



CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y VARIACIÓN ECOGEOGRÁFICA DE POBLACIONES DE MAÍZ NATIVO DE UN TRANSECTO MULTIALTITUDINAL DE TAMAULIPAS, MÉXICO

MORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION AND ECOGEOGRAPHIC VARIATION OF MAIZE LANDRACE POPULATIONS IN A MULTIALTITUDINAL TRANSECT OF TAMAULIPAS, MEXICO

Víctor Manuel Toribio-Solís¹, Yolanda del Rocío Moreno-Ramírez¹, Alberto Santillán-Fernández², Julio César Chacón-Hernández¹, Efraín Neri-Ramírez¹ y Mario Rocandio-Rodríguez^{1*}

¹Universidad Autónoma de Tamaulipas, Facultad de Ingeniería y Ciencias, Ciudad Victoria, Tamaulipas. México. ²SECIHTI-Colegio de Postgraduados, Campus Campeche, Sihochac, Champotón, Campeche, México.

*Autor de correspondencia (mrocandio@docentes.uat.edu.mx)

RESUMEN

Los análisis de diversidad de las poblaciones de maíz nativo proporcionan información sobre su distribución y permiten identificar puntos estratégicos donde se puedan cultivar y garantizar su conservación. El objetivo del presente estudio fue caracterizar la diversidad de poblaciones de maíces nativos mediante variables de mazorca y grano para generar indicadores de la agrobiodiversidad; además, determinar su distribución espacial en el área de recolectas e identificar áreas potenciales de conservación mediante herramientas geoestadísticas. Se recolectaron 36 poblaciones de maíz nativo en la región occidental de la Reserva de la Biósfera "El Cielo", en Tamaulipas, México. Las recolectas fueron clasificadas racialmente y se analizaron variables cuantitativas y cualitativas de mazorca y grano; asimismo, variables ecogeográficas como altitud, longitud, precipitación media, temperatura media y altitud. Se encontraron las razas Celaya, Ratón, Tuxpeño, Tuxpeño Norteño, Olotillo, Cónico, Tabloncillo y Elotes Occidentales. La altitud se consideró como el factor ecogeográfico con mayor influencia en la distribución de maíces nativos. Se llevó a cabo un análisis de componentes principales para variables cuantitativas y ecogeográficas; además, fueron efectuados análisis de riqueza y diversidad. La mayor riqueza y diversidad se encontró en altitudes medias-bajas, de 400 a 1200 msnm, considerándose como áreas potenciales para la conservación *in situ* de la agrobiodiversidad de maíces nativos en la parte occidental de la Reserva de la Biósfera "El Cielo", Tamaulipas, México.

Palabras clave: *Zea mays* L., agrobiodiversidad, poblaciones nativas, riqueza genética.

SUMMARY

Analyses of native maize populations diversity provide information on their distribution and allow to identify strategic points where they can be cultivated and ensure their conservation. The objective of this study was to characterize the diversity of native maize populations using traits of the ear and grain to generate agrobiodiversity indicators, determine their spatial distribution in the collection area, and identify potential conservation areas using geostatistical tools. Thirty-six populations of native maize were collected in the Western side of "El Cielo" Biosphere Reserve, in Tamaulipas, Mexico. The accessions were classified by race, and quantitative and qualitative traits of the cob and grain were analyzed, along with eco-geographic variables such as altitude, longitude, mean precipitation, mean temperature and altitude. The races Celaya, Ratón, Tuxpeño, Tuxpeño Norteño, Olotillo, Cónico, Tabloncillo and Elotes Occidentales were found. Altitude was considered as the ecogeographic

factor with the largest influence on the distribution of native maize. A principal component analysis was performed for quantitative and ecogeographic variables; in addition, analyses of richness and diversity were also carried out. The greatest richness and diversity were found at medium-low altitude, 400 to 1200 masl, being considered as potential areas for *in situ* conservation of native maize agrobiodiversity in the Western side of "El Cielo" Biosphere Reserve, Tamaulipas, Mexico.

Index words: *Zea mays* L, agrobiodiversity, genetic richness, landraces.

INTRODUCCIÓN

El maíz es un cultivo base de diferentes sistemas agroalimentarios (Erenstein *et al.*, 2022). En México, los maíces nativos son de importancia alimenticia, nutricional, económica, social, cultural, política y representan un patrimonio biocultural fundamental al ser señalado el país como centro de origen (Vega *et al.*, 2022). El maíz se cultiva desde el nivel del mar hasta los 4000 msnm, en diferentes climas y en diversos tipos de suelo, planicies y laderas; asimismo, en distintas épocas del año, además en múltiples sistemas de manejo y desarrollo tecnológico (Kato *et al.*, 2009).

En México se encuentran 59 razas de maíz (Sánchez *et al.*, 2000), que mediante esquemas tradicionales, la semilla se hereda de padres a hijos y así, la sucesión generacional en la producción de maíz nativo ha contribuido a la evolución y diversificación de los agrosistemas, así como la conservación y adopción de nuevas estrategias frente a las diferentes condiciones ambientales de las regiones donde se cultivan (Reza-Solis *et al.*, 2024); además, las variaciones intraespecíficas que poseen ayudan a conservar caracteres morfológicos y fisiológicos que les permite prosperar bajo diferentes condiciones de temperatura, precipitación y altitud, considerados como factores importantes en su distribución y adaptación

(Espinosa-Espinosa *et al.*, 2018; González-Santos *et al.*, 2023; Hernández-Verdugo *et al.*, 2012). En ese sentido, el estado de Tamaulipas es considerado como centro de origen del maíz (Ortega *et al.*, 1991; SAGARPA, 2012), donde se han encontrado razas como Bolita, Celaya, Olotillo, Ratón, Tuxpeño, Vandeño, Elotes Occidentales, Tuxpeño Norteño, Chalqueño, Tabloncillo y Nal-Tel (González-Martínez *et al.*, 2018). Por su ubicación geográfica, Tamaulipas presenta extensas áreas de lomeríos y amplios llanos al encontrarse dentro de la Sierra Madre Oriental, la Sierra de San Carlos y la Sierra de Tamaulipas (CONABIO, 2024), donde se localiza amplia diversidad de variedades de maíces nativos que poseen la capacidad de adaptarse a diferentes ecorregiones (Ruiz-Corral *et al.*, 2008).

