



## DIVERSIDAD DEL MAÍZ EN TRES ZONAS GEOMORFOLÓGICAS DE YUCATÁN, MÉXICO †

### [MAIZE DIVERSITY IN THREE GEOMORPHOLOGICAL REGIONS OF YUCATAN, MEXICO]

Elia Ma. Ku-Pech<sup>1</sup>, Javier O. Mijangos-Cortés\*<sup>1</sup>, Ignacio Islas-Flores<sup>2</sup>, Enrique Sauri-Duch<sup>3</sup>, Luis Latournerie-Moreno<sup>4</sup>, Yaritza Rodríguez-Llanes<sup>2</sup> and José Luis Simá-Gómez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. (CICY, A.C.), Unidad de Recursos Naturales, C. 43 No. 130 x 32 y 34, Col. Chuburná de Hidalgo, C.P. 97205, Mérida, Yucatán, México. Email: [eliamariakupech@gmail.com](mailto:eliamariakupech@gmail.com); [jomijangos@cicy.mx](mailto:jomijangos@cicy.mx); [lsimag@cicy.mx](mailto:lsimag@cicy.mx).

<sup>2</sup>Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. (CICY, A.C.), Unidad de Bioquímica y Biología Molecular de Plantas, C. 43 No. 130 x 32 y 34, Col. Chuburná de Hidalgo, C.P. 97205, Mérida, Yucatán, México. Email: [islasign@cicy.mx](mailto:islasign@cicy.mx); [dayabo124244@gmail.com](mailto:dayabo124244@gmail.com).

<sup>3</sup>Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Mérida, Av. Tecnológico Km 4.5 S/N C.P. 97118, Mérida, Yucatán, México. Email: [esauri@itmerida.mx](mailto:esauri@itmerida.mx).

<sup>4</sup>Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Conkal, Av. Tecnológico S/N, C.P. 97345, Conkal, Yucatán, México. Email: [luis.latournerie@itconkal.edu.mx](mailto:luis.latournerie@itconkal.edu.mx).

\* Corresponding author

#### SUMMARY

**Background:** Maize (*Zea mays* L.) is the main sustenance in the daily diet of Mexican families. As a crop, it is one of the most important in the country of Mexico, and in Yucatan state, it is grown under rainfed conditions in milpas with no mechanizable lands. In this study, an analysis of the phenotypic variability from cob collects of native maize from Yucatan state was carried out, with ethnobotanical information collected within passport data. **Objectives:** To introduce the genetic diversity of maize into a germplasm bank, to know the genetic diversity of native populations based on the characteristics of cob, to know its distribution, to find the potential populations in each collection area for its use in genetic improvement programs. **Methodology:** 66 Tuxpeños, 13 Dzit bacal, 6 Nal tel, 13 Xmejen nal, and 2 Nal xoy were collected in the southern, central, and eastern regions of the state, from January to March 2020, by sampling the four cardinal points in each community visited. A vector map of collections in Yucatan was developed and quantitative data of 13 biometric cob variables were recorded in 100 populations (crop cycles: late n=68; intermediate n=26; early n=6), a general data analysis of variance (ANOVA) and by crop cycles were made, principal component analysis (PCA), hierarchically clustered with the average linkage method and discriminant analysis were made. Qualitative data from ethnobotanical surveys with mixed questions applied to milperos at the time of collection are presented. **Results:** The diversity of native maize in Yucatan is made up of three main groups based on the crop cycle: late, intermediate, and early. The southern and eastern regions of Yucatan preserve greater diversity, representing 44 and 40% of the total collections, respectively. There were significant differences in all ear variables; in a late growth cycle, only the grain thickness did not show differences between populations, and in the early growth cycle the grain thickness, width, and length variables were not significant. The PCA explained 80% of the total variation, seven different groups were formed, with greater differentiation in early maize Nal tel, intermediate Xmejen nal and Dzit bacal, contrary to the Tuxpeños late maize. Ten promising populations were identified for selection in each geomorphological region: eight correspond to the southern, two to the eastern, and one to the center of Yucatan state. The main factors to select for sowing corn in the region are: white and yellow maize for yield, the resistance to weevil attack for red maize, and the perception of color and palatability in purple maize. **Implications:** A complete phenotypic characterization in the field is required with a special interest in red-pigmented maize. **Conclusions:** The interest of the milperos in conserving and sowing the different native maize are based on the color of the grain, the

† Submitted March 23, 2022 – Accepted June 23, 2023. <http://doi.org/10.56369/tsaes.4853>



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

ISSN: 1870-0462.

ORCID = E.M. Ku-Pech: <http://orcid.org/0000-0002-9807-3624>; J.O. Mijangos-Cortés: <http://orcid.org/0000-0001-6475-9612>; I. Islas-Flores: <http://orcid.org/0000-0002-5353-073X>; E. Sauri-Duch: <http://orcid.org/0000-0003-2181-8592>; L. Latournerie-Moreno: <http://orcid.org/0000-0002-7684-2111>; Y. Rodríguez-Llanes: <http://orcid.org/0000-0002-1807-8899>

benefits and uses that they can obtain from them, which determine the planting area in the milpas of the different races/varieties of maize. Red grain maize is being planted in a lower area in relation to other colors. The southern and eastern geomorphological regions showed a genetic flow between them.

**Key words:** Characterization; *in situ* and *ex situ* conservation; native germplasm; milperos; *Zea mays* L.

## RESUMEN

**Antecedentes:** El maíz (*Zea mays* L.) es el principal sustento en la alimentación diaria de las familias mexicanas. Como cultivo, es uno de los más importantes en el país y en el estado de Yucatán, se cultiva bajo temporal en las milpas con tierras no mecanizables. En este estudio se realizó un análisis de la variabilidad fenotípica en mazorca de maíces nativos de Yucatán, y se presenta información etnobotánica recabada con datos de pasaporte. **Objetivos:** Introducir la diversidad genética del maíz en un banco de germoplasma, conocer la diversidad genética de las poblaciones nativas con base en las características de mazorca, conocer su distribución y encontrar poblaciones potenciales en cada zona de colecta, para su uso en programas de mejoramiento genético. **Metodología:** Se recolectaron 66 Tuxpeños, 13 Dzit bacal, 6 Nal tel, 13 Xmejen nal y 2 Nal xoy en las regiones sur, centro y oriente del estado, de enero a marzo del 2020, mediante muestreo en los cuatro puntos cardinales en cada comunidad visitada. Se elaboró un mapa vectorial de colectas en Yucatán y se registraron datos cuantitativos de 13 variables biométricas de mazorca en 100 poblaciones (Ciclos de cultivo: tardíos n= 68; intermedios n=26; precoces n=6), los datos generales y por ciclo de cultivo se analizaron mediante análisis de varianza (ANDEVA), de componentes principales (ACP), de conglomerados jerárquicos con el método de ligamiento promedio y análisis discriminante. Se presentan datos cualitativos de encuestas etnobotánicas con preguntas mixtas, aplicadas a los milperos al momento de la colecta. **Resultados:** La diversidad de maíces nativos en Yucatán está conformada por tres grupos principales basados en el ciclo de cultivo: tardíos, intermedios y precoces. Las regiones sur y oriente de Yucatán preservan mayor diversidad, representando el 44 y 40% del total de las colectas, respectivamente. Se obtuvieron diferencias significativas en todas las variables de mazorca a nivel general; en tardíos el espesor de grano no evidenció diferencias entre las poblaciones y en el ciclo de precoces las variables espesor, ancho y largo de grano fueron no significativas. El ACP explicó el 80% de la variación total, conformándose siete grupos diferentes, con mayor diferenciación en maíces precoces Nal tel, Xmejen nal intermedios y Dzit bacal, contrario a maíces tardíos Tuxpeños. Se identificaron 10 poblaciones promisorias para su selección en cada región geomorfológica: ocho corresponden al sur, dos al oriente y una al centro del estado de Yucatán. Los factores principales a considerar para la siembra de maíces en las milpas de la región fueron: rendimiento para los maíces blancos y amarillos, resistencia al ataque de gorgojo para maíces rojos, y el color y la palatabilidad en maíces morados. **Implicaciones:** Se requiere una caracterización fenotípica completa en campo con especial interés en los maíces pigmentados rojos. **Conclusiones:** El interés de los milperos en conservar y sembrar los diferentes maíces nativos se basa en los diferentes colores en grano y en los beneficios y usos que puedan obtener de ellos, lo que determina la superficie de siembra de cada una de las diferentes razas/variedades de maíz. El maíz de grano rojo está siendo sembrado en menor proporción comparado con los demás colores. Las regiones geomorfológicas del sur y oriente muestran un flujo genético entre ellas.

**Palabras clave:** Caracterización; conservación *in situ* y *ex situ*; germoplasma nativo; milperos; *Zea mays* L.

## INTRODUCCIÓN

El maíz tiene una extraordinaria diversidad fenotípica y genética, clasificada actualmente en forma de “razas” y “variedades”. En este sentido, el término “raza” se ha utilizado en maíz para agrupar individuos o poblaciones que comparten características en común, mientras que el término “variedad”, es el resultado de cruza entre razas (Ortega, 2020). La variabilidad dentro de una raza en maíz tiene la particularidad de que las poblaciones o individuos que la componen comparten un grupo de genes con adaptabilidad a nichos y usos específicos (Camacho y Chávez, 2004), los cuales pueden ser aprovechados en programas de mejoramiento genético (Adebayo *et al.*, 2015).

En la Península de Yucatán sólo tres razas encontraron condiciones propicias para establecerse con éxito: la raza Tuxpeño, Dzit bacal y Nal tel diferenciadas por su ciclo vegetativo, tardías (> 90 días), intermedias (70 - 90 días) y precoces (< 70 días), respectivamente

(González *et al.*, 2017). Los diferentes ciclos de cultivo les han permitido a productores milperos contar con múltiples momentos de cosecha al año comenzando con los maíces precoces y concluyendo con los tardíos (Ku-Pech *et al.*, 2020).

Particularmente el estado de Yucatán tiene condiciones agroclimáticas muy particulares, pues se tienen precipitaciones erráticas que afectan a la agricultura de temporal. El hecho de no tener montañas altas como en otros sitios de México genera que las nubes no sean detenidas por barreras físicas (Mijangos-Cortés *et al.*, 2015). Otras características son los suelos muy pedregosos, en proceso de formación y muy recientes, con pH altos (7.0 - 8.5) y poca materia orgánica. A pesar de ello, se tienen 20 zonas fisiográficas (Duch, 1991) que han permitido un número relativamente alto de variedades en maíz (más de 27) (Kauffer y Villanueva, 2011; Mijangos-Cortés, 2013). La gran variedad de suelos resulta de la diversidad de las condiciones climáticas y topográficas de la entidad,

que reportan diferencias significativas en los minerales que la integran (Borges-Gómez *et al.*, 2005).

La diversidad en maíces también se debe a la selección y conservación de semillas que los milperos realizan a través del tiempo. Este procedimiento denominado conservación *in situ* permite resguardar la semilla a nivel local en la mayoría de las comunidades de México (Magdaleno-Hernández *et al.*, 2016). Sin embargo, la diversidad genética en el maíz puede perderse por la presión de diversos factores ambientales, biológicos y sociales. Por ejemplo, un clima tropical con alta humedad y temperatura, favorece la presencia de plagas y enfermedades que pueden arrasarse con los cultivos (Chaves y Gutiérrez, 2017). En el ámbito social la alta migración de la población joven, hijos e hijas de milperos, de las comunidades rurales a las ciudades, cambios en la alimentación optando por comida “chatarra” dejando a un lado la dieta saludable de la milpa. Esto último provoca que la milpa se encuentre en crisis, siendo practicada exclusivamente por personas de edad avanzada sin continuidad generacional, con el desapego de los jóvenes a las prácticas agrícolas (Gutiérrez y Magaña, 2017; Olvera, 2016).

La evaluación de la diversidad en maíces es importante para el planteamiento de estrategias de conservación y aprovechamiento. En este sentido, la caracterización fenotípica es un método efectivo para conocer el potencial de los maíces nativos (González *et al.*, 2013). Realizar una correcta caracterización fenotípica de los genotipos, es de gran importancia para generar avances en la selección, conservación y mejora genética de los maíces nativos, particularmente en Yucatán donde se tienen pocos trabajos sobre mejoramiento genético (González *et al.*, 2018).

