados para los valles altos del centro de México bajo condiciones de temporal y riego (Avila *et al.*, 2009; Arellano *et al.*, 2018; Semillas Berentsen, 2022).

Por su parte, las plantas de *Z. perennis* y *Z. diploperennis* de los tratamientos T5 y T6, obtuvieron valores promedio de 110.33 y 137.83 cm, los cuales fueron significativamente diferentes entre sí, y son consistentes con un estudio comparativo entre poblaciones

Tabla 3. Características fenológicas y morfológicas promedio de las plantas de teocintle consideradas en el trabajo.

Clave	No. de hijos por planta* (± **ESM)	Diámetro del tallo* (cm) (± **ESM)	No. de mazorcas por segmento* (± **ESM)	Altura de planta* (cm) (± **ESM)	Total de mazorcas por planta* (± **ESM)	Granos por mazorca* (± **ESM)
T1	0.00 ^a (0.00)	1.31 ^d (0.15)	4.74 ^c (0.71)	176.72 ^e (29.00)	45.14 ^c (7.87)	7.40 ^a (0.27)
T2	0.00 ^a (0.00)	1.23 ^d (0.18)	4.47 ^c (0.93)	171.66 ^e (22.94)	45.64 ^c (9.06)	7.37 ^a (0.17)
T3	0.00 ^a (0.00)	1.13 ^d (0.05)	4.66 ^c (0.58)	93.00 ^a (1.00)	17.66 ^{ab} (1.53)	7.21 ^a (0.22)
T4	0.00 ^a (0.00)	0.53 ^a (0.05)	2.33 ^a (0.58)	99.00 ^b (1.00)	19.00 ^b (1.00)	7.51 ^a (0.12)
T5	17.66 ^b (0.57)	0.63 ^b (0.02)	3.00 ^{ab} (0.00)	110.33 ^c (0.58)	16.00 ^a (1.00)	7.92 ^{ab} (0.15)
T6	15.33 ^c (0.57)	0.91 ^c (0.02)	2.67 ^{ab} (0.47)	137.83 ^d (3.54)	21.00 ^b (1.41)	7.06 ^a (0.77)

* Las medias dentro de la misma columna con las mismas letras no difieren significativamente ($P \leq 0.05$); ** Error estándar de la media.

de las mismas especies de México, Guatemala y Nicaragua, conducido por Torres *et al.* (2015). En otro estudio, de Castillo (2017) reportan plantas de *Z. diploperennis* con alturas que oscilan entre 100 y 250 cm, con hojas de 40 a 80 cm de largo y de 4 a 5 cm de ancho. En otro trabajo, donde se caracterizó *ex situ* una población de teocintle anual (*Zea nicaraguensis* Ilts & Benz), recolectadas en el norte de Chinandega, Nicaragua, sembradas con y sin malezas, se observó una variación significativa entre la altura de las plantas con tallas de entre 100 y 500 cm, donde las mayores alturas se obtuvieron en las plantas cultivadas sin malezas (Benavides-González, 2002). Por tanto, la ausencia de competencia con las malezas permite a las plantas de teocintle recibir más nutrientes, luz, humedad y espacio, lo que favorece su desarrollo y ahijamiento (Labrada, 2007).

Por otro lado, en los tratamientos T3 y T4, las razas Nobogame y Durango de *Z. mays ssp. mexicana* mostraron diferencias significativas entre sí, obteniendo las alturas más bajas con 93 y 99 cm, respectivamente. Estos datos fueron inferiores a lo que se reporta en la literatura, con alturas de 120 a 180 cm para la raza Nobogame y 170 cm promedio para la raza Durango (Sánchez, 2011). Las alturas de planta, obtenidas en este estudio bajo condiciones experimentales para todos los tratamientos evaluados, fueron inferiores a los reportes citados antes, debido posiblemente a la competencia por nutrientes de las plantas de teocintle con las malezas que crecieron en la parcela ya que el control de estas arvenses en la parcela fue mínimo. Además del uso excesivo de agroquímicos (pesticidas y fertilizantes inorgánicos), la labranza excesiva, la erosión y la pérdida de nutrientes del terreno de cultivo, factores que son el resultado de las malas prácticas agronómicas implementadas en la región de los llanos de Apan (Burke *et al.*, 2019). Donde los factores más limitantes para la obtención de buenos rendimientos, se encuentran la baja fertilidad

del suelo, la dependencia de recursos no renovables como los fertilizantes químicos y la eliminación de los microorganismos propios del suelo, con el consecuente desequilibrio de la estabilidad del suelo, debido a la aplicación excesiva de agroquímicos sintéticos, fungicidas y pesticidas (INIFAP, 2017).

Otros factores que pueden haber influido en las diferencias observadas entre los resultados de este estudio y los datos reportados en la literatura, son las áreas geográficas y climas de procedencia de las accesiones consideradas para los experimentos. Por ejemplo, la raza Durango crece en un clima subtropical semiárido templado, con una precipitación y temperatura media anual de 530.9 mm y 17.5°C en el Valle de Guadiana, del estado de Durango (Sánchez *et al.*, 1998; CONAGUA, 2020). Mientras que la raza Nobogame, crece en un clima templado (García, 1973), con una precipitación y temperatura media anual de 1050.9 mm y 12.7°C del Valle de Nabogame y en los márgenes de los ríos Nabogame, Tarahumare y Tejamanil, al sur de Chihuahua (Sánchez y Ordaz, 1987; Sánchez y Ruíz, 1996).

Diámetro del tallo

El tallo de las plantas de teocintle puede variar considerablemente, reportándose plantas con tallos desde 1 hasta 5 cm de diámetro (Vibrans, 2009; Benavides-González, 2002). En las plantas de teocintle consideradas en este estudio, se observó diferencias significativas entre los tratamientos evaluados, para la variable diámetro del tallo (Tabla 3). En las plantas de *Z. mays ssp. mexicana*, los valores promedio más altos para este parámetro se observaron en los tratamientos T1 y T2 para las razas Chalco y Mesa Central con 1.316 y 1.239 cm, respectivamente. Seguido del tratamiento T3, con 1.133 cm de diámetro de tallo para la raza Nobogame. Cabe mencionar que estos tres tratamientos fueron estadísticamente similares entre sí.