A pesar de las condiciones adversas y la presencia de amplia diversidad genética de los maíces nativos, existen escasos estudios sobre la diversidad actual en Tamaulipas, en particular, son mínimas las investigaciones donde se analiza la agrobiodiversidad de las poblaciones de maíz nativo, debido a que la mayoría de las investigaciones se enfocan en estudios biocéntricos (González-Martínez *et al.*, 2018; 2019; 2020), así como el análisis de rendimientos de grano y sus componentes (Castro-Nava *et al.*, 2014; Pecina *et al.*, 2011; Toribio-Solís *et al.*, 2022), el rendimiento de forraje (Godina *et al.*, 2020), el análisis de temperaturas para su desarrollo (García-Ramírez *et al.*, 2025) y la resistencia a plagas (Reséndiz *et al.*, 2018); sin embargo, faltan estudios en los nichos ecológicos donde se cultivan maíces nativos y la actualización de información minimiza las estrategias y políticas para su conservación; por lo tanto, afecta el patrimonio biocultural, seguridad y soberanía alimentaria (Toribio-Solis *et al.*, 2024).

Existe amplia diversidad de maíces nativos que no ha sido estudiada (Castro *et al.*, 2013); en ese sentido, analizar la diversidad para conocer su distribución y situar puntos estratégicos donde se puedan cultivar son prioritarios para garantizar su conservación en cada nicho ecológico (González-Martínez *et al.*, 2020). Por lo anterior, el conocer la diversidad de las poblaciones de maíces nativos en comunidades rurales, regiones o estados y las condiciones ecogeográficas donde prevalecen contribuye a generar estrategias de conservación y aprovechamiento (González-Santos *et al.*, 2023); además, con el uso de características climáticas, geofísicas y edáficas se facilita la identificación de poblaciones que cuenten con capacidades adaptativas a condiciones de estrés abiótico (Tapia *et al.*, 2015). Bajo ese contexto, los objetivos del presente estudio fueron caracterizar la diversidad morfológica de poblaciones de maíz nativo mediante variables de mazorca para generar indicadores de la agrobiodiversidad; además, determinar

la distribución espacial en el área de recolectas y, mediante herramientas geoestadísticas, identificar áreas potenciales para su conservación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio y método de recolecta

El estudio se realizó en la región occidental de la Reserva de la Biósfera "El Cielo", Tamaulipas, México, dentro del transecto que comunica a los municipios de Jaumave y Ocampo (Figura 1). Mediante muestreo no probabilístico "Bola de nieve", se recolectaron 36 poblaciones de maíz nativo en cuatro comunidades del municipio de Jaumave: Padrón y Juárez, Paso Real de Guerrero, Nogales y El Travesaño, y cinco de Ocampo: Altamira, San Isidro, San Vicente, Crucitas y San Antonio Buena Vista, con 15 mazorcas por agricultor y se registraron los siguientes datos pasaporte: número de recolecta, nombre del agricultor cooperante, estado, municipio, localidad y fecha de recolección.

Clasificación racial y variables evaluadas

De cada accesión recolectada de maíces nativos se realizó la clasificación racial con ayuda de expertos clasificadores (Dr. Rafael Ortega Paczka-Universidad Autónoma de Chapingo y Dr. Mario Rocandio Rodríguez-Universidad Autónoma de Tamaulipas). Se registraron variables cualitativas de mazorca y grano (Cuadro 1) utilizando los descriptores propuestos por Carballo y Ramírez (2010), los cuales incluyeron forma de la mazorca (FM), arreglo de hileras de la mazorca (ADH), tipo de grano (TG), color de grano (CG), color de olote (CO) y forma de la corona de grano (FCG).

Adicionalmente, se registraron las variables cuantitativas de mazorca y de grano con el descriptor establecido por el CIMMYT-IBPGR (1991), tales como peso de mazorca (PM, g), peso de grano de la mazorca (PdGM, g), peso de olote (PO, g), peso de 100 granos (P100G, g), número de granos por hilera (NGH), número de hileras (Nhi), longitud de la mazorca (LM, cm), diámetro de la mazorca (DM, cm), diámetro de olote (DO, cm), longitud de grano (LG, mm), anchura de grano (AG, mm), espesor de grano (EG, mm), volumen de 100 granos (V100G, cm³), relación anchura/longitud de grano (RAL) y porcentaje de grano de la mazorca (PGM). Por otra parte, se estudiaron las variables ecogeográficas de altitud (Alt), latitud (Lat) y longitud (Long) de cada sitio de recolecta y mediante los registros históricos de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2025), de los resúmenes mensuales se cuantificó la precipitación media (Pm) y temperatura media (Tm) de cada sitio; asimismo, del conjunto nacional