En este estudio se realizó una recolecta para conservación del germoplasma y análisis de la variabilidad fenotípica en mazorca de maíces nativos de Yucatán, con el objetivo de conocer el potencial de la diversidad para su aprovechamiento e identificar las mejores poblaciones de diferentes regiones geomorfológicas (oriente, centro y sur) (INAFED/INDERM, 2023) basados en caracteres agronómicos y etnobotánicos, para su selección; así como conocer la distribución actual de los maíces nativos en el estado.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Regiones de recolecta de germoplasma

Yucatán está situado en el extremo norte de la Península del mismo nombre en el sureste de la República Mexicana, colinda al norte con el Golfo de México, al este con el estado de Quintana Roo, al sur con el estado de Campeche y Quintana Roo y al oeste

con el Golfo de México y Campeche (INEGI, 2017), es la subprovincia con mayor extensión y se caracteriza por presentar un relieve plano con topografía cárstica donde se presentan “aguadas” y cenotes (INEGI, 2016). El área consistió en tres regiones geomorfológicas del estado de Yucatán, México: 1) sur (zona Puuc), 2) centro y 3) oriente (Martínez-Castillo *et al.*, 2004) (Tabla 1). Se muestreó un total de 19 comunidades del oriente, 17 comunidades del sur y siete comunidades del centro. Las áreas de recolecta se eligieron con base en trabajos previos de tipo etnobotánico y de recolección de semillas anteriores en regiones donde tradicionalmente se realiza la milpa (González *et al.*, 2017; Mijangos-Cortés, 2013). Adicionalmente, la estrategia de recolecta de germoplasma de maíz nativo se basó en las normas para bancos de germoplasma de recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura (FAO, 2013).

En cada comunidad se visitaron los diferentes puntos cardinales y en cada recolecta se recabó información etnobotánica y datos de pasaporte emitidos por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, modificado con base en el pasaporte original del Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos y del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias de México (Rincón *et al.*, 2012). El recorrido en las comunidades se realizó de enero a marzo del 2020. Se construyó un mapa de los sitios de recolecta de germoplasma mediante un conjunto de capas temáticas en formato vectorial ESRI Shapefile (México\_Estados.shp; Basemap\_municipios.shp; Basemap\_polígonos\_localidades\_U\_R\_amanzanadas.shp; Basemap\_región\_I\_poniente.shp; Basemap\_región\_II\_noroeste.shp; Basemap\_región\_III\_centro.shp; Basemap\_región\_IV\_litoral\_centro.shp; Basemap\_región\_V\_noreste.shp; Basemap\_región\_VI\_oriente.shp; Basemap\_región\_VII\_sur.shp) con el programa ArcgisPro 2.5.0 (ESRI, 2020).

### Recolección del germoplasma

Se recolectó 5 kg de semilla y 10 mazorcas de cada población de maíz. Las semillas recolectadas pasaron por procesos de secado a temperatura ambiente en sombra y desinfección química mediante fosfuro de aluminio en tabletas (Agrofum®), para ser conservadas *ex situ* en el Laboratorio de Germoplasma del CICY, A.C. ampliando así el número de colecciones de maíz en resguardo, donde el último ingreso de germoplasma de maíz fue en el 2012. La identificación de los maíces se generó de acuerdo con la denominación local proporcionada por los milperos durante el muestreo, así como a la clasificación de Arias *et al.* (2007) (Tabla 2).

**Tabla 1. Ubicación geográfica de las regiones de recolección de maíz nativo en el estado de Yucatán, México (2020).**

Estado	Región	Municipio	Latitud N (°)	Longitud O (°)	Altitud (msnm*)
Yucatán	Sur	Peto	20.1255	-88.9213	35
		Chacsinkín	20.1709	-89.0168	36
		Tixméhuac	20.2354	-89.1111	30
		Tahdziú	20.1981	-88.9439	33
		Oxkutzcab	20.3027	-89.4183	20
		Tekax	20.2023	-89.2878	35
		Maní	20.3931	-89.3921	26
	Centro	Yaxcabá	20.5417	-88.8211	33
		Sotuta	20.5958	-89.0061	21
		Oriente	Temozón	20.8041	-88.2027
	Valladolid		20.8531	-89.0691	28
	Tekom		20.6005	-88.2668	34
	Kaua		20.6244	-88.4560	30
	Chankom		20.5680	-88.5133	27
	Tizimín		21.1425	-88.1647	20
	Chemax		20.7333	-87.8166	28
	Uayma		20.7167	-88.3166	28
	Espita	21.0128	-88.3047	32	
<b>Total</b>	<b>3</b>	<b>18</b>			

\* metros sobre el nivel del mar.

**Tabla 2. Clasificación del maíz nativo por raza y variedad presente en Yucatán, México.**

Tipo racial	Variedad <sup>∞</sup>	Color	Ciclo (meses)
Nal tel	Nal t'eel, Gallito	Blanco, amarillo, morado*, rojo	1.7
Dzit bacal	Bek'ech bakal, Ts'iit bakal	Blanco, rojo*	3 - 3.5
Tuxpeño (Xnuk nal)	Oox uen, Sak nal, Sak tux	Blanco	3 - 4
	K'an pok, K'an nal	Amarillo	
	Ek ju'ub, Chob nal, Chobita	Morado	
	Chac chob, Chac xim, Chac nal	Rojo	
Cruza interracial (Tuxpeño × Nal tel)	Xmejen nal (X-mejen nal), Xt'up nal	Blanco, amarillo, rojo	2 - 2.5
Cruza interracial (Nal tel × Tuxpeño)	Nal xoy <sup>¥</sup>	Blanco, amarillo, rojo*	2 - 3

<sup>∞</sup> Diferentes nomenclaturas realizadas por los milperos principalmente, mas no exclusivamente, en maya. \* Color reportado en muy baja frecuencia. <sup>¥</sup> Maíz mejorado por agricultores de Xoy, Peto, Yucatán.

### Evaluación de mazorca de las accesiones

Se recolectaron 10 mazorcas por población de cada una de las 100 accesiones en el estado de Yucatán, a las que se les midió 13 variables biométricas cuantitativas: LM (cm): Longitud de mazorca, DM (mm): Diámetro de mazorca (parte media), PSM (g): Peso seco de mazorca, NHM (núm): Número de hileras de la mazorca, NGH (núm): Número de granos por hilera, NTG (núm): Número total de granos, EG (mm): Espesor de grano, AG (mm): Ancho de grano, LG (mm): Longitud de grano, P100S (g): Peso de 100 semillas del centro de la mazorca, PGM (g): Peso de

granos de una mazorca, DO (mm): Diámetro del olote y PO (g): Peso de olote.

Los datos cualitativos de las recolectas se procesaron por métodos descriptivos y categóricos para reportar su frecuencia y porcentaje.

### Análisis fenotípico de las poblaciones (Pob)

Mediante el paquete estadístico R Studio Versión 1.2.5019 (RStudio Team, 2019) se efectuaron los supuestos *a priori* de homogeneidad de varianzas con el Test de Levene, donde para LM, DM, PSM y NHM se aplicó el método no paramétrico de Test de Welch,

cumpliendo con el supuesto. Para la prueba de normalidad se aplicó Kolmogorov-Smirnov (Lilliefors). Para las variables que reportaron un valor de  $p \leq 0.05$  se optó por la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis cumpliendo con el supuesto ( $p \leq 0.05$ ). Al cumplir los supuestos se procedió al análisis de varianza (ANDEVA) de una vía para muestras independientes en cada una de las variables cuantitativas, con una prueba *post hoc* de comparación de medias de DMS ( $p \leq 0.05$ ) a nivel general que incluyó a los tres grupos de cultivo para 100 poblaciones con 10 repeticiones por población; así como ANDEVAS clasificadas por ciclo de cultivo: 68 Pob de maíces tardíos, 26 Pob de maíces intermedios y 6 Pob de maíces precoces.

En ambos análisis se usaron las 13 variables caracterizadas de acuerdo con la metodología del manual gráfico de la descripción varietal del maíz (SNICS, 2010).

### **Análisis de componentes principales y de similitud**

Se usó la matriz de datos promedio con el software InfoStat Versión 2020 (Di Rienzo *et al.*, 2020), para realizar un análisis de componentes principales (ACP) de las poblaciones y así conocer la variación existente en el conjunto de variables evaluadas en los maíces nativos. De igual manera, un análisis de conglomerado jerárquico con el método de ligamiento promedio, con la medida de disimilitud de distancia euclidiana al cuadrado. Con la matriz de distancias se construyó el dendrograma que permitió formar grupos de similitud de las poblaciones de acuerdo con las características fenotípicas de las poblaciones. En ambos análisis se usaron los promedios de las 13 variables cuantitativas caracterizadas de acuerdo con la metodología del manual gráfico de la descripción varietal del maíz (SNICS, 2010).

### **Análisis discriminante**

Se procesó mediante el programa Statgraphics V16.2.04 (Statgraphics Centurion, 2013). Se utilizó la matriz de datos promedio con 13 variables cuantitativas, para comprobar los grupos resultantes del análisis de similitud.

## **RESULTADOS**

### **Área geográfica de recolecta de germoplasma en Yucatán**

En la raza Tuxpeño (T) se caracterizaron 66 poblaciones; en la raza Dzit bacal (DB) se tuvieron 13 poblaciones; en la Nal tel (NT) seis; 13 poblaciones de un complejo interracial conocido como Xmejen nal (XM) y dos en la variedad Nal xoy (NX). Se identificaron cuatro colores básicos con una

proporción predominante del color blanco (Figura 1, Tabla 3). Adicionalmente, se encontraron mazorcas variegadas dentro de algunas poblaciones, indicativo de infiltración genética.

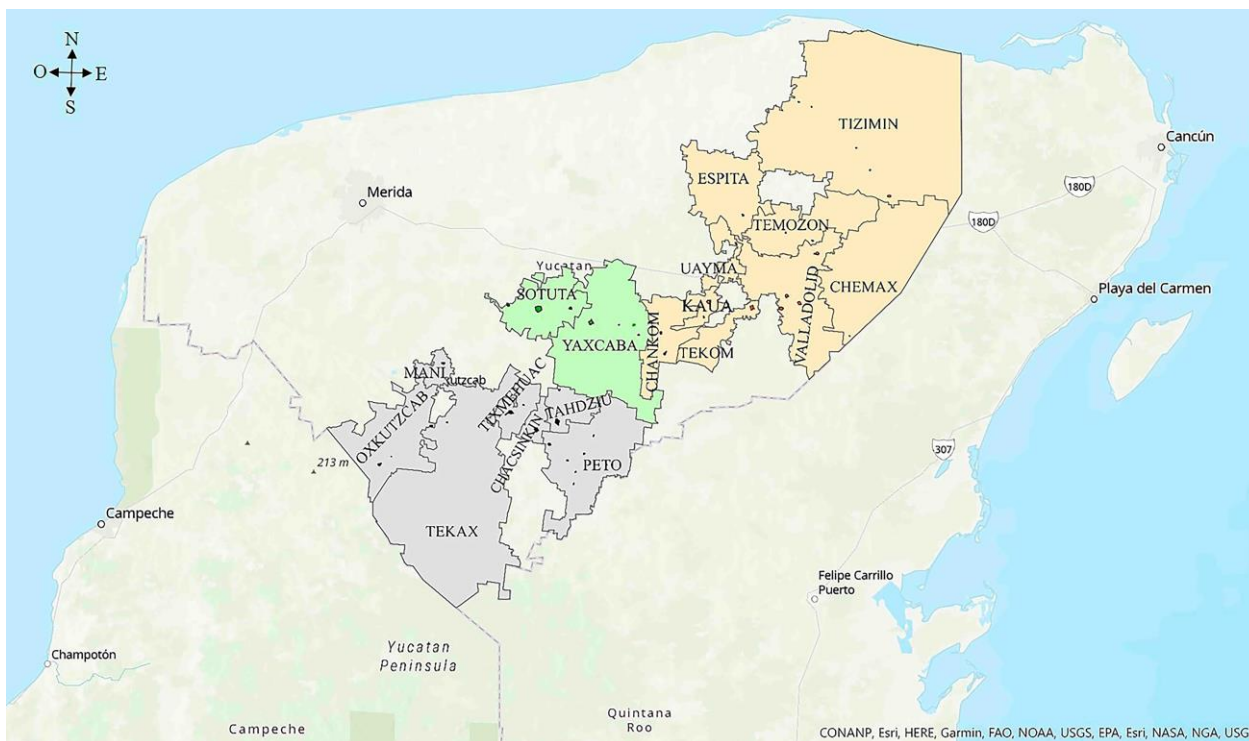
Se caracterizaron poblaciones de maíz de 74 milperos que tuvieron un rango de edad de 20 a 80 años, todos maya-hablantes, con un tiempo de manejo promedio de la semilla de maíz de 27 años, un mínimo de un año y un máximo de 60 años. Indicaron rendimientos para sus maíces con un promedio de  $1.5 \text{ t ha}^{-1}$ , un mínimo de  $20 \text{ kg ha}^{-1}$  y un valor máximo de  $2.5 \text{ t ha}^{-1}$ . Los maíces nativos colectados se siembran bajo temporal, donde el manejo de malezas por parte del agricultor es mediante el uso de herbicidas (57.61%), el deshierbe manual (38.04%), la combinación de ambos métodos (herbicida + deshierbe manual, 1.09%) y el restante 3.26% no especificó. En cuanto a los herbicidas empleados en las milpas muestreadas se tuvo: 2,4-Dimetilamonio (2,4-D Amina®); 2,4-Dimetilamina (Fulmina®); 2,4-Diclorofenoxi ácido acético (Esterón®); Dicloruro de paraquat (Paraquat®, Gramoxone®, Secador®, Cerillo®, Antorcha®); 2,4-D-triisopropanolamonio + Picloram-triisopropanolamonio (Tordón®). El 33% de los encuestados utiliza Glifosato (Velfosato®, Herbipol®).