Por otro lado, en las plantas de los tratamientos T4, T5 y T6 se observaron diferencias significativas, donde las plantas de *Z. diploperennis* y *Z. perennis* registraron diámetros de tallo de 0.916 y 0.633 cm, respectivamente. Por último, en el tratamiento T4 para la raza Durango, fue donde se obtuvo el valor más bajo de todos los tratamientos considerados en el experimento, con un diámetro de tallo de 0.533 cm. Las variaciones de altura y diámetro de tallo observada entre los tratamientos evaluados, pueden explicarse en parte por las fluctuaciones climáticas de la región de estudio (SMN, 2010). En un estudio donde se sembró plantas de *Z. nicaraguensis*, durante todos los meses del año, con y sin malezas durante todo el ciclo de la planta, se demostró que las características fenológicas de las plantas se vieron afectadas por las fluctuaciones climáticas a lo largo del año (Benavides-González, 2002). Además, otro factor que pudo afectar el desarrollo óptimo de las plantas de teocintle estudiadas, fue las condiciones ambientales a las cuales se encontraban adaptadas las plantas de los seis tratamientos de teocintle evaluados (Tabla 1). Ya que estas proceden de diferentes regiones geográficas y distintas condiciones climáticas, distribuidas en poblaciones aisladas de tamaño variable (Torres *et al.*, 2015).

Número de hijos por planta

En relación con esta variable se observaron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados (Tabla 3). En los tratamientos T1, T2, T3 y T4, de *Z. mays* ssp. *mexicana* no se observó la presencia de hijos

adyacentes al tallo principal de las plantas incluidas en el experimento (Figura 3), siendo, estadísticamente similares los cuatro tratamientos entre sí. Cuando los hijos llegan a estar presentes, en las plantas de *Z. mays* ssp. *mexicana* su número varía desde 1 hasta 15 (Mondragón y López, 2014). Por ejemplo, para plantas de *Z. mays* ssp. *mexicana* raza Chapala, Carrera-Valtierra *et al.* (2012), reportan un promedio de 3.48 hijos. En otro estudio, realizado para establecer las relaciones entre poblaciones de teocintle de México, Guatemala y Nicaragua, se reporta un número de hijos de entre 1 a 3 para las razas Chalco, Durango, Mesa Central y Nobogame (Torres *et al.*, 2015). Resultados similares, se reportan para plantas de *Z. nicaraguensis* cultivadas bajo diferentes esquemas de fertilización, con valores promedio de entre 1.67 y 2.5 hijos por planta (Rivas y Mairena, 2008). Por su parte, para las plantas de los tratamientos T5 y T6, se observaron diferencias significativas para el número de hijos por planta, donde las plantas de *Z. diploperennis* y *Z. perennis* consideradas en este estudio produjeron entre 15.33 y 17.66 hijuelos por planta, respectivamente. Estos datos, coinciden con los valores reportados para *Z. diploperennis*, donde otros autores obtuvieron un número de entre 11 y 22 hijuelos por planta (Castro y Guevara, 2017). Torres *et al.* (2015) reportan un promedio de 14 y 17 hijos por planta para teocintles de *Z. diploperennis* y *Z. perennis* procedentes del estado de Nayarit. Datos que también están dentro de los valores obtenidos para las plantas de teocintle perennes consideradas en los tratamientos T5 y T6 de este estudio.



Figura 3. Plantas de *Zea mays* ssp. *mexicana* creciendo sin la presencia de hijos adyacentes al tallo principal; (a) raza Chalco, (b) raza Mesa Central, y plantas con la presencia de hijos adyacentes al tallo principal; (c) *Z. diploperennis*, y (d) *Z. perennis*.

Mazorcas por segmento del tallo

Para la variable de número de mazorcas por segmento del tallo, se observó diferencias significativas entre los tratamientos evaluados (Tabla 3). Donde las plantas de teocintle de los tratamientos T1, T2 y T3 correspondientes a las razas Chalco, Mesa Central y Nobogame no mostraron diferencias significativas entre sí, con un número promedio de mazorcas por segmento del tallo de 4.74, 4.47 y 4.66, respectivamente (Figura 4). Por su parte, en los tratamientos T4, T5 y T6, la raza Durango y las plantas de *Z. perennis* y *Z. diploperennis*, obtuvieron números inferiores de mazorcas por segmento del tallo, en comparación con los valores obtenidos para las muestras de teocintle de los tratamientos T1, T2 y T3.

El número reportado de mazorcas que se pueden encontrar por segmento del tallo en las plantas de teocintle, de manera general varía desde 1 hasta 15 espigas (Mondragón y López, 2014). Para plantas de *Z. mays* ssp. *mexicana*, razas Chapala y Mesa Central, procedentes del Estado de Michoacán, se reporta un número promedio de mazorcas por nudo de 5.45 y 5.01, respectivamente (Carrera-Valtierra *et al.*, 2012). Valores que son superiores, a los registrados en las plantas de teocintle de los 6 tratamiento evaluadas en este trabajo. Probablemente, como consecuencia de las condiciones climáticas, precipitación acumulada de 788 mm, observada en el año 2019 (SEMARNAT, 2021) en el área de estudio. Así, como la baja fertilidad del suelo, consecuencia de las malas prácticas agrícolas conducidas en la región de los valles altos de Apan (INIFAP, 2017). Lo cual se tradujo en una asimilación deficiente de nutrientes por parte de las plantas de teocintle y repercutió negativamente sobre

el número de mazorcas obtenidas por segmento de tallo.

Número de granos por mazorca

Los análisis realizados para la variable de número de granos por mazorca, no mostro diferencias significativas entre los diferentes tratamientos evaluados (Tabla 3). Donde el promedio de granos producidos por mazorca, en los seis tratamientos fue de entre 7.06 y 7.92 granos. Estos frutos son de forma cilíndrica-trapezoidal, varían de 5 a 11 semillas acomodadas en dos hileras de granos cubiertos por una membrana dura conocida como testa (Vela, 2011; de Castillo, 2017). Miranda (1977) reporta 10.2 a 12.8 semillas por mazorca. Estos datos son superiores a los obtenidos en este trabajo para las plantas de teocintle de la raza Chalco. Por otro lado, Canales y Miranda (1984) para plantas de raza Chalco, reportan promedios de 6.16 y 5.72 semillas por mazorca, para plantas cultivadas, con y sin malezas, respectivamente. En otro estudio, realizado con teocintles de América Central, se registran en promedio valores de entre 6.3 a 6.5 semillas por mazorca (Bird, 1978). Dentro de *Z. mays* ssp. *mexicana*, para los tratamientos T1, T2, T3 y T4, correspondientes a las razas Chalco, Mesa Central, Nobogame y Durango, el promedio de granos por mazorca obtenido en este estudio vario de 7.21 a 7.51, resultados que son inferiores a los reportados por Torres *et al.* (2015) para las mismas razas, con valores que van desde 17.3 hasta 26.7 granos por mazorca. En otro estudio, desarrollado con la raza Chapala, recientemente reportada para la región de la Laguna de Chapala, en el Estado de Michoacán, se reportan mazorcas con una longitud de 7.9 cm y 5.56 granos (Carrera-Valtierra *et al.*, 2012).