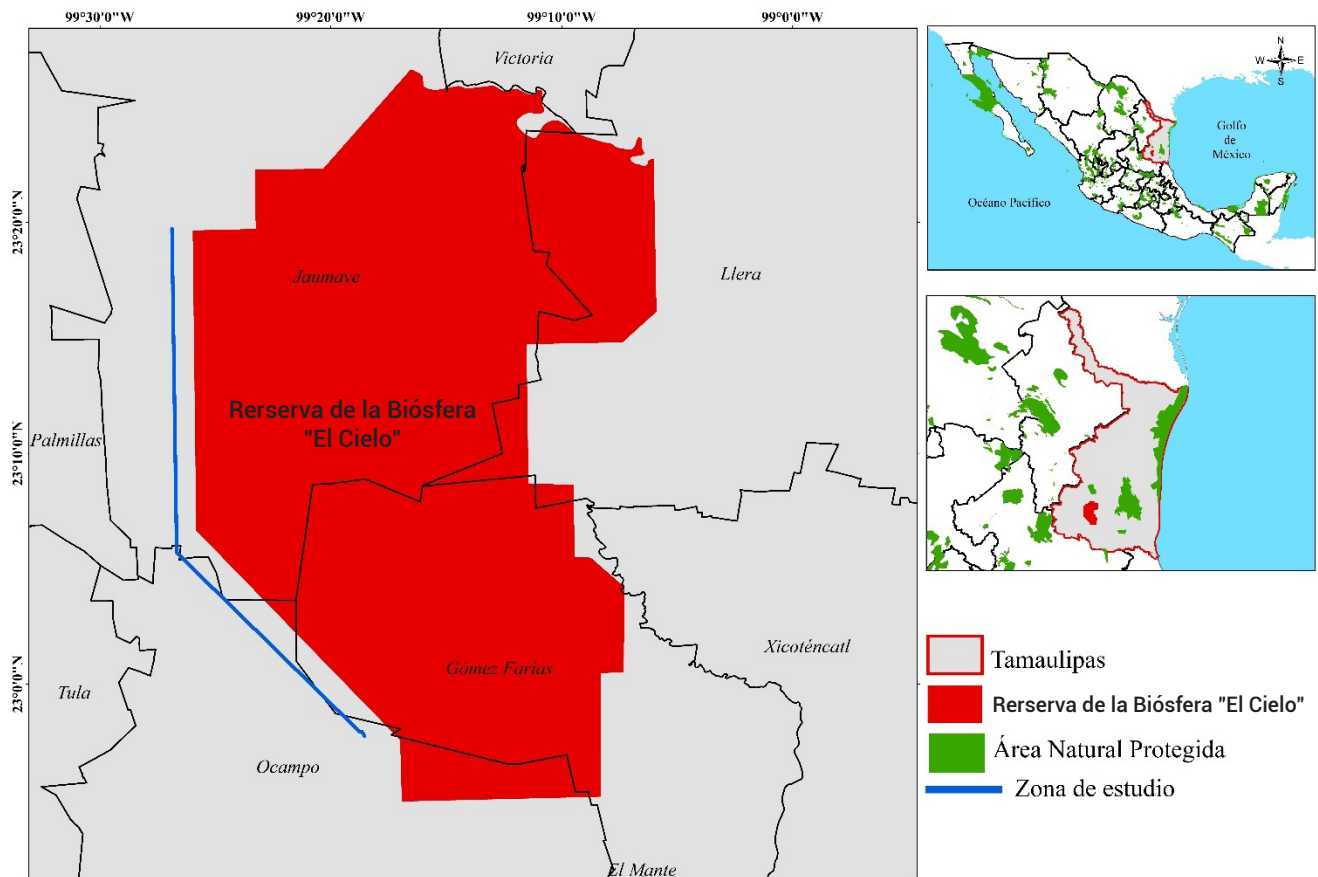


Figura 1. Ubicación del transecto de recolecta de maíces nativos en la región occidental de la Reserva de la Biósfera "El Cielo", Tamaulipas, México.

de información edafológica del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI, 2025) se obtuvo la clasificación del tipo de suelo.

Análisis de componentes principales y distribución de maíces nativos en función de variables ecogeográficas

Se realizó un análisis multivariado de componentes principales con base en la matriz de correlaciones de las variables cuantitativas, las cuales se analizaron mediante el método no paramétrico MODECLUS para estimar el número adecuado de agrupaciones; asimismo, se utilizó un análisis de componentes principales con las variables ecogeográficas para identificar las variables de mayor aporte en la distribución de maíces nativos, los análisis estadísticos se realizaron con el software SAS V.9.0. (SAS Institute, 2002).

Los mapas de distribución de las poblaciones nativas de maíz se realizaron a partir de las coordenadas geográficas de cada una de las 36 recolectas, donde se incluyó su clasificación racial; esta distribución se asoció con las variables ecogeográficas que mayor aporte presentaron

en la distribución de maíces nativos con el software geográfico ArcMap v10.8 (ESRI, 2015).