El 89% de los milperos establece su milpa bajo policultivo con variedades locales de calabaza (*Cucurbita pepo* – ts'ol, *Cucurbita argyrosperma* – Xtop, *Cucurbita moschata* – Xmejen k'um/Xnuk k'um), frijol (*Phaseolus vulgaris* – Tsama'/Xcoli bu'ul), ibes (*Phaseolus vulgaris* – Xmejen ib, Xnuk ib, Sak ib), espelón (*Vigna unguiculata* – X'pelón), entre otras especies; y el 11% bajo monocultivo. El aporte de fertilizante a su cultivo de maíz es realizado por el 55% de los encuestados y el 36% no aplica fertilizante alguno. Dentro del 55% de la población milpera que aplica fertilizante el 98% de ellos usa del tipo químico granulado y sólo el 2% utiliza fertilizante orgánico de tipo “bocashi”. El manejo del fertilizante se realiza en dos aplicaciones a lo largo del cultivo, la primera cuando las plantas tienen una altura de 0.80 m y la segunda cuando la planta está a punto de espigar, lo cual varía de acuerdo con la raza/variedad del maíz.

La preferencia del milpero por la siembra de una raza/variedad a otra de maíz se basa principalmente en el rendimiento, (respuesta más frecuente, de 12 diferentes respuestas), en orden de importancia las respuestas fueron: 1) Rendimiento (16.44%); 2) Precocidad (12.33%); 3) Color (10.96%); 4) Sabor (9.59%); 5) Suavidad en masa/tortillas, 6) Resistencia a sequía y 7) Venta o demanda (8.22%); 8) Resistencia a gorgojos (6.85%); 9) Hacer una bebida o platillo específico; 10) Consumo (4.11%); 11) Costumbre (2.74%); 12) Fácil desgrane (1.37%); el porcentaje restante no especificó.

**Tabla 3. Sitios de recolección de germoplasma de maíz nativo en el estado de Yucatán, México (2020).**

Región	Municipio	Número de Localidades	Número de recolectas					Color					
			Total	Nal tel	Dzit bacal	Xmejen nal	Nal xoy	Tuxpeño	Blanco	Amarillo	Morado	Rojo	
Sur	Peto	7	23	2	3	5		13	10	4	7	2	
	Chacsinkín	1	1		1				1				
	Tixméhuac	2	4	1	1	1		1	2		1	1	
	Tahdziú	2	4	1	1			2	1		1	2	
	Oxkutzcab	3	9		1	5		3	6		3		
	Tekax	1	1					1	1				
	Maní	1	3					3	2	1			
Centro	Yaxcabá	4	11				1	10	4	3	4		
	Sotuta	3	4		1		1	2	2		1	1	
Oriente	Temozón	2	2					2	1			1	
	Valladolid	4	12	2	1			9	4	2	6		
	Tekom	1	2					2	1	1			
	Kaua	2	5					5	2	1	1	1	
	Chankom	2	5		1			4	3	2			
	Tizimín	5	9		2	1		6	5	2	2		
	Chemax	1	1		1				1				
	Uayma	1	1					1				1	
Espita	1	3			1		2	1		2			
		<b>18</b>	<b>43</b>	<b>100</b>	<b>6</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>2</b>	<b>66</b>	<b>47</b>	<b>16</b>	<b>28</b>	<b>9</b>
				<b>Blanco</b>	<b>1</b>	<b>12</b>	<b>10</b>		<b>24</b>	<b>47</b>			
				<b>Amarillo</b>	<b>1</b>		<b>3</b>	<b>1</b>	<b>11</b>	<b>16</b>			
				<b>Morado</b>	<b>1</b>				<b>27</b>	<b>28</b>			
				<b>Rojo</b>	<b>3</b>	<b>1</b>		<b>1</b>	<b>4</b>	<b>9</b>			



**Figura 1.** Municipios de recolecta de maíz nativo en Yucatán, México (2020). Elaboración propia.

De las características sobresalientes para la elección del germoplasma a sembrar en cuanto a propiedades de su maíz, fueron: 1) Resistencia a la sequía (63.04%), de acuerdo con lo observado a lo largo de los años de manejo. 2) Resistencia a gorgojo (8.7%), 3) Resistencia a gusano cogollero (2.17%), 4) Resistencia al almacenamiento (1.09%), 5) Resistencia a humedad en condiciones atemporales de lluvia extrema (1.09%) y el 23.91% restante no especificó.

La representatividad de las recolectas por color fue del 28% para el maíz morado; dentro de ellas se identificó que la preferencia en el consumo del maíz morado es por su suavidad en masa y tortillas (19%), y por su uso para elaborar una comida típica denominada “relleno negro” (14%), contribuyendo así a su conservación en la región geomorfológica del oriente. Otras características importantes reportadas en los maíces morados fueron su comercialización y el agrado por el color del grano (14%), decisión influenciada por la esposa del milpero quien es la encargada de la elaboración de los alimentos en el hogar; seguido del rendimiento (12%) por encima de los maíces amarillos, pero no de los maíces blancos; el sabor (10%) y el fácil desgrane (5%) debido a la consistencia harinosa del maíz morado comparado con el maíz amarillo que tiene consistencia más dura, lo que ha influido también en su conservación. El porcentaje restante de los informantes no especificó al respecto.

El intercambio de germoplasma entre productores de la misma comunidad y con comunidades aledañas en

la región sur y oriente de Yucatán, se efectúa con regularidad, siendo un método de adquisición de semillas, actividad principal que genera el flujo genético actualmente dentro y entre las comunidades. Esta costumbre no se presenta en la zona centro (Tabla 4), pudiendo influir en la ausencia de maíces precoces (razas Nal tel y Xmejen nal). Asimismo, se detectó germoplasma de maíces introducidos en dos comunidades del sur de Yucatán a partir de otras regiones geográficas del país, principalmente procedente del estado de Chiapas (mazorcas de granos anchos y harinosos, así como un maíz palomero).

Solamente siete de los 74 milperos entrevistados indicó que realiza siembra intercalada dentro de sus plantaciones de maíz, evitando así el cruzamiento con variedades no deseadas. Por lo anterior, la dinámica de la diversidad en los maíces nativos, sembrados en las milpas se encuentra en continuo cambio, con alto flujo genético a nivel poblacional.

### **Diversidad fenotípica de las poblaciones en maíces recolectados de Yucatán**

El valor de significancia de acuerdo con ANDEVA general realizado, incluyendo a todas las poblaciones de maíces nativos (Tabla 5) mostró diferencias significativas para la totalidad de las variables. En el ANDEVA de maíces tardíos pertenecientes a la raza Tuxpeño (Xnuk nal), que incluye a poblaciones de Ek ju'ub, Sak tux, Sak nal, Chac chob, K'an pok y Oox uen con la cruce interracial Nal xoy, se obtuvo

diferencias no significativas entre las poblaciones únicamente para el espesor de grano. En el ANDEVA utilizando maíces intermedios, que incluyen a la raza Dzit bacal y a las cruza interracial de Xmejen nal, todas las variables mostraron diferencias significativas, lo que indica una gran variación entre las poblaciones de este grupo. Por último, en los maíces precoces, que incluye a la raza Nal tel, más de la mitad de las variables evaluadas contó con diferencias significativas; siendo las variables espesor, ancho y largo de grano aquéllas no significativas para la variación.

Debido a las diferencias estadísticas encontradas en los caracteres de las poblaciones, se efectuó una prueba *post hoc* de DMS. Al comparar las diferentes poblaciones se pudo ver el número de grupos diferentes que se formaron de acuerdo con la diversidad presente en las variables evaluadas (Tabla 6).

El ACP mostró una variación fenotípica de 82% en los caracteres de mazorcas con tres componentes principales (Tabla 7). El componente uno explicó el 46% de la variación total con las variables: PSM, PGM, PO, LM, DM y P100S. El componente principal dos aportó un 22% de la variación (68% de la variación total acumulada), donde las variables de mayor contribución fueron NHM, DO y NGH. El componente principal tres contribuyó con el 14% de la variación, con las variables AG y NTG.

En el ACP se identificaron siete grupos, basados en su ubicación bidimensional CP1 y CP2, confirmando dichas agrupaciones mediante la representación gráfica tridimensional de CP1, CP2 y CP3, que representó el 68% de la variación fenotípica (Figura 2). El grupo NT integró la totalidad de las poblaciones de la raza Nal tel acompañado de un Xmejen nal amarillo (Pob 58), la mayoría de las variables de este grupo tuvieron los valores más reducidos. La Pob 112 Nal tel amarillo presentó los valores mínimos (variables: LM, DM, PSM, P100S, PGM, NTG y NGH).

El grupo XM/T se conformó por cuatro poblaciones, tres de ellos corresponden a la crusa interracial Xmejen

nal (Pob 23, 79, 91) y uno a Ek ju'ub (Pob 98). Tanto en los grupos XM/T como en NT, se observó una tendencia de agrupación por microrregiones, con una marcada separación entre las poblaciones procedentes del oriente con respecto a las del sur de Yucatán.

El tercer grupo T/DB/XM contuvo a la mitad de las poblaciones recolectadas, con maíces Tuxpeños (Xnuk nal, Ek ju'ub, Sak tux, Sak nal, Chac chob, Chac xim, Chac nal, Oox uen y K'an pok) y la integración de maíces intermedios Dzit bacal (Pob 5, 16, 17, 57, 72, 97 y 113) con Xmejen nal (Pob 4, 88 y 102).

En DB se agruparon maíces Dzit bacal (Pob 1, 25, 27, 94), dos tuxpeños (Pob 66 y 86) y un Xmejen nal (Pob 14). Para las poblaciones de DB se encontró que, 10 de las 13 variables registradas estuvieron entre el rango de las poblaciones de Dzit bacal, siendo la variable NHM la determinante que lo agrupó. Las Pob 66 y 86 contaron con una LM menor a 15 cm, esto contrasta con la LM de la mayoría de los Tuxpeños que en promedio tienen valores de 16 cm y valores máximos de 19 cm.

Algunas poblaciones identificadas por el agricultor como Dzit bacal, quedaron separadas de sus homólogas y conformaron un tercer grupo. Sin embargo, estas poblaciones ya no corresponden a un germoplasma fidedigno de esta raza, debido a que su NHM fue superior a 10 (característica indicativa de la raza Dzit bacal); además, la variable DM (relacionada al NHM) tuvo valores superiores al dato promedio para el Dzit bacal. De acuerdo con las regiones de recolecta, en el grupo DB, tres poblaciones correspondieron a la zona oriente, tres a la zona sur y uno a la zona centro.