Figura 4. Número de mazorcas de *Zea mays* ssp. *mexicana* observadas por nudo del tallo principal; (a) raza Chalco, (b) raza Mesa Central, (c) raza Nobogame, y (d) raza Durango.

Por último, en los tratamientos T5 y T6, las plantas de *Z. perennis* y *Z. diploperennis* produjeron en promedio 7.92 y 7.06 granos por mazorca, respectivamente. En este sentido, las plantas de *Z. diploperennis*, aunque producen un número variable de semillas, este nunca excede las 10 semillas por espiga, caracterizadas por tener un endospermo duro, con el pericarpio de color oscuro cuando alcanzan su madurez fisiológica (Jiménez *et al.*, 2001). Es un hecho que la competencia con otras especies vegetales y la fertilidad del suelo, son factores que influyen de manera considerable en la mayor producción de semillas por parte de un cultivo (Miranda, 1977). Siendo una posible explicación de los resultados obtenidos en este trabajo para el número de semillas por mazorca, ya que en las parcelas experimentales no se realizó un control muy exhaustivo para la remoción de cultivos arvenses que crecieron junto a los teocintles, a lo largo del ciclo de cultivo (Figura 3).

Mazorcas por planta

Las plantas de teocintle, en condiciones de campo, pueden producir desde 1 hasta 302 mazorcas por planta (Mondragón y López, 2014). Al respecto, para esta variable se observaron diferencias significativas entre los tratamientos (Tabla 3). El número total de mazorcas producido, para las plantas de teocintle de los tratamientos T1 y T2, de las razas Chalco y Mesa Central fue de 45.14 y 45.64 mazorcas por planta, siendo estadísticamente similares entre sí. Estos resultados, son superiores a los datos reportados por Miranda (1977) en un estudio realizado con plantas de teocintle de raza Chalco, con y sin malezas, donde se obtuvieron 11.43 y 28.54 mazorcas por planta, respectivamente. En otro estudio, realizado con teocintles de las razas Chapala, Mesa Central y Balsas, procedentes del Estado de Michoacán, se obtuvieron un total de 35.61, 28.73 y 12.94 mazorcas por planta, respectivamente (Carrera-Valtierra *et al.*, 2012). Resultados que son inferiores a los datos obtenidos en este estudio para las plantas del tratamiento T2, de la raza Mesa Central.

Por otro lado, el número total de mazorcas obtenido por las plantas de los tratamientos T3 y T4, correspondientes a las razas Nobogame y Durango, fue considerablemente inferior, logrando entre 17.66 y 19 mazorcas, respectivamente (Tabla 3). En lo que respecta a los tratamientos T5 y T6, las plantas de *Z. perennis* y *Z. diploperennis*, el promedio de mazorcas obtenido también fue bajo, con 16 y 21 mazorcas, respectivamente.

Peso de 100 granos, ancho y largo de grano

En general, para las plantas de teocintle se reporta un peso promedio de 100 semillas de 7.12 g (de Castillo, 2017). Estos resultados son inferiores a los datos obtenidos en este trabajo para la mayoría de las muestras de teocintle consideradas en los seis tratamientos evaluados en este estudio. Donde se puede observar que existieron diferencias significativas entre los tratamientos para la variable de peso de 100 granos (Tabla 4).

Las razas de *Z. mays* ssp. *mexicana*, correspondientes a los tratamientos T1 y T2, Chalco y Mesa Central, el peso promedio de 100 granos fue de 10.83 y 8.40 g. Los valores mínimos y máximos para las mismas razas fueron de 7.9 a 14.29 g y 5.3 a 11.3 g, respectivamente. Estos resultados, son semejantes a los datos reportados por Torres *et al.*, (2015) para las mismas razas de *Z. mays* ssp. *mexicana*. Por otro lado, en los tratamientos T5 y T6, las plantas de *Z. perennis* y *Z. diploperennis*, obtuvieron un peso promedio de 100 semillas de 9.6 y 7.42 g, respectivamente. Al respecto, Torres *et al.* (2015), reportan pesos promedio de 100 semillas de 8.88 y 9.53 g, para plantas de *Z. perennis* y *Z. diploperennis*, valores que son similares a los datos obtenidos en este estudio para las muestras de *Z. perennis*. Sin embargo, los resultados reportados en el mismo estudio para *Z. diploperennis*, son superiores al peso promedio de 100 granos de 7.42 g obtenido en este trabajo para las muestras de *Z. diploperennis*.

Tabla 4. Características promedio de ancho, largo y peso de las muestras de grano de teosintle.

Clave	Ancho* (mm) (± ESM**)	Largo* (mm) (± ESM**)	Peso* (g) (± ESM**)	Total de granos por planta* (± **ESM)
T1	5.23 ^{bc} (0.49)	7.2 ^b (0.52)	10.83 ^{bc} (1.33)	335.43 ^c (63.23)
T2	4.79 ^{bc} (0.48)	6.64 ^{ab} (0.56)	8.40 ^b (1.91)	336.8 ^c (69.7)
T3	3.60 ^{ab} (0.86)	5.39 ^a (0.99)	4.71 ^a (0.04)	127.33 ^a (1.15)
T4	2.80 ^a (0.60)	6.00 ^{ab} (0.78)	6.56 ^b (0.02)	142.67 ^b (3.06)
T5	3.90 ^{ab} (0.59)	7.50 ^b (0.76)	9.60 ^{bc} (0.01)	126.67 ^a (2.08)
T6	3.55 ^b (0.07)	7.05 ^b (0.07)	7.42 ^b (0.28)	147.67 ^b (6.13)

* Los valores dentro de la misma columna con letras diferentes indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$); ** Error estándar de la media, calculada en base a tres repeticiones por muestra, con un total de 100 semillas utilizadas por muestra y repetición.

Por su parte, los valores obtenidos en los tratamientos T3 y T4, por las razas Nobogame y Durango de *Z. mays* ssp. *mexicana*, respecto al peso de 100 granos fue considerablemente inferior a los valores obtenidos en los demás tratamientos de teocintle evaluados, con un peso promedio de 100 granos de 4.71 y 6.56 g, respectivamente. Por último, en relación con la medición del ancho y largo del grano, se observaron diferencias significativas entre los tratamientos de teocintle estudiados (Tabla 4) (Figura 5).