Análisis de riqueza y diversidad

La determinación de las zonas de riqueza genética se basó en el análisis espacial de la distribución geográfica de las recolectas de las poblaciones nativas de maíz. Para ello se agruparon las recolectas por raza y se modeló su zona de riqueza genética, para determinar la diversidad espacial intraespecífica; además, se empleó la distribución geográfica de las recolectas y se modelaron índices de diversidad específica y de estructura mediante el programa DivaGis v7.5 (Hijmans *et al.*, 2001). Para el cálculo de los índices de diversidad y riqueza el mapa de la región se dividió en cuadrículas de 0.083 grados sexagesimales, equivalentes a un área de 9 km² (Scheldeman *et al.*, 2006). Se calcularon índices de Margalef y Menhinick, con los que se midió el número de razas presentes por cuadrícula, sin considerar la abundancia proporcional de sus recolectas; además, se emplearon los índices de diversidad de estructura de Shannon y Brillouin, considerando la proporción del número de recolectas

por razas de maíz dentro de cada cuadrícula (Diker *et al.*, 2004). Se codificaron en cinco intervalos de clase por índice recategorizados como diversidad muy baja (que correspondió al intervalo de clase 1), baja (intervalo de clase 2), media (3), alta (4) y muy alta (5).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diversidad de razas de maíces nativos

Se identificaron cinco grupos raciales: Cónicos, Ocho Hileras, Dentados Tropicales, Maduración Tardía y Tropicales Precoces. Dentro del grupo Cónicos se encontró a la raza Cónico; en el grupo Ocho Hileras las razas Elotes Occidentales y Tabloncillo; en el grupo Dentados Tropicales las razas Celaya, Tuxpeño y Tuxpeño Norteño; en el grupo de Maduración Tardía la raza Olotillo; y en el grupo Tropicales Precoces, la raza Ratón. La gran variedad de ambientes donde se cultivan los maíces nativos y los conocimientos de los habitantes de comunidades indígenas han logrado adaptar y mantener una extensa diversidad de maíces nativos (SADER, 2023). Se encontraron ocho razas de 11 reportadas para la región por González-Martínez *et al.* (2018) y cinco razas más que las encontradas por Castro *et al.* (2013), además de la raza Cónico que no presentaba registros previos dentro del estado de Tamaulipas. Por otro lado, se identificaron 13 mezclas interracial: Tuxpeño × Bolita, Bolita × Tuxpeño, Tuxpeño × Cónico, Olotillo × Tuxpeño, Tuxpeño Norteño × Ratón, Elotes Cónicos × Ratón, Celaya × Tuxpeño Norteño, Ratón × Maíz mejorado, Tabloncillo × Tuxpeño, Ratón × Bolita, Tuxpeño Norteño × mejorado, Ratón × Olotillo y Tuxpeño Norteño × Olotillo, producto de combinaciones a causa del flujo de polen entre poblaciones vecinas y del intercambio de semillas entre agricultores de una misma comunidad (Chávez-Servia *et al.*, 2012).

Variación de caracteres cualitativos de mazorca

En el Cuadro 1 se presenta la descripción de variables cualitativas de la mazorca. Se observa que las formas de la mazorca con mayor presencia dentro de las poblaciones nativas fueron cilíndrica (19) y cónica cilíndrica (17); en cuanto a los tipos de grano, se clasificaron con mayor presencia de granos intermedios (17) y semidentados (16), pero con menor presencia de granos de tipo semicristalino (2) y dentado (1), estas características ya han sido reportadas en el estado de Tamaulipas, lo que indica la permanencia y el interés de dichas cualidades por parte de los agricultores (González-Martínez *et al.*, 2018; 2020). Con relación al arreglo de hileras de la mazorca, para las 36 poblaciones fueron rectas; mientras que los colores de grano se clasificaron en blanco cremoso (24), amarillo (2), mezclas de granos azules y blancos cremosos (3), barrocos

(2), rojo oscuro (1), azul oscuro (1), amarillo oscuro (1), azul (1) y combinaciones de granos azules, amarillos y blanco cremoso (1), los resultados encontrados muestran mayor cantidad de tonalidades que las reportadas por González-Martínez *et al.* (2020), donde solo indicaron la presencia de colores blanco-cremoso, amarillo claro, naranja, rojo, azul y negro. Con relación al color de olote, éste fue de tipo ausente (28), débil (6) y medio (2); además, la forma de la corona de los granos fue hendida (34) y convexa (2). La diversidad presente puede deberse a la participación de los agricultores, quienes identifican caracteres de interés como el tipo de grano, forma y tamaño de la mazorca, número de hileras, grosor de olote y precocidad (Cabrera-Toledo *et al.*, 2019); por lo tanto, la preservación de la diversidad de maíces en las comunidades garantiza seguir conservando un pilar en la seguridad alimentaria para sus habitantes (Reza-Solis *et al.*, 2024).

Análisis de componentes principales

El análisis de componentes principales (Cuadro 2) se realizó con 15 caracteres de mazorca y grano. Los componentes CP1 y CP2 explicaron el 43.84 y 21.97 % de la varianza total. En el CP1 las variables de mayor aporte fueron PM, PGM, DM, PO, LG y LM, resultados similares a los reportados por Andrés-Meza *et al.* (2025), Prieto y Manayay (2022), Hernández-Vázquez *et al.* (2018) y González-Martínez *et al.* (2018), donde las variables de mazorca contribuyen mayormente en este componente. En el CP2 las variables DO, NGH y PGM fueron las de mayor importancia en la determinación de la variación observada (Cuadro 2); al respecto, las variables NGH y DO coinciden con los estudios realizados por Pardey-Rodríguez *et al.* (2016) y Flores-Pérez *et al.* (2015). Los resultados aquí encontrados coinciden con los obtenidos en los estudios de González-Martínez *et al.* (2018; 2019) y Castro *et al.* (2013) en Tamaulipas, México, donde además señalan a las razas Ratón, Tuxpeño y Tuxpeño Norteño con mayor abundancia en el estado.