El grupo cinco (T/NX) correspondió a materiales tardíos Tuxpeños en su mayoría, así como una población de Nal xoy (Pob 69). Las poblaciones que lo conformaron superaron el valor promedio para casi la totalidad de las variables biométricas evaluadas en mazorca. Los materiales de este grupo provinieron de las tres regiones geomorfológicas del estado.

**Tabla 4. Procedencia del germoplasma de maíces nativos en el estado de Yucatán, México (2020).**

Procedencia	Productores		Zona					
	No.	%	1	%	2	%	3	%
Herencia	53	53	22	48.89	7	46.67	24	60.00
Compra	30	30	16	35.56	3	20.00	11	27.50
Intercambio	6	6	4	8.89	0	0.00	2	5.00
Otro	11	11	3	6.67	5	33.33	3	7.50
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>45</b>	<b>100</b>	<b>15</b>	<b>100</b>	<b>40</b>	<b>100</b>

Zona 1: sur, 2: centro, 3: oriente.



**Tabla 5. Análisis de la variación fenotípica de mazorcas de maíces nativos recolectados en Yucatán, México (2020).**

VAR	General					Maíces tardíos <sup>°</sup>				
	CM	EE	Media	DS	CV (%)	CM	EE	Media	DS	CV (%)
LM	33.36**	2.81	15.37	2.41	16	24.03**	2.89	15.59	2.23	14
DM	0.84**	0.13	3.983	0.45	11	0.63**	0.15	4.05	0.44	11
PSM	5903.35**	443.39	116.85	31.37	27	4236**	485.24	120.44	29.24	24
NHM	14.78**	1.98	11.37	1.80	16	9.86**	2.02	11.24	1.67	15
NGH	286.35**	28.70	36.42	7.36	20	230.50**	28.39	36.71	6.95	19
NTG	24.48**	3.57	411.5	95.58	23	36905**	6048.98	411.80	95.36	23
EG	1.45*	1.12	3.273	1.07	33	1.81ns	1.62	3.29	1.28	39
AG	3.80**	0.70	8.945	1.00	11	2.89**	0.65	9.13	0.93	10
LG	3434.62**	474.54	11.46	1.25	11	5.92**	1.08	11.54	1.24	11
P100S	113.60**	15.26	26.76	5.00	19	70.41**	15.77	27.69	4.60	17
PGM	4578.84**	453.61	102.23	29.36	29	3457**	525.71	105.56	28.54	27
DO	65.38**	5.65	21.29	3.40	16	38.51**	5.37	21.68	2.93	14
PO	154.05**	12.94	13.91	5.189	37	98.70**	13.05	14.33	4.63	32

VAR	Maíces intermedios <sup>°</sup>					Maíces precoces <sup>†</sup>				
	CM	EE	Media	DS	CV (%)	CM	EE	Media	DS	CV (%)
LM	24.51**	2.74	15.65	2.20	14	23.10**	2.19	11.44	1.99	17
DM	0.81**	0.10	3.922	0.41	11	0.65**	0.14	3.532	0.43	12
PSM	5286**	401.97	118.88	29.57	25	1907.10**	162.38	66.80	17.61	26
NHM	25.91**	1.91	11.45	2.05	18	10.14**	1.88	12.43	1.60	13
NGH	211.48**	31.26	37.98	6.97	18	70.43**	20.27	25.87	4.95	19
NTG	25549**	6180.15	430.1	89.74	21	23782**	3430.33	321.40	71.79	22
EG	0.84**	0.10	3.215	0.41	13	0.31ns	0.15	3.301	0.41	12
AG	2.69**	0.92	8.729	1.04	12	0.46ns	0.30	7.81	0.56	7
LG	5.55**	0.84	11.58	1.13	10	1.97ns	1.09	10.09	1.08	11
P100S	99.88**	15.71	26.04	4.88	19	41.87**	7.37	19.55	3.20	16
PGM	3613**	347.61	103.64	25.76	25	1417.70**	131.13	57.87	15.49	27
DO	124.50**	6.15	20.68	4.19	20	62.06**	6.59	19.75	3.36	17
PO	258.34**	14.34	13.998	6.16	44	55.83**	5.18	8.79	3.07	35

\* $p \leq 0.05$ ; \*\*  $p \leq 0.01$ ; ns: no significativa; VAR: Variable; CM: Cuadrados Medios; EE: Error Estándar; DS: Desviación estándar; CV: Coeficiente de Variación; °: Xnuk nal, Ek Ju'ub, Sak tux, Sak nal, Chac chob, Chac xim, Chac nal, Oox uen, K'an pok, Nal xoy. ° Dzit bacal, Xmejen nal, Xtup nal; †: Nal tel, Gallito. LM: Longitud de la mazorca; DM: Diámetro de la mazorca; PSM: Peso seco de la mazorca; NHM: Número de hileras de la mazorca; NGH: Número de granos por hilera; NTG: Número total de granos; EG: Espesor de grano; AG: Ancho de grano; LG: Longitud de grano; P100S: Peso de 100 semillas del centro de la mazorca; PGM: Peso de granos de una mazorca; DO: Diámetro de olote; PO: Peso de olote.

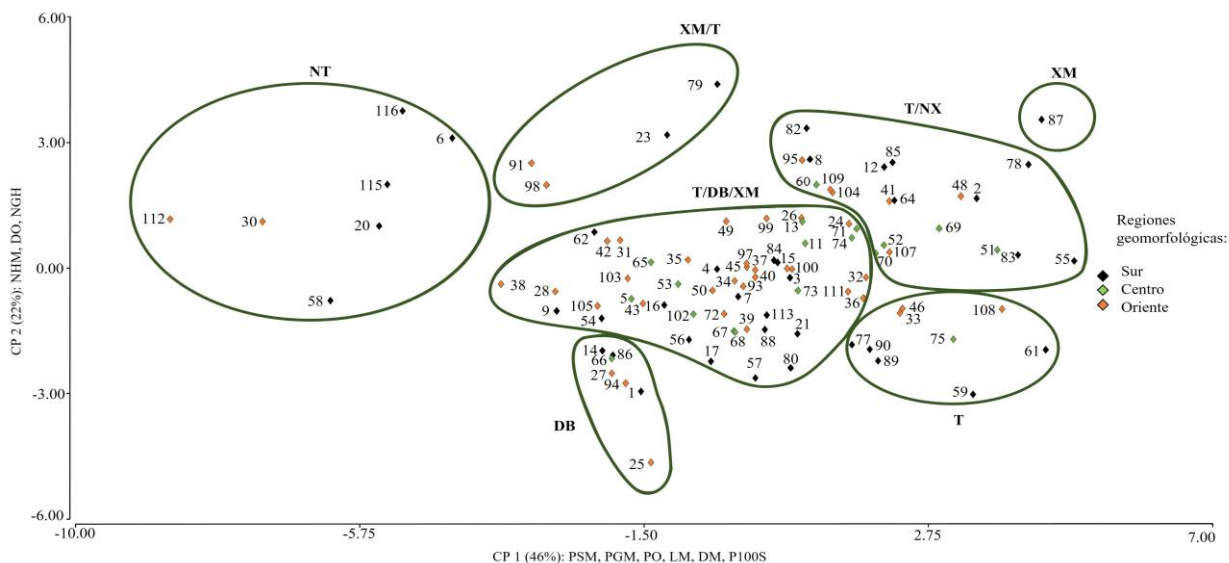
**Tabla 6. Formación de grupos de similitud entre poblaciones de maíces del estado de Yucatán, México (recolecta, 2020).**

Variable	Número de grupos formados mediante DMS			
	General <sup>Ω</sup>	Clasificación en maíces de acuerdo con el ciclo de cultivo		
		Tardíos <sup>∞</sup>	Intermedios <sup>°</sup>	Precoces <sup>†</sup>
LM	61	40	29	15
DM	47	18	17	6
PSM	112	77	63	27
NHM	6	5	6	3
NGH	37	27	23	11
NTG	33	31	23	15
EG	8	4	42	9
AG	78	73	41	13
LG	80	50	55	12
P100S	105	84	59	13
PGM	120	78	66	27
DO	126	82	85	17
PO	107	83	51	17
Promedio	70.8	50.2	43.1	14.2
Min	6	4	6	3
Max	126	84	85	27

\* $p \leq 0.05$ ; <sup>Ω</sup>n= 100, <sup>∞</sup>n= 68, Xnuk nal, Ek Ju'ub, Sak tux, Sak nal, Chac chob, Chac xim, Chac nal, Oox uen, K'an pok, Nal xoy; <sup>°</sup>n= 26, Xmejen nal, Dzit bacal, Xtup nal; <sup>†</sup>n= 6, Nal tel, Gallito. LM: Longitud de la mazorca; DM: Diámetro de la mazorca; PSM: Peso seco de la mazorca; NHM: Número de hileras de la mazorca; NGH: Número de granos por hilera; NTG: Número total de granos; EG: Espesor de grano; AG: Ancho de grano; LG: Longitud de grano; P100S: Peso de 100 semillas del centro de la mazorca; PGM: Peso de granos de una mazorca; DO: Diámetro de olote; PO: Peso de olote.

**Tabla 7. Contribución de los caracteres fenotípicos de mazorcas a la variación total en recolectas de maíz nativo de Yucatán, México (2020).**

Variables	CP1	CP2	CP3
Longitud de mazorca	0.32	-0.23	-0.06
Diámetro de mazorca (parte media)	0.32	0.23	0.09
Peso seco de mazorca	0.39	-0.01	-0.06
Número de hileras de la mazorca	0.06	0.52	-0.26
Número de granos por hilera	0.25	-0.35	-0.31
Número total de granos	0.29	0.06	-0.45
Espesor de grano	0.15	0.33	0.30
Ancho de grano	0.17	-0.29	0.48
Longitud de grano	0.23	-0.24	-0.12
Peso de 100 semillas del centro de la mazorca	0.29	-0.15	0.39
Peso de granos de una mazorca	0.38	-0.05	-0.09
Diámetro del olote	0.23	0.43	0.16
Peso de olote	0.33	0.20	0.10
Valor propio	6.48	2.91	1.93
Variación explicada	0.46	0.22	0.14
Variación acumulada	0.46	0.68	0.82



**Figura 2.** Variación fenotípica de mazorcas de 100 poblaciones de maíces nativos recolectados en el estado de Yucatán, México (2020).

El grupo T presentó Tuxpeños en su totalidad, donde la población 61 (maíz blanco) tuvo los valores máximos en las variables LM, PSM, P100S y PGM. Por último, XM fue una población de Xmejen nal (Pob 87) proveniente del sur que fue segregada de todas las demás. La separación de esta población responde a los valores máximos alcanzados en sus variables dentro de maíces Xmejen nal y a sus valores por encima de la media en 10 de las 13 variables registradas en Tuxpeños.

### Análisis de similitud

Las 100 poblaciones de maíces recolectadas en el estado de Yucatán formaron siete grupos diferentes a una distancia euclidiana al cuadrado de 18.72 unidades (Figura 3).

El grupo G1 fue el más numeroso con 50 poblaciones, de las cuales 39 fueron materiales tardíos (Tuxpeños), siete poblaciones intermedias de la raza Dzit bacal, tres de Xmejen nal y una de Nal xoy. El G1 se definió por las características predominantes de los maíces Tuxpeños.