Para el ancho de grano, las razas Chalco y Mesa Central de los tratamientos T1 y T2, registraron los valores promedio más altos (5.23 y 4.79 mm), seguido de las razas Nobogame y *Z. perennis* de los tratamientos T3 y T5 con valores de 3.6 y 3.9 mm, respectivamente. Por otro lado, en los tratamientos T4 y T6, la raza Durango y *Z. diploperennis* obtuvieron valores promedio de 2.8 y 3.55 mm para el ancho de grano, siendo estadísticamente diferentes entre sí. Estos resultados son similares a lo reportado por Guzmán (1982), para *Z. diploperennis* (3 mm) y para *Z. mays* ssp. *mexicana* (4 a 6 mm) razas Chalco y Mesa Central y a la vez son superiores a los valores registrados en los tratamientos T3 y T4 para las razas Nobogame y Durango. En relación con el largo del grano, las mediciones promedio más altas se registraron en los tratamientos T1, T5 y T6, para *Z. mays* ssp. *mexicana* raza Chalco, *Z. perennis* y *Z. diploperennis* con 7.2, 7.5 y 7.05 mm, respectivamente. Siendo estos tres tratamientos estadísticamente similares entre sí (Tabla 4). Estos resultados, están dentro del rango de valores reportados por otros autores para *Z. perennis* de 6 a 10.5 mm para el largo y de 2 a 4 mm para el ancho de grano (Guzmán, 1982; Sánchez, 2011; CONABIO, 2020b). Valores ligeramente inferiores se registraron en los tratamientos T2 y T4 para las razas Mesa Central y Durango. Por último, en el tratamiento T3 la raza Nobogame registro el valor más bajo para el largo del grano con 5.39 mm. En este sentido, Guzmán (1982) para *Z. mays* ssp. *mexicana* reporta un rango de 4 a 6

mm, para el ancho de grano, resultados que son consistentes con los datos antes mencionados para las razas Nobogame y Durango correspondientes a los tratamientos T3 y T4 evaluados en este estudio. En otro trabajo, se reportan un rango de 7.5 a 10.5 mm de largo y de 2 a 3.8 mm de ancho para las semillas de *Z. mays* ssp. *mexicana* (Vibrans, 2009).

Es evidente, la escasez de información disponible en la literatura referente al cálculo de las medidas morfológicas como el ancho y largo del grano de los teocintles, debido posiblemente a que estas plantas la mayoría de las veces son consideradas como malezas (Sánchez-Yáñez *et al.*, 1998). Por tanto, la información generada en este trabajo constituye datos relevantes que pueden ser utilizados en trabajos de mejoramiento genético de maíz comercial mediante la retrocruza con sus parientes silvestres, los teocintles (Rosas, 2015).

Total de granos por planta

A diferencia de las plantas de maíz comercial, los teocintles son capaces de producir 3.3 veces más semillas que una planta de maíz actual (Balbuena *et al.*, 2011), manteniéndose viables en el suelo por varios años (Pardo *et al.*, 2015). En este sentido, en promedio una planta de teocintle puede producir entre 500 y 800 semillas, repartidas en varias mazorcas (Wilkes, 2004), pudiendo llegando a producir hasta 2,829 semillas por planta bajo condiciones favorables (Mondragón y López, 2014). Al realizar el cálculo del número total de granos promedio producidos por las plantas de teocintle, se observaron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados (Tabla 4). Donde los valores más altos se obtuvieron en los tratamientos T2 y T1 para las plantas de las razas Mesa Central y Chalco con un total de 336.80 y 335.43 granos, respectivamente. Seguido por los tratamientos T4 y T6 para la raza Durango y *Z. diploperennis*, que obtuvieron valores promedio de 142.66 y 147.66 granos por planta. Por último, en los tratamientos T3 y T5 la raza Nobogame y *Z. perennis* obtuvieron los valores



Figura 5. Diferencias morfológicas observadas en las semillas de los seis tratamientos de teocintle de México, dentro de *Z. mays* ssp. *mexicana*; (a) raza Chalco, (b) raza Mesa Central, (c) raza Durango, (d) raza Nobogame; (e) *Z. diploperennis*, y (f) *Z. perennis*.

promedio más bajos con un total de 127.33 y 126.66 granos por planta, respectivamente. Estos resultados, fueron inferiores a los datos reportados por Castro y Guevara (2017) para plantas de *Z. diploperennis* procedentes del municipio de Fusagasugá, Cundinamarca, Colombia, donde se reporta un número total de semillas cosechadas de entre 483.77 a 640.85 semillas por planta. Siendo evidente la falta de información al respecto para las especies de teocintles procedentes de México.

Los valores inferiores registrados en este estudio, para la variable del número total de granos por planta, son consecuencia de diversos factores bióticos (competencia con malezas por los nutrientes, plagas y enfermedades) y abióticos (temperaturas elevadas, falta de lluvia durante la etapa reproductiva del cultivo y niveles inferiores a los óptimos de los minerales en el suelo) a los que estuvieron expuestas las plantas de teocintle (Labrada, 2007; Ebel *et al.*, 2017; Rabanal-Atalaya y Medina-Hoyos, 2021; Al-Zubade *et al.*, 2021; SEMARNAT, 2021). Así como los genotipo utilizados y el año de cosecha pudieron haber influido en el uso adecuado de los macronutrientes N, P y K disponibles en el suelo, por parte de las plantas de teocintle (Pepó y Karancsi, 2017).

Rendimiento por parcela experimental útil

Para poblaciones de teocintle que crecieron como maleza junto a cultivos de maíz Sánchez *et al.* (2007), reportan una densidad de población de 63,750 plantas por ha, con un total de 48,368,750 granos producidos. En este estudio, se trabajó con una densidad de población inferior de 15,000 plantas por ha, lográndose obtener entre 0.0363 y 0.011 kg por tratamiento, equivalente a un total de entre 1,494,996.67 y 562,273.08 semillas por ha. Existiendo diferencias significativas entre los tratamientos para las variables de rendimiento de grano ajustado al 12% de H₂O y para el total de semillas por ha (Tabla 5).

Estos resultados son superiores a los datos reportados por Sánchez (2015), para teocintles cultivados en el municipio de Toluca, donde se probaron cinco densidades diferentes de siembra, obteniéndose una densidad máxima de 104,166 plantas por ha cuando se sembró 5 plantas por maceta. En este sentido, los mejores rendimientos ajustados al 12% de H₂O, se obtuvieron para los tratamientos T1 y T2 con las razas Chalco y Mesa Central de *Z. mays* ssp. *mexicana*, con valores promedio de 161.25 y 125.58 kg/ha, respectivamente. Resultados que están directamente relacionados con el número alto de mazorcas por planta registrado para estas razas de teocintle (Tabla 3). De igual forma, estas razas tienen el potencial de producir grandes cantidades de semillas por ha, en base a las estimaciones realizadas en este estudio con valores superiores a un millón de semillas por hectárea.

Tabla 5. Rendimiento promedio obtenido por las plantas de teocintle.