La dispersión de las 15 variables analizadas se muestra en la Figura 2 con los dos primeros componentes principales, los cuales explicaron 65.81 % de la varianza total. Mediante el análisis MODECLUS, a un radio de hiperesfera de exploración $R = 1.8$ se formaron seis grupos. El grupo I se conformó por 19 poblaciones pertenecientes a las razas Celaya, Tuxpeño, Olotillo, Tuxpeño Norteño, Tabloncillo y Ratón. Las variables de mayor importancia en la asociación y distribución para este grupo fueron PGM, NHG, LM, LG, PdGM, PM, V100G, AG y P100G. El grupo II estuvo compuesto por una población perteneciente a la raza Ratón, el grupo III por una población de la raza Celaya y el grupo IV estuvo integrado por una población de la raza Cónico. El grupo V estuvo compuesto de 10 poblaciones

pertencientes a las razas Ratón, Tuxpeño, Tuxpeño Norteño, Elotes Occidentales y dos mezclas interracial Bolita × Tuxpeño y una Elotes Cónicos × Ratón, que se conformaron principalmente por las variables de asociación AL, PO, DM, EG, Nhi y DO. Por último, el grupo VI se integró por una población de la raza Celaya. Al respecto, González-Martínez *et al.* (2020) mencionaron que la variación de los maíces nativos en Tamaulipas es amplia y continua; por tanto, esta variación se le atribuye a factores ambientales, culturales y de origen geográfico de la agricultura de subsistencia; además se crea una dinámica a través de nichos ambientales por el intercambio y movilización de semilla entre agricultores (Flores-Hernández *et al.*, 2022; Flores-Pérez *et al.*, 2015). Estos resultados coinciden con

lo reportado por Castro *et al.* (2013) y Pecina-Martínez *et al.* (2009), quienes señalaron que en Tamaulipas existe amplia diversidad intra e interespecífica de maíces nativos.

Mediante el análisis de componentes principales con las variables ecogeográficas se identificaron los primeros dos componentes, los cuales, explicaron 93.33 % de la varianza total (Cuadro 3). El CP1 explicó el 56.66 % de la varianza y estuvo conformado por las variables latitud, precipitación media y temperatura media. En el CP2 participaron las variables altitud, longitud y temperatura media, las cuales explicaron el 36.66 % de la variación, la altitud presentó el mayor valor absoluto para ambos componentes (-0.63); por tal motivo, se consideró como la variable dominante,

Cuadro 1. Variables cualitativas de 36 poblaciones de maíces nativos.

Raza	FM	ADH	TG	CG	CO	FCG	Raza	FM	ADH	TG	CG	CO	FCG
Celaya	2	1	4	15	1	2	Tabloncillo × Tuxpeño	2	1	3	2	1	2
Ratón	2	1	4	9	3	2	Ratón	3	1	3	2	1	2
Tuxpeño × Bolita	3	1	4	2	1	2	Olotillo	2	1	3	14	1	2
Bolita × Tuxpeño	2	1	4	2	1	2	Tuxpeño	2	1	4	15	1	2
Bolita × Tuxpeño	3	1	4	2	1	2	Tabloncillo	2	1	3	4	1	2
Tuxpeño Norteño	3	1	4	2	1	2	Tabloncillo	2	1	3	2	1	2
Tuxpeño × Cónico	3	1	4	4	1	2	Elotes Occidentales	2	1	4	16	1	2
Olotillo × Tuxpeño	3	1	4	2	3	2	Ratón × Bolita	2	1	4	2	3	2
Tuxpeño × Cónico	2	1	4	2	1	2	Tuxpeño Norteño × mejorado	3	1	3	2	1	2
Cónico	3	1	2	13	1	1	Ratón × Olotillo	2	1	4	10	3	2
Tuxpeño Norteño	3	1	3	2	1	2	Tuxpeño Norteño × Olotillo	3	1	3	5	1	2
Ratón	3	1	3	2	1	2	Tuxpeño	2	1	3	2	1	2
Tuxpeño Norteño × Ratón	3	1	3	2	1	2	Ratón	3	1	3	2	1	2
Elotes Cónicos × Ratón	2	1	5	14	1	2	Olotillo × Tuxpeño	2	1	4	2	3	2
Celaya × Tuxpeño Norteño	3	1	3	2	1	2	Tuxpeño	3	1	3	2	1	2
Ratón × maíz mejorado	2	1	4	2	1	2	Ratón	3	1	3	2	1	2
Ratón	2	1	3	2	1	2	Celaya	3	1	3	2	2	2
Tabloncillo × Tuxpeño	3	1	4	2	3	2	Tuxpeño Norteño × Olotillo	3	1	2	14	2	1

FM: Forma de la mazorca: 1: cónica, 2: cónica cilíndrica y 3: cilíndrica; ADH: arreglo de hileras de la mazorca: 1: recta, 2: en espiral y 3: irregular; TG: tipo de grano: 1: cristalino, 2: semicristalino, 3: intermedio, 4: semidentado, 5: dentado, 6: harinoso, 7: reventador, 8: dulce y 9: ceroso; CG: color de grano: 1: blanco, 2: blanco cremoso, 3: amarillo claro, 4: amarillo, 5: amarillo oscuro, 6: naranja, 7: rojo claro, 8: rojo, 9: rojo oscuro, 10: azul, 11: azul oscuro, 12: negro, 13: mezcla de amarillo, azul y amarillo oscuro, 14: mezcla de azul y azul oscuro, 15: mezcla de barroso y rojo y 16: azul en tonalidad baja; CO: color de lote: 1: ausente o muy débil, 2: débil, 3: media, 4: fuerte y 5: muy fuerte; FDCG: forma de la corona: 1: convexa, 2: hendida, 3: puntiaguda.

Cuadro 2. Proporción de la varianza total, vectores y valores propios de los dos primeros componentes principales (CP1 y CP2) en 36 poblaciones de maíces nativos de un transecto multialtitudinal de Tamaulipas, México.