El grupo G2 estuvo conformado por cuatro materiales de Dzit bacal (Pob 25, 27, 1 y 94), dos Tuxpeños (Pob 66 y 86) y un Xmejen nal (Pob 14), siendo la característica determinante de este grupo el NHM de 8 a 10, característica principal de la raza Dzit bacal. El grupo G3 integró maíces tardíos en su mayoría (Tuxpeños) con un total de 21 poblaciones, estando entre ellos variedades de tipo Ek ju'ub, Sak nal y Chac

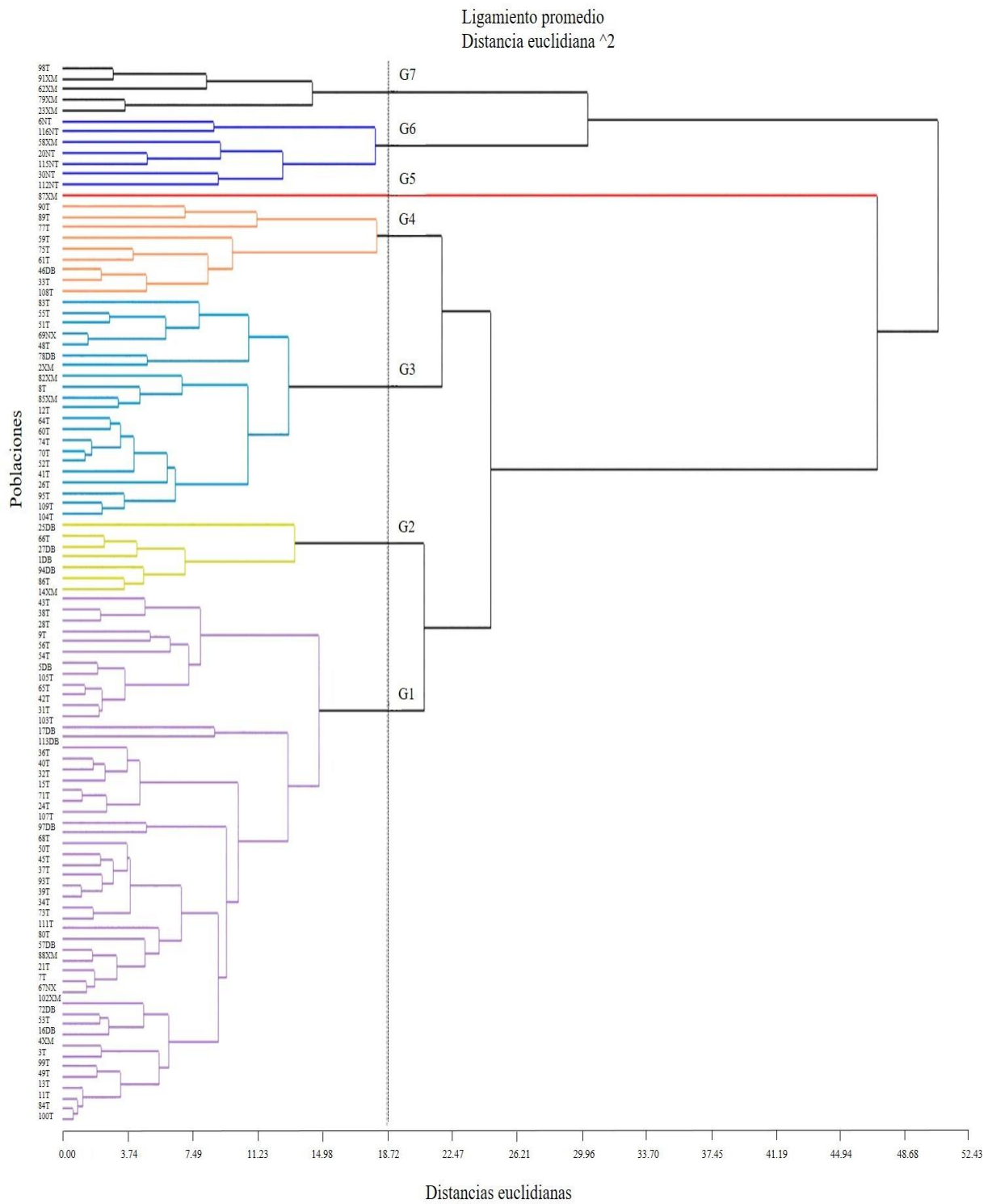
chob, clasificados taxonómicamente como Tuxpeños; además de una población de Nal xoy (Pob 69). Las características sobresalientes tuvieron valores por encima del promedio, tal es el caso de DM (40.70 mm), PSM (124.66 g), NHM (12), NTG (419) y DO (21.81 mm).

El grupo G4 presentó poblaciones Tuxpeñas con una sola población Dzit bacal (Pob 46). Los Tuxpeños son los maíces de mayor tamaño en mazorca con respecto a las otras dos razas presentes en Yucatán. Este grupo contó con valores por encima de la media en las variables de mazorca. El G5 lo conformó la población Xmejen nal 87. El G6 agrupó maíces Nal tel con un Xmejen nal (Pob 58). El G7 se conformó con cuatro poblaciones de Xmejen nal y una población de maíz morado (Pob 98), esta última superando los valores mínimos en las variables LM y DM.

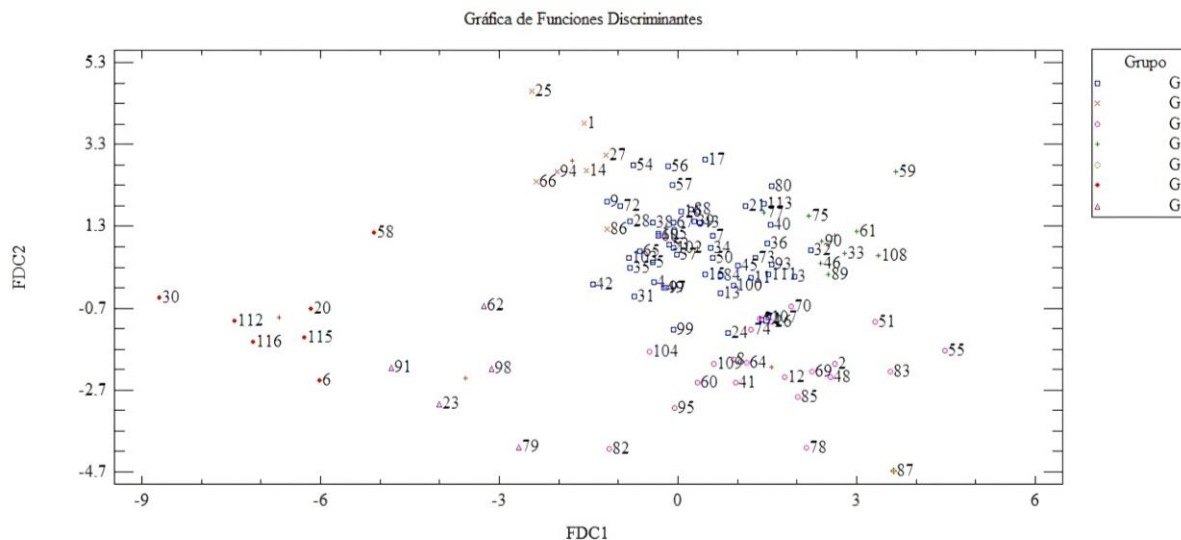
### Análisis discriminante

Entre las 100 poblaciones analizadas, el 92% fueron clasificadas correctamente (Figura 4). Se corroboró la pertinencia de la agrupación en G2, G3, G4, G5, G6 y G7 en el 100% de las poblaciones para cada grupo. Únicamente el G1 contó con el 84% (42 pob.) de las poblaciones asignadas en G1, reasignando al 8% de las poblaciones (4 pob.) en G3, el 6% (3 pob.) en G2 y el 2% en G4 (1 pob.).

Las poblaciones que presentaron una reclasificación fueron siete poblaciones (Tabla 8).



**Figura 3.** Relaciones de similitud fenotípica de poblaciones de maíz nativo recolectados en el estado de Yucatán, México (2020).



**Figura 4.** Representación gráfica de las dos primeras funciones discriminantes (FDC) y ubicación de los grupos del análisis de conglomerados.

**Tabla 8. Clasificación con la reasignación de grupos.**

Pob.	Grupo actual	Grupo más alto (*)
24T	G1	G3
54T	G1	G2
57DB	G1	G2
68T	G1	G2
71T	G1	G3
80T	G1	G4
99C	G1	G3

\* Reclasificación

González *et al.*, 2019; Pinedo *et al.*, 2009; Arias *et al.*, 2007). Para la raza precoz Nal tel, se ha mencionado en los últimos 17 años la situación de riesgo de erosión genética (Turrent y Serratos, 2004). Burgos *et al.* (2004) indicaron una disminución de su cultivo en la región Península de Yucatán. Al respecto, Ortega (1999) con colectas efectuadas en 1991 reportó una pérdida considerable de la raza Nal tel, perteneciente al grupo de las razas Antiguas Indígenas, con amplia variedad nutricional (Cárcamo *et al.*, 2011). En la recolecta realizada en el 2020, sólo el 6% de las poblaciones fueron de la raza Nal tel, de ahí la importancia de fomentar esta raza en programas de conservación y continuar su recolecta.

## DISCUSIÓN

### Situación de la diversidad mediante la recolecta de germoplasma en Yucatán

El germoplasma recolectado en 2020 fue similar a otras colecciones realizadas en 2016 por Dzib-Aguilar *et al.* y en 2015 por Aguilar *et al.* Nuestros datos confirmaron que, en la zona de la Península de Yucatán, continúa la predominancia de la raza Tuxpeño de maíz con respecto a las razas Dzit bacal y Nal tel. En Dzit bacal se logró recolectar un 50% más de muestras con respecto a la recolecta de Aguilar *et al.* (2015), esto favorece la conservación de esta raza.

Tanto la raza Nal tel como la raza Dzit bacal se encuentran en baja proporción, por lo que se asume que su diversidad genética continúa en peligro de erosión con reducción en su conservación *in situ*, principalmente el Nal tel morado (Villalobos-

A nivel intrapoblacional en la raza Tuxpeño se estarían dando situaciones similares de erosión genética, con baja frecuencia de maíces de color rojo como el Chac Chob o maíces veteados de color rojo en grano como la variedad Pix Cristo, donde este último no se reportó dentro de esta recolecta del 2020 en Yucatán.

El incremento de poblaciones de Dzit bacal y Nal tel en Yucatán, puede hacerse mediante esfuerzos dirigidos de conservación hacia estas razas en particular, mediante su oferta en exposiciones regionales de semillas e implementación en programas de mejoramiento participativo (Dzib-Aguilar *et al.*, 2016) o bien, mediante la adaptación de algún material en particular, ante las sequías en la región. Existen poblaciones en la raza Dzit bacal con diferencias en la eficiencia del uso del agua en la Península de Yucatán. Conceição-dos Santos *et al.* (2019), sugirieron la posibilidad de que esta raza soporta fisiológicamente

eventos de sequía intraestival, proponiendo su inclusión en programas de mejoramiento genético con el objetivo de resistencia a sequía; siendo de gran utilidad para los productores que manejan sus milpas bajo temporal (Uzcanga *et al.*, 2017). Asimismo, los atributos de cada maíz deben difundirse entre los diferentes grupos sociales tanto en edad infantil, juvenil, a nivel familiar, académico, entre otros, con el fin de dar a conocer las propiedades y resaltar los beneficios que se pueden aprovechar de los maíces nativos, favoreciendo así su conservación y consumo.

Por lo general, los maíces Tuxpeños (tardíos), de color blanco y amarillo, son mayormente utilizados por su característica de mayor rendimiento, ya que cuentan fenotípicamente con mayor longitud de mazorca, mayor número de granos y peso, comparado con Dzit bacal y Nal tel, siendo elegidos por la mayoría de los productores (Usha-Rani *et al.*, 2017), coincidiendo con los datos etnobotánicos obtenidos en las comunidades muestreadas de Yucatán, donde la principal característica que reportan los milperos es el rendimiento. Este factor del rendimiento determina la tendencia de la predominancia de variedades tardías, seguida de variedades intermedias con una disminución de variedades precoces. El rendimiento puede mejorarse en todos los grupos de maíces y no únicamente en maíces Tuxpeños, siempre y cuando se mantengan las características de precocidad, que identifican a cada tipo de maíz (Velasco-García *et al.*, 2020).

Considerando el color de semilla como uno de los factores de diversidad, se encontraron los cuatro colores básicos en el estado de Yucatán, así como poblaciones variegadas que podrían ser resultado de la variación que se da por el flujo genético de las poblaciones en las milpas, o bien debido a la plasticidad fenotípica en respuesta al ambiente de crecimiento, generando cambios en la expresión de las variables fenotípicas a través de los años (Vidal-Martínez *et al.*, 2004). Se tuvo predominancia del color blanco, con una baja frecuencia de maíces rojos. Esta tendencia, de acuerdo con lo que reportaron los informantes, se debe a las propiedades de la masa de los maíces rojos que son baja maleabilidad y pigmentación, lo que puede influir en su baja elección para siembra. Esto conduce a plantearnos si los maíces rojos pudieran estar en abandono de siembra en el estado de Yucatán. Ante ello, un programa de manejo dirigido a estos maíces favorecerá su conservación.