Clave	Rendimiento a	
	12% de H ₂ O* (kg/ha) (± ESM**)	Total de semillas por ha* (± ESM**)
T1	161.25 ^f (0.12)	1,488,916.45 ^c (3,909.94)
T2	125.58 ^e (0.07)	1,494,996.67 ^c (1,801.64)
T3	26.62 ^a (0.03)	565,201.87 ^a (6717.40)
T4	41.54 ^b (0.15)	633,294.68 ^b (891.34)
T5	53.98 ^d (0.11)	562,273.08 ^a (1426.37)
T6	48.64 ^c (0.04)	655,490.17 ^b (496.83)

* Valores con letras diferentes dentro de la misma columna indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$); ** Error estándar de la media, calculada en base a tres repeticiones por muestra.

Por su parte, los rendimientos promedio obtenidos en los tratamientos T3 y T4 por las razas Nobogame y Durango, fueron considerablemente inferiores comparados con los valores obtenidos por las razas Chalco y Mesa Central en los tratamientos T1 y T2. Por último, en los tratamientos T5 y T6 las plantas de *Z. perennis* y *Z. diploperennis* obtuvieron rendimientos promedio ajustados al 12% de H₂O de 53.98 y 48.65 kg/ha. Aunque los rendimientos de grano por ha, reportados en este trabajo para las plantas de teocintle de todos los tratamientos evaluados (Tabla 5), son considerablemente inferiores si los comparamos con los rendimientos obtenidos por el maíz comercial de 2,240 kg/ha para criollos (Briones-Reyes *et al.*, 2015) y de entre 10,000 a 15,840 kg/ha para maíces híbridos (Arellano *et al.*, 2018; Borroel *et al.*, 2018; Martínez-Gutiérrez *et al.*, 2018; BREVANT, 2020). La gran capacidad reproductiva y número elevado de semillas producido por las plantas de teocintle, aseguran la permanencia de sus poblaciones en el campo (Balbuena *et al.*, 2011). Además, dado que los teocintles son capaces de producir hasta 337% más granos que el maíz (Sánchez, 2015), así como su mayor rusticidad y vigor frente a condiciones adversas (Biggs *et al.*, 2012) y al ataque de patógenos (Sánchez y Ordaz, 1987), resalta el potencial de estas arvenses para ser utilizadas como alimento para animales de granja y para el hombre.

CONCLUSIÓN

En la evaluación fenológica de las plantas de teocintle consideradas en este estudio, se encontró que las características asociadas al rendimiento, como el número de mazorcas por segmento de tallo, mazorca por plantas, peso de 100 granos, y el número total de granos por planta y hectárea, variaron significativamente entre todas las muestras de teocintle

evaluadas. Destacándose, las razas Chalco y Mesa Central por sus características agronómicas satisfactorias con el potencial para ser utilizadas en los programas de mejoramiento genético del maíz comercial, o para ser utilizadas como alimento para animales de granja y/o el hombre.

Por otro lado, con la información recopilada en este estudio sobre las características morfológicas y fenológicas de los teocintles evaluados, se tendrá el potencial de brindar a los fitomejoradores características agronómicas útiles de estas subespecies del género *Zea*, mismas que pueden ser de utilidad para el mejoramiento del maíz comercial. Así como, para poder establecer estrategias que ayuden a proteger estas subespecies silvestres del género *Zea*, ya que en muchas regiones sus poblaciones podrían llegar a estar en peligro de extinción o en la categoría de vulnerables (CONABIO, 2020c), debido a varios factores como el cambio de uso del suelo y/o por ser consideradas como malezas que compiten por nutrientes y espacio con el maíz comercial. Donde la especie *Z. luxurians* fue catalogada como en riesgo de extinción con la categoría vulnerable (VU), *Z. diploperennis*, *Z. mays* ssp. *huehuetenanguensis*, *Z. perennis* y *Z. mays* ssp. *mexicana* raza Durango corresponden a la categoría amenazada (EN); y finalmente *Z. mays* ssp. *mexicana* raza Nobogame se clasificó como en peligro crítico (CR), las demás especies del grupo son de baja preocupación (CONABIO, 2021).

Acknowledgments

The authors thank the Escuela Superior de Apan, of the Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH), for its support in providing the facilities to carry out the field and laboratory experiments. Also, we appreciate the support of the staff of the genetic resources program of MasAgro Biodiversity, and the Germplasm Bank of the Welihausen Anderson Phylogenetic Resources Center, both of the International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT), for the packaging and shipment of the 68 teosinte accessions used in this research for the preliminary experimental plot, from which the seeds that were used in the field experiment conducted in the 2019 cycle were obtained.

Funding. This research received no external funding.

Conflict of interest statement. The authors declare that they have no conflict of interest in relation to the collection, analysis or interpretation of data; as well as in the writing of the manuscript or in the decision to publish the results.

Compliance with ethical standards. The authors declare that the article is original, and has not been previously published, nor has it been submitted to another journal.

Data availability. The data on the stage of vegetative development and maturation, of the 68 teosinte accessions, from which the seeds used in the field experiment conducted in the 2019 cycle, shown in this research are available from the corresponding author (jalioscha@gmail.com), with upon request.

Author contribution statement (CRediT). **J. A. Cuervo-Parra** – Conceptualization, funding acquisition, formal analysis and writing original draft., **T. Romero-Cortes** – Conceptualization, supervision, formal analysis, writing- review & editing., **V. H. Pérez-España** – Formal analysis, writing- review & editing., **M. Peralta-Gil** – Formal analysis, writing- review & editing., **J. E. Aparicio-Burgos** – Data curation, writing- review & editing.

REFERENCIAS

- Acosta, R., 2009. El cultivo del maíz, su origen y clasificación. El maíz en Cuba. *Cultivos Tropicales*, 30(2), pp. 113-120. <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v30n2/ctr160209.pdf>
- Al-Zubade, A., Phillips, T., Williams, A.M., Jacobsen, K. and Van Sanford, D., 2021. Impact of nitrogen rate in conventional and organic production systems on yield and bread baking quality of soft red winter wheat. *Agronomy*, 11, pp. 1683. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11091683>
- Arellano, V.J.L., Virgen, V.J. and Rojas, M.I., 2018. Gacela H72: híbrido de maíz precoz para áreas de temporal y riego del altiplano central de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(6), pp. 1303-1310. <http://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/1590/1544>
- Avila, P.M.A., Arellano, V.J.L., Virgen, V.J. and Gámez, V.A.J. 2009. H-52 híbrido de maíz para valles altos de la mesa central de México. *Agricultura Técnica en México*, 35(2), pp. 237-240. <http://www.scielo.org.mx/pdf/agritm/v35n2/v35n2a12.pdf>
- Balbuena, M.A., Rosales, R.E., Valencia, H.J.C., González, H.A., Pérez, L.D.J., Sánchez, N.S., Franco, M.A.L. and Vences, C.C., 2011. Competencia entre maíz y teocintle: efecto en el rendimiento y sus componentes. *Centro Agrícola*, 38(1), pp. 5-12. <https://biblat.unam.mx/hevila/Centroagricola/2011/vol38/no1/1.pdf>