Variable	CP1	CP2
Peso de la mazorca	0.375171	-0.0352
Longitud de la mazorca	0.284259	-0.27054
Diámetro de la mazorca	0.331778	0.242956
Número de granos por hilera	0.184376	-0.41651
Número de hileras	0.148288	0.340449
Peso de grano de la mazorca	0.371514	-0.08412
Diámetro de olote	0.22702	0.42025
Peso de olote	0.328264	0.218564
Longitud de grano	0.321791	-0.20923
Anchura de grano	0.234488	-0.07939
Relación anchura/longitud de grano	-0.11253	0.138566
Espesor de grano	0.123254	0.335346
Peso de 100 granos	0.228205	-0.09009
Porcentaje de grano de la mazorca	0.027299	-0.39355
Volumen de 100 granos	0.27542	-0.03117
Valor propio	6.5	3.41
Varianza explicada (%)	43.84	21.97
Varianza acumulada (%)	43.84	65.81

dado que la altitud genera de manera indirecta variaciones en la temperatura y precipitación; por consecuencia, el resto de las variables presentaron menor contribución.

Distribución de maíces nativos en relación con tipo de suelo y la altitud

Se encontraron tres tipos de suelo: 1) Xerosol, con ocho poblaciones de la raza Ratón, cinco de Tuxpeño Norteño, cuatro de Tuxpeño, tres de Olotillo, una de Cónico, cuatro de Tabloncillo, una de Elotes Occidentales y una cruz a interracial Elotes Cónicos × Ratón; 2) Litosol, con dos poblaciones pertenecientes a la raza Ratón, una a Celaya y una a Tuxpeño, y 3) Rendzina, albergó a una población de la raza Celaya, una de Tuxpeño Norteño, una de Tuxpeño y dos poblaciones de cruza Bolita × Tuxpeño. Se identificaron cinco estratos altitudinales dentro del transecto recolectado (Figura 3) que representaron el área de origen de las 36 recolectas, 1) de 400 a 600 msnm se encontraron nueve poblaciones pertenecientes a las razas Ratón, Tuxpeño Norteño, Tuxpeño y Celaya; 2) de 600 a 800 msnm, con dos poblaciones que corresponden a las razas Tuxpeño y Olotillo; 3) entre 800 y 1000 msnm con cuatro poblaciones

de las razas Celaya, Ratón, Tuxpeño, Tuxpeño Norteño y dos poblaciones de las cruza interracial Bolita × Tuxpeño; 4) de 1000 a 1200 msnm con ocho poblaciones de las razas Tuxpeño Norteño, Celaya, Ratón, Olotillo, Tuxpeño y Tabloncillo, y 5) de 1200 a 1400 msnm, con 11 poblaciones pertenecientes a las razas Tuxpeño, Olotillo, Cónico, Ratón, Tuxpeño Norteño, Tabloncillo, Elotes Occidentales y una cruz interracial Elotes Cónicos × Ratón. Se resalta que las razas Ratón, Tuxpeño y Tuxpeño Norteño tuvieron mayor presencia dentro de las clasificaciones; en referencia a eso, González-Martínez *et al.* (2020) mencionaron que en Tamaulipas dichas razas pueden cultivarse en altitudes desde 226 hasta 1879 msnm; además, dichos resultados coinciden con lo encontrado por Sierra-Macias *et al.* (2016) en el estado de Puebla donde las razas Ratón y Tuxpeño se cultivan hasta los 1300 msnm; sin embargo, González-Martínez *et al.* (2018) reportaron que en Tamaulipas la raza Tuxpeño Norteño puede encontrarse en altitudes menores de 1800 msnm.