Por su parte, los maíces morados presentan una consistencia de masa más suave, con un sabor particular, teniendo un uso específico dentro del ámbito culinario en la Península de Yucatán para la elaboración del platillo tradicional “relleno negro” de gran importancia en la región. Salinas-Moreno *et al.* (2013) encontraron que la pigmentación en la semilla

de maíces rojos se encuentra en las células del pericarpio, contrario a la variedad morada que lo contiene en la capa de células de la aleurona pegada al endospermo. Esto determina la coloración en los platillos que se elaboran a base de estos maíces.

Así, se observan preferencias en el uso, consumo y siembra dentro de las diferentes razas y variedades de maíz, de acuerdo con los gustos de cada familia en la región. La razón de conservación y de la elección de un tipo de maíz ante otro responde en parte, a un comportamiento sociocultural fuertemente arraigado en el estado de Yucatán. Lo que hace a cada tipo de maíz atractivo para su elección son las características culinarias, el color, el sabor u otra característica distintiva, adicional a las agronómicas.

Entre la población encuestada, solamente uno de los milperos indicó que el maíz morado aporta mayores nutrientes al consumirlo, lo que indica el desconocimiento que se tiene en la sociedad milpera yucateca de los beneficios nutraceuticos de los maíces pigmentados, pero sí tienen presente la demanda que en la actualidad se tiene por estos maíces, sobre todo en el ámbito restaurantero en regiones turísticas como Tulum, Cancún y Playa del Carmen, sitios donde les han demandado para la compra el maíz morado. Por lo que, dar a conocer un distintivo o atributo de las razas locales en los consumidores, podría hacerlas rentables para competir en el mercado contribuyendo así a su conservación de manera eficiente en sus sitios de cultivo (Riesco, 2004).

En años anteriores, los maíces pigmentados, tanto rojos como morados, contaban con una baja demanda a nivel estatal. Actualmente estos maíces han estado ganando impulso, sobre todo los morados, por la cualidad distintiva que poseen siendo usados en restaurantes para la elaboración de platillos gourmet (Miranda *et al.*, 2018). Con esta demanda se ha despertado el interés en su siembra dentro de algunos milperos de Yucatán quienes han visto el potencial de venta para el maíz morado. La producción de los sistemas de semillas está relacionada con la comercialización, siendo el tamaño del mercado crucial para el desarrollo de variedades nativas.

El color morado puede ser una característica a heredar, particularmente en una población de maíz con un ciclo de vida intermedio, variedad con la que aún no se cuenta en la Península de Yucatán. Los maíces morados de Yucatán son tardíos principalmente, lo que sugiere la necesidad de generación de nuevas variedades en la región. El interés no sólo se deriva por cuestión del color, si no a que los maíces rojos y morados poseen propiedades nutraceuticas por el contenido de carotenoides y antocianinas presentes en el grano (Bello-Pérez *et al.*, 2016).

En los últimos años, se han intensificado los fenómenos naturales como huracanes y sequías en Yucatán, que obligan a los milperos a buscar semillas en comunidades diferentes a la suya. Esto ha permitido la continuidad de la milpa en las comunidades, favoreciendo el flujo genético entre las poblaciones de maíces que se siembran en milpas cercanas (Canul-Ku *et al.*, 2012). Este intercambio entre milpas, así como también entre comunidades aledañas o de otros estados diferentes a Yucatán, han permitido que el cultivo de maíz sea un sistema dinámico y continuo (CONABIO, 2020).

En este estudio se encontró que el intercambio de germoplasma (flujo genético) como un método de adquisición de semilla entre la región sur y oriente de Yucatán ha favorecido la diversidad fenotípica y probablemente genética en el maíz, no así en la región centro. El hecho de ingresar nuevos genotipos a sus comunidades, por parte de los milperos del sur y del oriente, pudo deberse a una mayor participación de los milperos en Ferias de Semillas, actividad que se efectúa año con año. De esta manera, se ha favorecido la adaptación de los maíces a diferentes microambientes presentes en Yucatán.

El intercambio de semillas es un mecanismo inconsciente para controlar la erosión genética (Medina *et al.*, 2018) donde la intervención humana, que genera ese intercambio, introduce nuevas características genéticas en las poblaciones (Hodgkin *et al.*, 2011). El sistema informal de semillas surgió como respuesta al comportamiento climático en la región, demostrando ser eficiente y exitoso a lo largo del tiempo frente a adversidades naturales (Latournerie *et al.*, 2004).

En cuanto al mantenimiento de la diversidad genética, es difícil indicar la proporción del flujo génico en las milpas tradicionales, por lo que estudios genéticos en estas poblaciones caracterizadas fenotípicamente podrían aportar evidencias de cambios genéticos. El cruzamiento en maíz depende de factores como la dirección y velocidad del viento, la sincronización de la floración y receptividad de los estigmas, así como condiciones de topografía y precipitación (Canul-Ku *et al.*, 2012).

### **Diversidad fenotípica de las poblaciones en maíces de Yucatán**

Se obtuvo una alta variabilidad fenotípica en los maíces nativos caracterizados a nivel inter e intrapoblacional, hecho que se observó en el ANDEVA, el ACP y en el análisis de similitud (Figuras 2 y 3). El contar con alta variación genética en los maíces nativos de Yucatán, a pesar del bajo número de razas presentes, hace ver su importancia en el tema de selección y mejoramiento.

La variación se debe a que los datos proceden de maíces de diferentes razas y variedades que aún conservan sus rasgos identificables. También a que son maíces que han sido sometidos a diferentes microambientes de crecimiento que pueden llegar a ser muy contrastantes (Urbazaev *et al.*, 2018), suelos con diferentes propiedades físicas y químicas (Borges-Gómez *et al.*, 2005), distintas profundidades (Bautista *et al.*, 2015), diferentes tipos climáticos (Orellana *et al.*, 2009) y diferentes sistemas de manejo por los agricultores.

En cuanto a las condiciones ambientales que pueden generar las diferencias fenotípicas de los maíces de Yucatán, de acuerdo con las zonas de la región tenemos que, la zona sur cuenta con las mayores altitudes, llegando a alcanzar los 250 msnm, contrario a lo que se tiene en las zonas oriente y centro, con altitudes menores a los 50 msnm. En lo que respecta a la distribución del ACP, se observa una ligera segregación de los maíces del oriente del estado con las del sur, en el grupo NT, XM/T y T. Chávez-Servia *et al.* (2011) mostraron que la variación morfológica evaluada en maíces presentó un patrón altitudinal de acuerdo con el origen de colecta con diferencias de 200 msnm entre sitios. El tipo de suelo rendzina (k'ankabales con coloración roja) se presenta en la parte sur del estado, en la parte central del Estado se cuenta con suelos de tipo cambisol y litosol que es un suelo joven y poco desarrollado con profundidades de 10 cm (Aguilera, 1958; Duch, 2004).

En la zona sur y este se registra un clima cálido subhúmedo  $Aw_0(x')$  y  $Aw_2(x')$  respectivamente, siendo las zonas más húmedas del estado y coincidiendo con la zona de mayor altitud. En tanto, los climas más secos ( $Aw_0$ ) se presentan en la zona centro (Bautista y Palacio, 2012). Por lo tanto, estos maíces han pasado por diferentes regímenes de lluvias por ser maíces de temporal. Es probable que los maíces que se cultivan en la zona centro, al crecer bajo un clima seco, tuvieran cierto potencial de adaptación a sequía. La adaptabilidad de las poblaciones de maíces a las diferentes regiones geomorfológicas con mejor respuesta ante condiciones estresantes, plagas y enfermedades (Villalobos-González *et al.*, 2019) permite identificar a las poblaciones prometedoras. Hernández-Xolocotzi (1985) indicó que el conjunto de características de la agricultura yucateca, donde se cultivan los maíces nativos, diferencia a esta región claramente del resto de las regiones agrícolas de México (Bautista y Palacio, 2012).

Las diferencias encontradas en el ANDEVA coinciden con lo reportado por Mijangos-Cortés *et al.* (2017) en las variables caracterizadas al evaluar 80 poblaciones de Xnuk nal, Dzit bacal y Nal tel de la Península de Yucatán. Mijangos-Cortés (2013), indicó diferencias

significativas para la totalidad de las variables, mismas variables medidas en la mazorca en este estudio con colectas del 2020. Los resultados de DMS indicaron que, de acuerdo con la clasificación en maíces, para los maíces intermedios se tuvo una mayor conformación de grupos, sobre todo en cuanto a diámetro de olote. Al comparar las razas se observa que en la variable espesor de grano se conformó un mayor número de grupos en los maíces intermedios, no así en los maíces tardíos y precoces. El carácter que menos grupos diferentes formó en los maíces intermedios y precoces fue el número de hileras de la mazorca; y en maíces tardíos el espesor de grano. Lo cual puede sugerir una homogeneidad durante la selección antropocéntrica dirigida en estas dos variables, tal como mencionan Herrera *et al.* (2002).

En el tema de mejoramiento genético, es importante reducir la variación en las poblaciones de maíces para contar con plantaciones más homogéneas en sus caracteres, por lo que el contar con caracteres con poca amplitud de variación, resulta de interés para su selección. De esta manera, el trabajo de mejoramiento se debe dirigir hacia los otros caracteres que aún requieren de una depuración en su variación.

De acuerdo con su ubicación en el plano bidimensional de los diferentes grupos conformados en el ACP, se observó un gradiente de acuerdo con las razas y cruza interracial, estrechamente relacionado a los ciclos fenológicos de los maíces nativos presentes en Yucatán. Las poblaciones Nal tel se diferenciaron del resto, teniendo los valores más bajos en sus variables biométricas de mazorca como corresponde a un maíz de tipo precoz, en comparación con los maíces tardíos Tuxpeños (Burgos *et al.*, 2004). Incluso dentro del grupo precoz (Nal tel) se observa la conformación de subgrupos que indican la procedencia del germoplasma de acuerdo con su región geomorfológica (zona de recolecta). Esto sugiere que en estos maíces se tiene una fuerte influencia de las condiciones ambientales a los que estuvieron sometidos durante su formación y crecimiento, así como el manejo particular recibido de acuerdo con los criterios de selección de cada milpero en cada región. Asimismo, los diferentes ciclos de selección bajo domesticación a través del tiempo resultan en divergencias a pesar de ser maíces de la misma raza.

También se hace notar que, las poblaciones de NT en el sur de Yucatán tuvieron una agrupación compacta como respuesta a la cercanía de las localidades de recolecta, donde la Pob 115 (Nal tel rojo) y Pob 116 (Nal tel morado) provienen de la misma región geomorfológica (Xoy, Peto, Yucatán). La Pob 58 (Xmejen nal amarillo) procede del municipio de Peto y las Pob 6 y 20 (ambas, Nal tel rojo) provienen de los municipios de Tahdziú y Tixméhuac, geográficamente cercanos a Peto; el primero se ubica a 8.57 y el segundo

a 25 km. Siendo probable que una población de maíz tomada de un sitio, se diseminó hacia las otras comunidades cercanas mediante el intercambio de germoplasma que se da entre los milperos, en búsqueda de obtención de semilla nueva (Dzib-Aguilar *et al.*, 2016).

Los maíces intermedios como Dzit bacal, cruza interracial de Xmejen nal y algunos Tuxpeños tuvieron valores promedio intermedios, ubicándose en la parte central de la gráfica. Los maíces Dzit bacal tuvieron valores mínimos en NHM y DO, variables que determinan el CP2 y se ubicaron en la parte inferior de la gráfica. Siendo una característica distintiva el NHM en la raza Dzit bacal, al contar con valores de ocho a 10 hileras, no más y ser de olote flexible (CONABIO, 2020a; Wellhausen *et al.*, 1951). Con los mayores valores de PSM, PGM, PO, LM, DM y P100S se ubicaron los maíces tardíos con características propias de un Tuxpeño, esto es, mazorcas más grandes comparadas con los otros tipos de maíces, ubicándose en la parte superior derecha del ACP.