- Bedoya, A.C., and Chávez, T.V.H., 2010. Teocintle: El ancestro del maíz. *Claridades Agropecuarias*. 201, pp. 32-42.
- Benavides-González, A., Morán-Centeno, J., Cisne-Contreras, J., García-Mendieta, D., Martínez, C.D., Rocha, M.L. and Mendieta-Araica, B., 2013. Potencial forrajero del teocintle anual (*Zea nicaraguensis* Iltis & Benz). *La Calera*, 12(19), pp. 81-85. DOI: <https://doi.org/10.5377/calera.v12i19.1181>
- Benavides-González, A., 2002. Caracterización y evaluación *ex situ* de una población de teocintle anual (*Zea nicaraguensis* Iltis & Benz) recolectada en el norte de Chinandega, Nicaragua. *La Calera*, 2(2), pp. 6-13. <https://165.98.16.24/index.php/CALERA/article/view/22/22>
- Biggs, A., Whitney H.W., Holliday, G.W., Kapicka, L.C., Lundgren, L., Mackenzie, H.A., Rogers, D.W., Sewer, B. M. and Zike, D., 2012. *Biología*. Primera Edición en español, Impreso en China, Glencoe/McGraw-Hill.
- Bird, R.M., 1978. A name change for central American teosintle. *Taxon*, 27(4), pp. 361-363. DOI: <https://doi.org/10.2307/1220377>
- BREVANT, 2020. Folleto2020-Valles Altos-v16-Baja. Brevant@Semillas, <https://www.brevant.mx> (27 de mayo de 2022).
- Briones-Reyes, D., Castillo-González, F., Chávez-Servia, J.L., Aguilar-Rincón, V.H., García de Alba, C.L. and Ramírez-Hernández, A., 2015. Respuesta del maíz nativo del altiplano mexicano a pudrición de mazorca, bajo infección natural. *Agronomía Mesoamericana*, 26(1), pp. 75-85. DOI: <http://dx.doi.org/10.15517/am.v26i1.16922>
- Borroel, G.V.J., Salas, P.L., Ramírez, A.M.G., López, M.J.D. and Luna, A.J., 2018. Yield and production components in maize hybrids in the Comarca Lagunera. *Terra Latinoamericana*, 36(4), pp. 423-429. DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v36i4.281>
- Burke, W.J., Frossard, E., Kabwe, S. and Jayne, T.S., 2019. Understanding fertilizer adoption and effectiveness on maize in Zambia. *Food Policy*, 86(2019), pp. 101721. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2019.05.004>
- Canales, S.M.C. and Miranda, C.S., 1984. Algunos cambios ocurridos en el maíz (*Zea mays* L.) bajo domesticación. *Agrociencia*, 58, pp. 165-176.
- Carrera-Valtierra, J.A., Ron, P.J., Jiménez, C.A.A., Morales, R.M.M., Miranda, M.R., Sahagún, C.L. and Díaz, V.T.J., 2012. Razas de teocintle en Michoacán, Su origen, distribución y caracterización morfológica. Edo. de México, México, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Texcoco. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/232252/Razas_de_teocintle_en_michoacan.pdf
- Castro, V.R. and Guevara, C.W.A., 2017. Evaluación de la adaptación en campo del teosintle perenne (*Zea diploperennis* Iltis, Doebley & Guzmán) en la vereda Bosachoque (Fusagasugá, Cundinamarca). Tesis de Licenciatura en Agronomía. Fusagasugá, Colombia, Universidad de Cundinamarca, Facultad de Ciencias Agropecuarias.
- Castro, A.R., Morejón, R.R., Díaz, S.S.H. and Álvarez, E.G., 2013. Efecto de borde y la validez de los muestreos en el cultivo del arroz. *Cultivos Tropicales*, 34(2), pp. 70-75. <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v34n2/ctr11213.pdf>
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), 2020. GRIN-Global, CIMMYT-Maize Germplasm Bank. Passport data. Search Accessions GRIN-Global Software, versión 2.0.4.0. CIMMYT, Estado de México, México. <https://mgb.cimmyt.org/gringlobal/search> (23 de agosto de 2021).
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), 2021, Proyecto Salvaguardar a los parientes silvestres de cultivos mesoamericanos. Ciudad de México, México. <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/proyectos/psmesoamerica> (28 de mayo de 2022).
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), 2020a. Teocintles. CONABIO, Ciudad de México, México. <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices/teocintles> (7 de junio de 2021).

- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), 2020b. *Zea Perennis*. CONABIO, CDMX, México. <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices/teocintles/luxuriantes/zea-perennis> (24 de mayo de 2021).
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), 2020c. Programa de monitoreo de teocintles. CONABIO, Ciudad de México, México. <https://www.biodiversidad.gob.mx/genes/monitoreo-teocintles> (27 de mayo de 2022).
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), 2012. Teocintle. Biodiversidad mexicana. CONABIO, CDMX, México. <https://www.biodiversidad.gob.mx/usuarios/maices/teocintle2012.html> (19 de mayo de 2021).
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), 2020. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Valle del Guadiana (1003), Estado de Durango. Ciudad de México, México, Subdirección General Técnica, Gerencia de Aguas Subterráneas. https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/durango/DR_1023.pdf
- de Castillo, A., 2017. *Zea*, la planta misteriosa que dio origen a la reserva. MILENIO. <https://www.milenio.com/estados/zea-la-planta-misteriosa-que-dio-origen-a-la-reserva> (5 de abril de 2021).
- Doebley, J.F., 2004. The genetics of maize evolution. *Annual Review of Genetics*, 38, pp. 37-59. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.genet.38.072902.092425>
- Ebel, R., Pozas, C.J.G., Soria, M.F. and Cruz, G.J. 2017. Manejo orgánico de la milpa: Rendimientos de maíz, frijol y calabaza en monocultivo y policultivo. *Terra Latinoamericana* 35, pp. 149-160. <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v35n2/2395-8030-tl-35-02-00149.pdf>
- García, E., 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. UNAM. Instituto de Geografía.
- Gas Natural del Noroeste (GNN), 2018. Resumen ejecutivo, Sistema de transporte de gas natural, Proyecto Apan Municipio de Apan, Hidalgo, México. pp. 12. http://104.209.210.233/gobmx/2018/4to_T/A/73/d/R-09-DMA0314-02-18-DGGPI.pdf (23 de mayo de 2022).
- Google Maps., 2022. "Ubicación de la parcela experimental, Chimalpa, Tlalayote, Apan, Hidalgo, México." maps.google.com (22 de mayo de 2022).
- Gourmet de México., 2019. Maizajo: el teocintle puede ser comestible. <https://gourmetdemexico.com.mx/comida-y-cultura/maizajo-el-teocintle-puede-ser-comestible/> (19 de mayo de 2022).
- Gutiérrez, N., 2020. Jalisco, orgulloso de ser referente mundial de la genética del maíz. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://sader.jalisco.gob.mx/prensa/noticia/3038> (26 de julio de 2021).
- Guzmán, J.R., 1982. El teocintle en Jalisco: su distribución y ecología. Tesis de Licenciatura. Zapopan, Jalisco, México, Universidad de Guadalajara, Escuela de Agricultura, Las Agujas.
- Hugh, L.H., 1983. From teocintle to maize: The Catastrophic sexual transmutation. *Science*, 22, pp. 886-894. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.222.4626.886>
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 2017. Agenda Técnica Agrícola Hidalgo, 5th ed., INIFAP, Ciudad de México, México, pp. 55-79.
- Jiménez, G.R.G., García, M.E. and Peña, O.B., 2001. Producción de forraje *in situ* del teocintle perenne *Zea diploperennis* Iltis, Doebley y Guzmán. *Técnica Pecuaria en México*, 39(2), pp. 153-161. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61339206>
- Kathen, A., 1998. El impacto de la introducción de cultivos transgénicos en la diversidad biológica de los países en desarrollo. Monitor de Biotecnología y Desarrollo (compendio 1995-1997). The Netherlands, University of Amsterdam, Amsterdam.
- Kato-Yamakake, T.A., Mapes, C., Mera, O.L.M., Serratos, H.J.A. and Bye, B.R.A. 2009. Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional

- para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México, México.
- Kato-Yamakake, T.A., 2005. Cómo y dónde se originó el maíz. *Investigación y Ciencia*, 347, pp. 68-75.
<https://www.investigacionyciencia.es/revistas/investigacion-y-ciencia/muerte-aparente-preventiva-403/cmo-y-dnde-se-origin-el-maz-4494>
- Kato-Yamakake, T.A., 1996. Revisión del estudio de la introgresión entre maíz y teocintle. En: Serratos, J.A., Willcox, M.C., Castillo, F. eds. Flujo genético entre maíz criollo, maíz mejorado y teocintle: implicaciones para el maíz transgénico. México, CIMMYT, pp. 48-59.
- Labrada, R., 2007. Recomendaciones para el manejo de malezas. Rome, Italy, Food and Agricultural Organization of the United Nations.
- Márquez-Sánchez, F., 2008. From creole corn varieties (*Zea mays* L.), to transgenic hybrids. I: Germplasm collection and improved cultivars. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 5(2), pp. 155-166.
<http://www.scielo.org.mx/pdf/asd/v5n2/v5n2a3.pdf>
- Martínez-Gutiérrez, A., Zamudio-González, B., Tadeo-Robledo, M., Espinosa-Calderón, A., Cardoso-Galvão, J.C., Vázquez-Carrillo, G. and Turrent-Fernández, A., 2018. Rendimiento de híbridos de maíz grano blanco en cinco localidades de Valles Altos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(7), pp. 1447-1458.
<https://doi.org/10.293112/remexca.v9i7.1357>
- Matsuoka, Y., Vigouroux, Y., Goodman, M., Sanchez, J., Buckler, E. and Doebley, J., 2002. A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99, pp. 6080-6084.
<https://doi.org/10.1073/pnas.052125199>
- McClung, T.E., 2013. El origen de la agricultura. *Arqueología Mexicana*. Vol. XIX, (120), pp. 36-41.
- Miranda, C.S., 1966. Discusión sobre el origen y la evolución del maíz: En: Memoria del 2º Congreso Nacional de Fitogenética. Escuela de Agricultura y Ganadería del ITESM. Monterrey, N. L. pp. 233-252.
- Miranda, C.S., 1977. Evolución de cuatro caracteres del maíz (*Zea mays* L.). *Agrociencia*, 28, pp. 73-88.
- Mondragón, S.L. and López, H.V., 2014. Control del teocintle en el cultivo de maíz, manejo integral. Gobierno del Estado de México, México, Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuicola y Forestal del Estado de México-ICAMEX.
- Mondragón, P.J., Vibrans, H. and Tenorio, L.P., 2009. Poaceae = Gramineae *Zea mays* ssp. *parviglumis* H. H. Iltis & Doebley Huiscatuto. En: Vibrans, H. eds. Malezas de México, CONABIO.
<http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/poaceae/zea-mays-parviglumis/fichas/ficha.htm> (29 de agosto de 2021).
- Morán, C.J.C., 2012. Caracterización morfológica y potencial forrajero del teocintle anual (*Zea nicaraguensis* Iltis & Benz), colectado en la reserva de recursos genéticos de Apacunca, Chinandega, Nicaragua. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Agraria, Facultad de Agronomía, Managua, Nicaragua.
- Pandurang, K., 1930. Nuevas variedades de maíz. Bol. Inv. Núm. 1. Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo, Méx.
- Pardo, G., Fuentes, S., Fernández-Cavada, S., Betrán, E., Cirujeda, A., Marí, A.I., Aibar, J., Zaragoza, C., Perdiguer, A., Llenes, J.M., Montull, J.M. and Taberner, A., 2015. Presencia de teosinte (*Zea* spp.) como mala hierba en los regadíos del valle del Ebro. In: *XV Congreso de la Sociedad Española de Malherbología*. Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural, Sevilla, España. pp. 417-424.
<https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/32654/Presencia%20de%20teosinte.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pepó, P. and Karancsi, G.L. 2017. Effect of fertilization on the NPK uptake of different maize (*Zea mays* L.) genotypes. *Cereal Research Communications*, 45, pp. 699-710.
<https://doi.org/10.1556/0806.45.2017.046>
- Rabanal-Atalaya, M. and Medina-Hoyos, A. 2021. Evaluación del rendimiento, características morfológicas y químicas de variedades del maíz morado (*Zea mays* L.) en la región Cajamarca-Perú. *Terra Latinoamericana* 39,