Riqueza y diversidad

Al calcular los índices de diversidad específica Menhinick

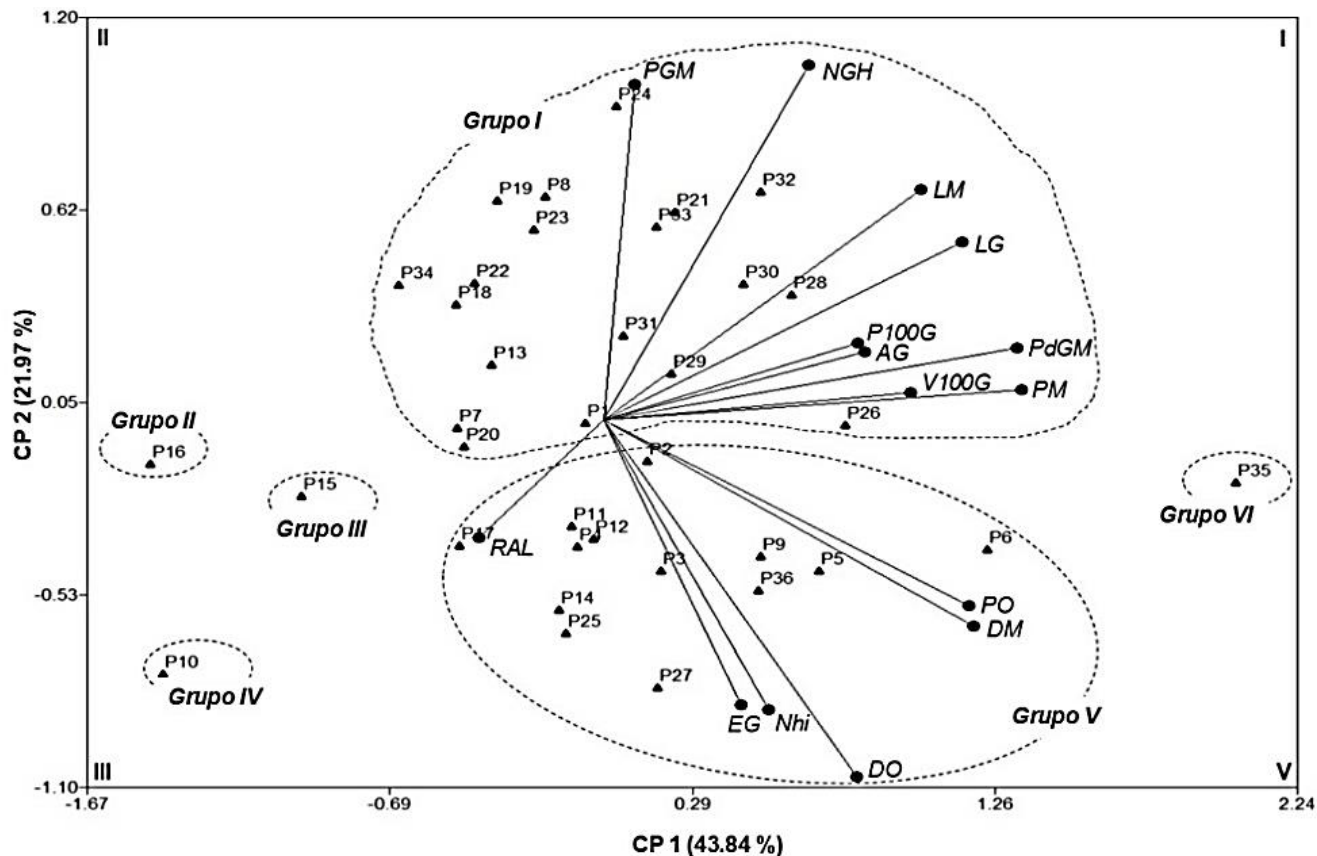


Figura 2. Dispersión de 36 poblaciones de maíces nativos sobre los componentes principales CP1 y CP2. PM: peso de la mazorca, LM: longitud de la mazorca, DM: diámetro de la mazorca, NGH: número de granos por hilera, NHI: número de hileras, PdGM: peso de grano de la mazorca, DO: diámetro de olote, PO: peso de olote, LG: longitud de grano, AG: anchura de grano, RAL: relación anchura/longitud de grano, EG: espesor de grano, P100G: peso de 100 granos, PGM: porcentaje de grano de la mazorca, V100G: volumen de 100 granos.

Cuadro 3. Vectores y valores propios de componentes principales de las variables ecogeográficas de los sitios de colecta de poblaciones de maíces nativos en Tamaulipas, México.

Variable	CP 1	CP 2
Latitud	0.582569	0.030821
Longitud	0.361129	0.572143
Altitud	0.256528	-0.637116
Precipitación media	-0.549517	-0.227900
Temperatura media	-0.403018	0.462435
Valor propio	2.83	1.83
Varianza explicada (%)	56.66	36.66
Varianza acumulada (%)	56.66	93.33

(A) y Margalef (B) y los de estructura Shannon (C) y Brillouin (D) según la distribución geográfica de las colectas de razas de maíz nativo cultivadas en la periferia occidental de la Reserva de la Biósfera “El Cielo”, se encontró que los índices de estructura delimitaron regiones más amplias de diversidad intraespecífica en las categorías definidas de media a muy alta; además, a diferencia de los índices de diversidad específica, los de estructura sí delimitaron regiones de diversidad intraespecífica alta en zonas con altitudes superiores a los 1000 msnm. En la Figura 4 se observa que las áreas comunes con diversidad intraespecífica de media a muy alta de los índices calculados se concentraron del centro al sur de la reserva, lo que coincidió con las altitudes más bajas. De acuerdo con Diker *et al.* (2004) y Graham y Hijmans (2006), al considerar solo un índice de diversidad se puede limitar la interpretación de patrones espaciales debido a que cada índice resalta distintos componentes de tal diversidad, el integrar índices de diversidad específica y de estructura permite una evaluación más integral de la diversidad