La agrupación del ACP coincidió, en su mayoría, con los grupos formados en el análisis de conglomerados y con el análisis discriminante. En la agrupación DB del ACP todas las poblaciones fueron confirmadas por el análisis discriminante. La Pob. 107T es un caso que también genera certeza en las agrupaciones del ACP, puesto que se agrupa con el resto de las poblaciones que se presentan en T/NX en el ACP, lo cual se confirma con el análisis discriminante que lo ubica en el G3, no así en el análisis de similitud donde se observa en el G1. La Pob. 87XM segregado en el ACP, se confirma su separación con el análisis discriminante y de similitud. Esta población proviene de una comunidad del sur del estado de Yucatán, apartada de otras comunidades, donde el productor indicó su manejo por más de 50 años. Esto indica el aislamiento que ha tenido esta población, resultado de su separación del resto de las poblaciones Xmejen nal colectadas en este estudio.

El número de poblaciones que recaen en G2, G3, G4, G5, G6 y G7 en el análisis de similitud coincidieron totalmente con los tamaños de grupo de la clasificación del análisis discriminante en un 100%. Únicamente G1 presentó discordancia con la agrupación del análisis discriminante en 16% de los casos. Sobre todo, el G1 presenta una combinación de las diferentes razas/variedades de maíces caracterizados, siendo el grupo más numeroso; que es donde recaen las poblaciones que tienen características distintivas de los diferentes grupos.

Se integraron de manera adecuada los genotipos en los grupos definidos en el ACP, coincidiendo con el número de grupos encontrados en el análisis



discriminante, de esta manera se confirma el hecho de contar con siete grupos en las 100 poblaciones de maíces evaluados.

Por otra parte, se diferenciaron las poblaciones de maíces precoces Nal tel, los maíces intermedios Dzit bacal y los tardíos Tuxpeños. Esta agrupación confirma que la descripción de la variabilidad, basados en los caracteres de mazorca en maíz, tiene gran influencia para realizar una clasificación. La similitud fenotípica encontrada en poblaciones nativas de maíz en la Península de Yucatán ha sido reportada con anterioridad por Burgos *et al.* (2004), en la que se forma un continuo de variación que inicia con los materiales precoces (Nal tel) y finaliza con los tardíos (Tuxpeño).

Los resultados en este estudio sugieren un flujo genético entre las tres diferentes regiones geomorfológicas, principalmente en las poblaciones de maíces Tuxpeños, donde no se tuvieron separaciones perceptibles de acuerdo con su procedencia.

Las poblaciones sobresalientes por su capacidad de rendimiento son: Nal tel rojo (Pob 6) y Nal tel morado (Pob 116); Xmejen nal blanco (Pob 2 y 87); Tuxpeño blanco (Pob 55), Tuxpeño amarillo (Pob 48), Tuxpeño rojo (Pob 8 y 107) así como Tuxpeño morado (Pob 51 y 64). Las poblaciones 51 y 64 son de interés para la obtención de colorante a partir del endospermo del grano, siendo maíces con pigmentación morada. Se prestaría especial atención a las poblaciones rojas 8 y 107 por su color en olote. Se colectó solo una población precoz Nal tel morado (Pob 116), lo que lo hace promisorio para su selección en Yucatán. Actualmente la selección en programas de mejoramiento genético busca obtener variedades precoces debido a su corto ciclo fenológico (Velasco-García *et al.*, 2019). Se identificaron otras poblaciones que, a pesar de no sobresalir en sus caracteres, requieren atención para trabajos de mejoramiento genético, como la Pob 105 (maíz rojo) que presentó alta intensidad de coloración en el olote, por encima de las demás poblaciones rojizas.

## CONCLUSIONES

Se encontró una amplia variación fenotípica característica de un conjunto de poblaciones domesticadas en cultivo. Se identificaron 10 poblaciones promisorias (precoces, intermedios y tardíos) para iniciar su selección y mejoramiento en el estado de Yucatán, con una amplia base genética y buena capacidad de rendimiento de acuerdo con la caracterización fenotípica realizada en mazorcas. Dichas poblaciones fueron: Pob. 2, 6, 8, 48, 51, 55, 64, 87, 107 y 116. Se pudo ver una marcada diferenciación en los maíces Nal tel, Xmejen nal y ligeramente en Dzit bacal, pero no en los Tuxpeños. Estas características en

común en Tuxpeños, independientemente de su zona de procedencia, son resultado del manejo tradicional de la especie, selección e intercambio entre los milperos en el estado de Yucatán, lo que genera el flujo genético a nivel poblacional.

Los maíces nativos son mayormente conservados en la región sur y oriente de Yucatán, donde se recolectó la mayor diversidad. Unas poblaciones de maíces están más conservadas que otras, contando con una baja frecuencia de maíces de grano rojo, resultado de una menor selección y uso por parte de los milperos.

Este estudio es un aporte al panorama de la situación actual de los maíces nativos en Yucatán, los cambios que se han dado con el tiempo y la alta variabilidad fenotípica que manejan los milperos en Yucatán.

## Agradecimientos

Al financiamiento externo del Fondo Mixto YUC-2018-03-01119959 de CONACYT y al Gobierno del Estado de Yucatán. A la beca CONACYT otorgada bajo el No. de CVU 817460 para poder realizar las actividades de investigación. A todos los milperos que otorgaron el germoplasma requerido para este estudio, en especial a los productores de Xoy, Peto, Yucatán.

**Funding.** Mixed Fund YUC-2018-03-01119959 of CONACYT / Government of the State of Yucatan. CONACYT Scholarship CVU No. 817460.

**Conflict of interests.** Nothing to declare.

**Compliance with ethical standards.** Not applicable.

**Data availability.** Data is available with Dr. Javier O. Mijangos Cortés, [jomijangos@cicy.mx](mailto:jomijangos@cicy.mx) upon reasonable request.

## Author contribution statement (CRediT)

**E.M. Ku-Pech** – Research approach, milpa data recording, information processing, statistical data analysis, original draft preparation, writing, review and editing. **J.O. Mijangos-Cortés** – Director, administration and supervision of the research, writing, review and editing. **I. Islas-Flores** – Information analysis, draft review and writing. **E. Sauri-Duch** – Information analysis, draft review and writing. **L. Latournerie-Moreno** – Writing, review of databases, validation of statistical analysis. **Y. Rodríguez-Llanes** – Information analysis, draft review and writing. **J.L. Simá-Gómez** – Field technical support for germplasm collections, Mayan-speaking translator with milperos and draft review.

## REFERENCIAS

Adebayo, M., Menkir, A., Gedil, M., Blay, E., Gracen, V., Danquah, E. and Funmilayo, L., 2015.

- Diversity assessment of drought tolerant exotic and adapted maize (*Zea mays* L.) inbred lines with microsatellite markers. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, [e-journal] 18(3), pp. 147-154. <https://doi.org/10.1007/s12892-014-0076-3>.
- Aguilar, C.G., Torres, P.H., Medina, M.J. and Nava, P.R., 2015. Conocimiento de la diversidad y distribución actual del maíz nativo y sus parientes silvestres en México, segunda etapa 2008-2009. *Informe final Estados: Campeche, Quintana Roo y Yucatán*, Proyecto No. FZ016. México D.F.: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Noroeste.
- Aguilera, H.N., 1958. Suelos. En: E. Beltrán, ed. 1958. *Los recursos naturales del sureste y su aprovechamiento*. México: Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables, A.C. págs. 175-212.
- Arias, L.M., Latournerie, L., Montiel, S. and Sauri, E., 2007. Cambios recientes en la diversidad de maíces criollos de Yucatán, México. *Universidad y Ciencia Trópico Húmedo*, 23(1), pp. 69-74.
- Bautista, F. and Palacio, G., 2012. *Península de Yucatán. Parte III. Regionalización edáfica del territorio de México*. México: Centro de Investigación en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Bautista, F., Frausto, O., Ihl, T. and Aguilar, Y., 2015. An update soil map of The Yucatan State, Mexico: Geomorphopedological approach and WRB. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 2(6), pp. 303-315.
- Bello, P.L., Camelo, M.G., Agama, A.E. and Utrilla, C.R., 2016. Aspectos nutraceuticos de los maíces pigmentados: Digestibilidad de los carbohidratos y antocianinas. *Agrociencia*, 50(8), pp. 1041-1063.
- Borges, G.L., Escamilla, B.A., Soria, F.M. and Casanova, V.V., 2005. Potasio en suelos de Yucatán. *Terra Latinoamericana*, 23(4), pp. 437-445.
- Burgos, M.L., Chávez, S.J. and Ortiz, C.J., 2004. Variabilidad morfológica de maíces criollos de la Península de Yucatán, México. En: S.J. Chávez, J. Tuxill y D.I. Jarvis eds. 2004. *Manejo de la diversidad de los cultivos en los agroecosistemas tradicionales*. Cali, Colombia: Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, págs. 58-66.
- Canul, K.J., Ramírez, V.P., Castillo, G.F., Chávez, S.J., Livera, M.M. and Arias, R.L., 2012. Movimiento de polen entre maíces nativos de Yucatán y mantenimiento de diversidad genética. *Ra Ximhai*, 8(3), pp. 51-60.
- Cárcamo, M.I., García, M., Manzur, M.I., Montoro, Y., Pengue, W., Salgado, A., Velázquez, H. and Vélez, G., 2011. *Biodiversidad, erosión y contaminación genética del maíz nativo en América Latina*. 1ª edición. Colima, México: The Network for a Latin America Free of Transgenics (RALLT), MAS Grafica.
- Camacho, V.T. and Chávez, S.J., 2004. Diversidad morfológica del maíz criollo de la región centro de Yucatán, México. En: S.J. Chávez, J. Tuxill and D.I. Jarvis eds. 2004. *Manejo de la diversidad de los cultivos en los agroecosistemas tradicionales*. Cali, Colombia: Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, págs. 58-66.
- Chaves, B.N. and Gutiérrez, S.M., 2017. Crop physiological responses to high temperature stress. II. Tolerance and agronomic treatment. *Universidad Mesoamericana*, 28(1), pp. 255-271.
- Chávez, S.J., Diego, F.P. and Carrillo, R.J., 2011. Complejos raciales de poblaciones de maíz evaluadas en San Martín Huamelulpan, Oaxaca. *Ra Ximhai*, 7(1), pp. 107-115.
- CONABIO, 2020. Razas de maíz de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Cd. de México. México. Disponible en: <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices/razas-de-maiz> [Consultado el 24 de abril de 2023].
- CONABIO, 2020a. Diversidad natural y cultural. Dzit Bacal. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Cd. de México. México. Disponible en: < <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices/razas/grupo-MaduracionT/Dzitb> [Consultado el 25 de abril de 2023].
- Conceição, D.L., Garruña, R., Andueza, N.R., Latournerie, M.L., Mijangos, C.J. and Pineda, D.A., 2019. Comportamiento agronómico y fisiológico de maíces nativos del sureste de