- pp. e829.
<https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.829>
- Rivas, E.F.J. and Mairena, C.J.A., 2008. Estudio de tratamientos en semillas de teocintle anual de Nicaragua (*Zea nicaraguensis* Iltis & Benz) recolectada en diferentes momentos, comportamiento radicular en dos sustratos en etapa de crecimiento. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Agraria, Facultad de Agronomía, Managua, Nicaragua.
- Rosas, M.O., 2015. Retrocruza maíz-teocintle potencial de aprovechamiento en el mejoramiento genético del maíz (*Zea mays* L.). Tesis de Maestría en Ciencias en Biosistemática y Manejo de Recursos Naturales y Agrícolas. Universidad de Guadalajara. Zapopan, Jalisco, México.
- Sánchez, G.J.J., Ruiz, C.J.A., García, G.M., Ojeda, G.R., Larios, L.C., Holland, J.B., Medrano, R.M. and García, R.G.E., 2018. Ecogeography of teosintle. *PloSONE*, 13(2), pp. e0192676
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192676>
- Sánchez, G.J.J., 2011. Diversidad del maíz y teocintle. Informe preparado para el proyecto global "Recopilación, generación, actualización y análisis de información acerca de la diversidad genética de maíces y sus parientes silvestres en México. México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Sánchez, G.J.J., Kato, Y.T.A., Aguilar, S.M., Hernández, C.J.M., López, R.A. and Ruíz, C.J.A., 1998. Distribución y caracterización del teocintle. Centro de Investigación Regional del Pacífico, Centro-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agropecuarias Pecuarías (INIFAP). Libro Técnico No. 2. Guadalajara, Jalisco.
- Sánchez, G.J.J. and Ruíz, C.J.A., 1996. Distribución del teocintle en México. In: Serratos, J.A., Willcox, M.C., Castillo, F. eds. Memoria del Foro: *Flujo genético entre maíz criollo, maíz mejorado y teocintle, implicaciones para el maíz transgenético*. El Batán, Estado de México, CIMMYT. pp. 20-42.
- Sánchez, G.J.J. and Ordaz, S.J., 1987. Systematic and ecogeographic studies on crop gene pools: 2. El teocintle en México. Distribución y situación de las poblaciones. IBPGR, Rome. https://www.bioversityinternational.org/fileadmin/bioversity/publications/Web_version/266/begin.htm#Contents (5 de abril de 2021).
- Sánchez-Ken, J.G., Zita, P.G.A. and Mendoza, C.M., 2012. Catálogo de las gramíneas malezas nativas e introducidas de México. México, SAGARPA, UNAM, CONACOFI. pp. 376-378.
- Sánchez, N.S., 2015. Biología del teocintle y efectos de la competencia con el maíz. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma del Estado de México, Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. El Cerrillo Piedras Blancas, Municipio de Toluca, México.
- Sánchez, N.S., Balbuena, M.A., Torres, R.A., Peña, S.H. and González, H.A., 2007. Manejo integrado de teocintle en cinco genotipos de maíz en Toluca, Estado de México. En: *Memorias del XXVIII Congreso Nacional de la ASOMECIMA* A. C. Mazatlán, Sinaloa, México. pp.182.
- Sánchez-Yañez, J.M., Sánchez, M.L., Álvarez H.A. and Balandreau, J., 1998. La biota fijadora de N₂ asociada a las raíces de teocintle y maíz en México. Proyecto IIQB-UMSNH-Morelia-México-CONACYT y Universidad Claude Bernard, Ecología Microbiana de suelos, Lyon, Francia, CNRS. pp. 2-10.
- Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), 2021. Precipitación media histórica por entidad federativa (milímetros). <https://n9.cl/h4rll> (24 de junio de 2022).
- Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), 2013. Programa de ordenamiento ecológico de la región de Apan, en los municipios de Tlanalapa, Tepeapulco, Apan, Almoloya y Emiliano Zapata en el estado de Hidalgo. Universidad Autónoma del estado de Morelos. México. pp. 262. <http://201.99.98.88/POETAPAN/Banco%20Mundial%20OET%20Apan/Caracterizaci%C3%B3n.pdf> (9 de agosto de 2021).
- Semillas Berentsen, 2022. Maíces para valles altos de México. <https://semillasberentsen.com.mx/productos/maices/valles> (24 de mayo de 2022).
- Serratos, H.J.A., 2009. El origen y la diversidad del maíz en el continente americano. Universidad Autónoma de la Ciudad de México, Greenpeace México, Ciudad de México, México. pp. 4-23.

- <http://www.funsepa.net/guatemala/docs/el-origen-y-la-diversidad-del.pdf>
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN), 2010. Estación: 00013002 APAN (DGE) Normales Climatológicas 1951-2010. Servicio Meteorológico Nacional (México). Comisión Nacional del Agua (México). <https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=hgo> (4 de abril de 2021).
- Statistic Analysis System (SAS), 2010. SAS-STAT, user's guide, Version 9.4. SAS Institute, Cary, North Carolina, USA. pp. 17-34.
- Torres, P.G., De la Cruz, L.L., Sánchez, G.J.J., Ruíz, C.J.A., Castañeda, N.J.J., Santacruz-Ruvalcaba, F. and Miranda, M.R., 2015. Relaciones entre poblaciones de teocintle (*Zea* spp.) de México, Guatemala y Nicaragua. *Acta Botánica Mexicana*, 111, pp. 17-45. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm111.2015.185>
- Vela, E., 2011. Teocintle (*Zea mays* L. ssp. *parviglumis*). *Arqueología Mexicana*, Edición especial. 38, pp. 50-51.
- Verhulst, N., Sayre, K. and Govaerts, B., 2012. Manual de determinación de rendimiento. México, Ciudad de México, SAGARPA, Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. pp. 27-34.
- Vibrans, H., 2009. Malezas de México. <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/poaceae/zea-mays-mexicana/fichas/ficha.htm> (9 de junio de 2021).
- Vibrans, H., 2001. Maíz y teocintle, hermanos cuates. <http://www.jornada.com.mx/2001/02/12/cien-heike.html> (31 de mayo de 2021).
- Wilkes, H.G., 2004. Corn, strange and marvelous: But is a definitive origin known? In: Smith, C.W., Betran, J., Reinge, E.C.A. eds. *Corn: Origin, History, Technology, and Production*. John Wiley & Sons, Inc. New York. pp. 3-63.
- Wilkes, H.G., 1993. Conservation of maize crop relatives in Guatemala. In: Potter, C.S., Cohen J.I. and Janczewski, D. eds. *Perspectives on biodiversity: case studies of genetic resource conservation and development*. American Association for the Advancement of Science. Washington, D. C. USA. pp. 75-88.
- Xochicentli AC., 2020. Cuando el teocintle se convierte en maleza. Centro Internacional de Mejoramiento del Maíz y Trigo (CIMMYT). <https://idp.cimmyt.org/cuando-el-teocintle-se-convierte-en-maleza/> (19 de mayo de 2022).