- México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(6), pp. 1247-1258.
- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., González, L., Tablada, M. and Robledo, C.W. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Disponible en: <http://www.infostat.com.ar> [Consultado el 3 de agosto de 2022].
- Duch, G.J., 1991. Fisiografía del estado de Yucatán: su relación con la agricultura. *Fisiografía del estado de Yucatán: su relación con la agricultura*. Universidad Autónoma de Chapingo, México.
- Duch, G.J., 2004. La nomenclatura maya de suelos: una aproximación a su diversidad y significado en el sur del estado de Yucatán. *Revista de Geografía Agrícola*, [en línea] Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75703405> [Consultado el 10 de febrero de 2023].
- Dzib, A.L., Ortega, P.R. and Segura, C.J., 2016. Conservación *in situ* y mejoramiento participativo de maíces criollos en la Península de Yucatán. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 19, pp. 51-59. Disponible en: <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/2179/1004> [Consultado el 03 de mayo de 2023].
- ESRI, 2020. *ArcGIS Pro: Cartografía*. Redlands, CA. Disponible en: <https://www.esri.com/> [Consultado el 10 de julio de 2022].
- FAO, 2013. *Normas para bancos de germoplasma de recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura*. Roma: Edición revisada. Disponible en: [https://cropgenebank.sgrp.cgiar.org/images/files/learning\\_space/GeneBank\\_SPA\\_WebFile.pdf](https://cropgenebank.sgrp.cgiar.org/images/files/learning_space/GeneBank_SPA_WebFile.pdf) [Consultado el 5 de enero de 2022].
- González, C.M., Palacios, R.N., Espinoza, B.A. and Bedoya, S.C., 2013. Genetic diversity in tropical Mexican landraces of maize. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36(Especial 6), pp. 329-338.
- González, V.N., Cetzal, I.W., Martínez, P.J., Soria, F.M., Burgos, C.M. and Arcocha, G.E., 2017. *Razas y variedades nativas de maíz (Zea mays L.) en la Península de Yucatán, México*. Campeche, México: Instituto Tecnológico de Chiná.
- González, V.A., García, R.J. and López, H.M., 2018. Maíces en primavera-verano en Campeche, México. En: H.J. Martínez, G.M. Ramírez y C.J. Cámara eds. 2018. *Investigaciones Científicas y Agrotecnológicas para la Seguridad Alimentaria*. Villahermosa, Tabasco: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco - Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, págs. 2-7.
- Gutiérrez, C.M. and Magaña, M.M., 2017. Migración e influencia urbana en el consumo de alimentos en dos comunidades mayas de Yucatán. *Estudios Sociales*, 27(50), pp. 2395-9169. <http://dx.doi.org/10.24836/es.v27i50.429>
- Herrera, C.B., Macías, L.A., Díaz, R.R., Valadez, R.M. and Delgado, A.A., 2002. Uso de semilla criolla y caracteres de mazorca para la selección de semilla de maíz en México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 25(1), pp. 17-23.
- Hernández, X.E., 1985. La agricultura en la Península de Yucatán. En: X.E. Hernández ed. 1985. *Xolocotzia: Obras de Efraín Hernández Xolocotzi. Tomo I*. Estado de México: Universidad Autónoma de Chapingo., págs. 371-409.
- Hodgkin, T., Rana, R., Tuxill, J., Balma, D., Subedi, A., Mar, I., Karamura, D., Valdivia, R., Collado, I., Latournerie, L., Sadiki, M., Sawadogo, M., Brown, A.H. and Jarvis, D.I., 2011. Sistemas de semillas y diversidad genética de los cultivos en sistemas agrícolas. En: D. Jarvis, C. Padoch y H.D. Cooper eds. *El manejo de la biodiversidad en los sistemas agrícolas*. Roma, Italia: Bioversity International, págs. 82-121.
- INAFED (Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal) / INDERM (Instituto de Desarrollo Regional y Municipal Gobierno del Estado de Yucatán), 2023. Enciclopedia de los Municipios de México – Yucatán. Disponible en: <http://www.yucatan.gob.mx/estado/municipios.php> [Consultado el 23 de mayo de 2022].
- INEGI, 2016. Estudio de información integrada del acuífero cárstico Península de Yucatán / Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México: INEGI, c2016. 132 p. Disponible en: [https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/pr](https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/pr)

- [oductos/nueva\\_estruc/702825086886\\_1.pdf](#) [Consultado el 03 de mayo de 2023].
- INEGI, 2017. *Conociendo Yucatán*. Aguascalientes, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Disponible en: [https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/estudios/conociendo/702825097349.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/estudios/conociendo/702825097349.pdf) [Consultado el 23 de mayo de 2022].
- Kauffer, M.E. and Villanueva, A.C., 2011. Retos de la gestión de una Cuenca construida: la Península de Yucatán en México. *Aqua-LAC*, 3(2), pp. 81-91.
- Ku, P.E., Mijangos, C.J., Andueza, N.R., Chávez, P.M., Simá, P.P., Simá, G.J. and Arias, R.L., 2020. Estrategias de manejo de la milpa maya en Xoy, Peto, Yucatán. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 7(1), pp. 1-8. <http://10.19136/era.a7n1.2244>
- Latournerie, M.L., Arias, R.L., Tuxill, J., Yupit, M.E., Gómez, L.M. and Ix, N.J., 2004. Maize seed supply systems in a Mayan community of Mexico. En: D.I. Jarvis, P.R. Sevilla, S.J. Chávez and T. Hodgkin eds. *Seed Systems and Crop Genetic Diversity On-Farm. Proceedings of a Workshop*. Pucallpa, Peru: International Plant Genetic Resources Institute, págs. 16-20.
- Magdaleno, H.E., Mejía, C.A., Martínez, S.T., Jiménez, V.M., Sánchez, E.J. and García, C.J., 2016. Selección tradicional de semilla de maíz criollo. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 13(3), pp. 437-447.
- Martínez, C.J., Zizumbo, V.D., Perales, R.H. and Colunga, G.P., 2004. Intraespecific diversity and morpho-phenological variation in *Phaseolus lunatus* L. from the Yucatan peninsula, Mexico. *Economic Botany*, 58(3), pp. 354-380.
- Medina, H.T., Cañedo, T.D., Aguirre, A.C. and Tello, F.H., 2018. Línea de base de la diversidad genética del maíz peruano con fines de bioseguridad. Lima, Perú: Ministerio del ambiente.
- Mijangos, C.J., 2013. Colecta de maíces nativos en regiones estratégicas de la Península de Yucatán. *Informe final SNIB-CONABIO*. Proyecto No. FZ014. México, D.F: Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. Unidad de Recursos Naturales.
- Mijangos, C.J., Latournerie, M.L., Simá, P.P., Santacruz, V.A. and Muñoz, O.A., 2015. Diversidad genética de maíces en la Península de Yucatán. En: I.S. Cruz, O.R. Lobato, R.I. Ramírez, H.N. Cruz, R.J. Martínez, M.V. Vidal, C.M. Mendoza, L.E. de la Cruz, M.J. Sánchez, M.J. López, A.H. Guillen and L.C. Parraguirre eds. *Acta Fitogenética. VI Reunión Nacional de Maíces Nativos*. México: SOMEFI, A.C. pág. 33.
- Mijangos, C.J., Latournerie, M.L., Santacruz, V.A., Larqué, S.A., Martínez, C.J., Ortíz, G.M., Ku, P.E. and Simá, P.P., 2017. Relaciones Filogenéticas y Diversidad Genética de las razas Antigua de Maíz Nal Tel y las recientes Dzit Bacal y Tuxpeño. Informe Final CONACYT CB 08. Proyecto No. 103441. México, D.F: Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. Unidad de Recursos Naturales.
- Miranda, M.A., Rendón, M.R. and López, T.B., 2018. Caracterización de consumidores meta para maíz nativo de especialidades en la región centro de México. *Séptimo Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas*, Estado de México, 20-21 de septiembre de 2018. Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco.
- Olvera, O.R., 2016. Jóvenes y migración en Mamita, Yucatán. En: P.I. Cornejo and Ancira, A.A. eds. *Juventud rural y migración mayahablante: acechar, observar e indagar sobre una temática emergente*. México, UAM, Unidad Cuajimalpa, División de Ciencias de la Comunicación y Diseño, págs. 95-127.
- Orellana, L.R., Espadas, M.C., Conde, A.C. and Gay, G.C., 2009. *Atlas. Escenarios de cambio climático en la Península de Yucatán*. Mérida, Yucatán, México: Centro de Investigación Científica de Yucatán AC y Centro de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ortega, P.R., 1999. *Genetic erosion in Mexico. Proceedings of the technical meeting on the methodology of the FAO World Information and Early Warning System on plant genetic resources*. Research Institute of Crop Production.
- Ortega, P.R., 2020. *Aportes al estudio de la diversidad de maíz en México. I. Aspectos generales, importancia y amenazas a dicha diversidad*.

- México: Proyecto Global de Maíces Nativos. CONABIO.
- Pinedo, R., Collado, L., Arias, L. and Shagarodsky, T., 2009. Importancia del maíz, frijol, pallar y chile en agroecosistemas tradicionales del trópico húmedo de Cuba, México y Perú. En: M. Herman, K. Amaya, L. Latournerie and L. Castiñeiras eds., 2009. *¿Cómo conservan los agricultores sus semillas en el trópico húmedo de Cuba, México y Perú? Experiencias de un proyecto de investigación en sistemas informales de semillas de chile, frijoles y maíz*. Rome, Italy: Bioversity International.
- Riesco, A., 2004. Factors Affecting Seed Systems. En: D.I. Jarvis, P.R. Sevilla, S.J. Chávez and T. Hodgkin eds., 2004. *Seed Systems and Crop Genetic Diversity On-Farm. Proceedings of a Workshop*, Pucallpa, Peru: International Plant Genetic Resources Institute.
- Rincón, S.F., Aragón, C.F., Coutiño, E.B., Gómez, M.N., Hernández, C.J., Ortega, C.A., Ruiz, T.N. and Vidal, M.V., 2012. *Conocimiento de la diversidad y distribución actual del maíz nativo y sus parientes silvestres en México*. México: Proyecto Global de Maíces Nativos. Anexo 7. Guía de colecta. CONABIO.
- RStudio Team, 2019. RStudio: Integrated Development for R. RStudio, Inc., Boston, MA Disponible en: <http://www.rstudio.com/> [Consultado el 10 de agosto de 2022].
- Salinas, M.Y., García, S.C., Coutiño, E.B. and Vidal, M.V., 2013. Variabilidad en contenido y tipos de antocianinas en granos de color azul/morado de poblaciones mexicanas de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36(Supl. 3-A), pp. 285-294.
- SNICS, 2010. *Manual gráfico para la descripción varietal en maíz (Zea mays L.)*. Tlalneplanta, Estado de México. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. México, D.F.: Colegio de Posgraduados.
- Statgraphics Centurion., 2013. Statgraphics Centurion XVI Software Version 16.2.04. Warrenton, Virginia, USA: StatPoint Technologies Inc. Retrieved from <http://www.statgraphics.net>.
- Turrent, A. and Serratos, J.A., 2004. *Maize and Biodiversity: the effects of transgenic maize in Mexico. Chapter 1 Context and background on maize and its wild relatives in Mexico*. Oaxaca, México: Secretariat of the Commission for Environmental Cooperation of North America. Disponible en: <http://www.cec.org/publications/maize-and-biodiversity/> [Consultado el 7 de septiembre de 2022].
- Urbazaev, M., Thiel, C., Cremer, F., Dubayah, R., Migliavacca, M., Reichstein, M. and Schullius, C., 2018. Estimation of forest aboveground biomass and uncertainties by integration of field measurements, airborne LiDAR, and SAR and optical satellite data in Mexico. *Carbon balance and management*, 13(5), pp.1-20. <https://doi.org/10.1186/s13021-018-0093-5>
- Usha, R.G., Satyanarayana, M.L. and Narasimha, K.L., 2017. Character association and path coefficient analysis of grain yield and yield components in maize (*Zea mays* L.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(12), pp.4044-4050. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.612.465>
- Uzcanga, P.N., Larqué, S.B., Del Ángel, P.A., Rangel, F.M. and Cano, G.J., 2017. Preferencias de los agricultores por semillas mejoradas y nativas de maíz en la Península de Yucatán, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(5), pp. 1021-1033.
- Velasco, G.A., García, Z.J., Sahagún, C.J., Lobato, O.R., Sánchez, A.C. and Marín, M.I., 2019. Rendimiento, componentes de rendimiento y heterosis de germoplasma de maíz adaptado a Valles Altos. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 42(4), pp. 367-374.
- Velasco, G.A., Garcia, Z.J., Sahagun, C.J., Lobato, O.R., Sánchez, A.C. and Marín, M.I., 2020. Análisis de la variabilidad morfológica de maíces nativos y exóticos en Valles Altos de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 43(4-A), pp. 517-524.
- Vidal, M.V., Clegg, M.D., Johnson, B.E., Osuna, G.J. and Coutiño, E.B. Phenotypic plasticity and pollen production components in maize. *Agrociencia*, 38, 273-284.
- Villalobos, G.A., López, H.M., Valdivia, G.N., Arcocha, G.E. and Medina, M.J., 2019. Morphological variability of native corn (*Zea mays* L.) in the Yucatan, Peninsula, Mexico. *Agroproductividad*, 12(11), pp. 15-20. Disponible en: <https://go.gale.com/ps/i.do?p=IFME&u=goo>

[glescholar&id=GALE|A612475633&v=2.1&it=r&sid=googleScholar&asid=525b3530](https://scholar.gale.com/it=r&sid=googleScholar&asid=525b3530)  
[Consultado el 03 de mayo de 2023].

Wellhausen, E.J., Roberts, L.M. and Hernandez, X.E., 1951. Razas de maíz en México. Su origen, características y distribución. En: J. Dutch, P. Muench, J.P. de Pina y F. Insunza eds. *Xolocotzia*, Tipografía, Diseño y Edición S.A. de C.V., México.