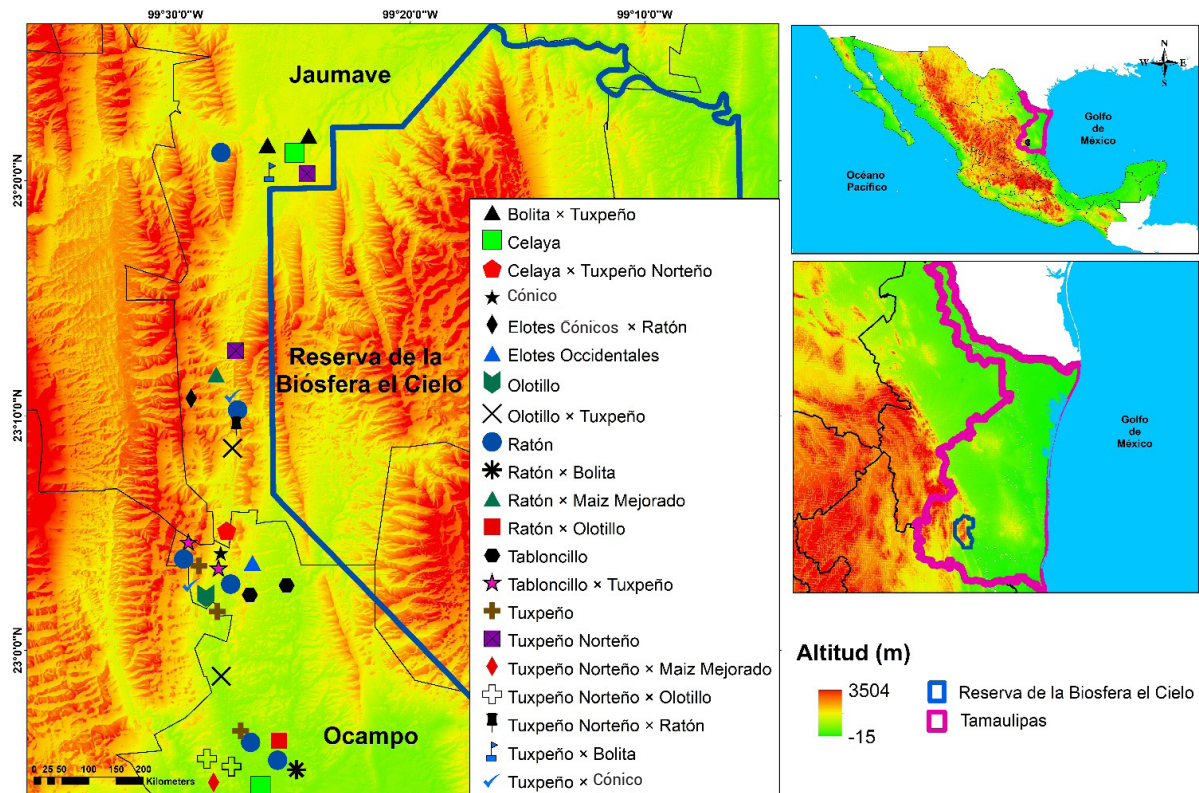


Figura 3. Asociación de la altitud con la distribución espacial de 36 poblaciones de maíces nativos en la Reserva de la Biósfera El Cielo, Tamaulipas, México.

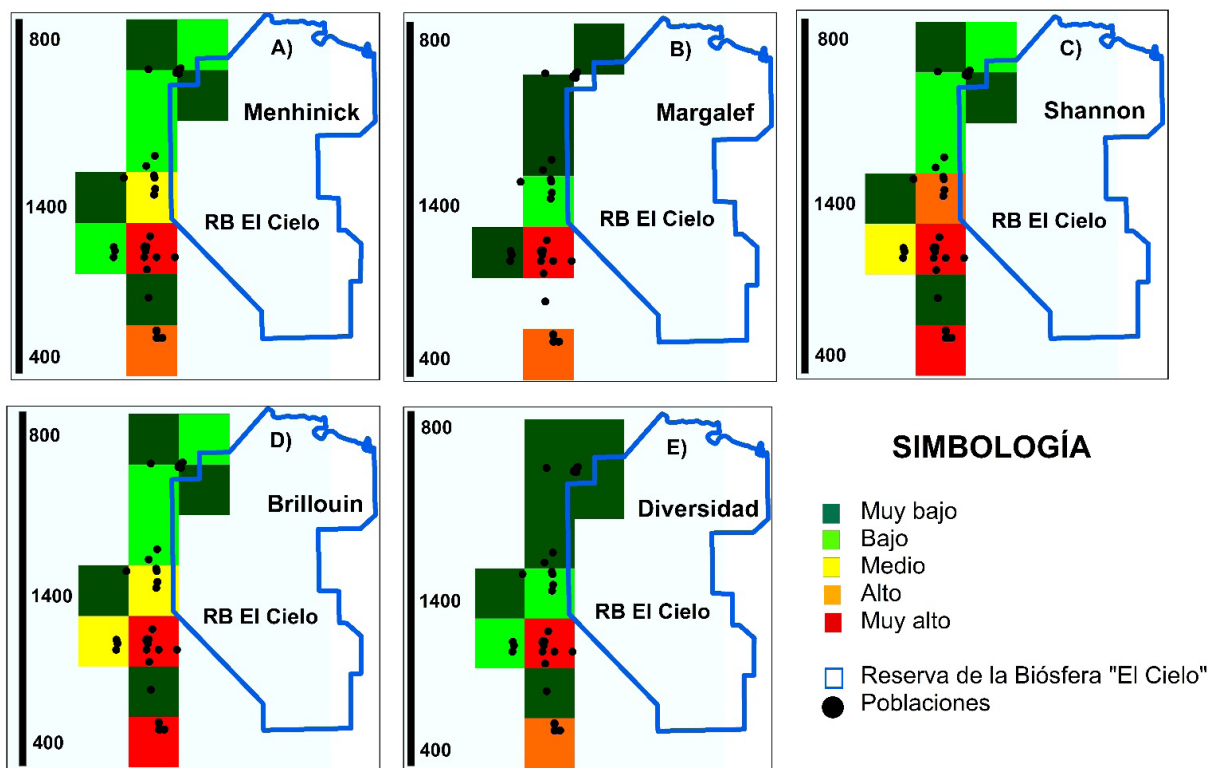


Figura 4. Índices de diversidad y riqueza de 36 poblaciones de maíces nativos recolectadas en la parte occidental de la Reserva de la Biósfera "El Cielo", Tamaulipas, México.

- Hijmans R. J., L. Guarino, M. Cruz and E. Rojas (2001) Computer tools for spatial analysis of plant genetic resources data: 1. DIVA-GIS. *Plant Genetic Resources Newsletter* 127:15-19.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2025) Geografía y medio ambiente: Edafología. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, México. <https://www.inegi.org.mx/temas/edafologia/#descargas> (Mayo 2025).
- Kato Y. T. A., C. Mapes S., L. M. Mera O., J. A. Serratos H. y R. A. Bye B. (2009) Origen y Diversificación del Maíz: Una Revisión Analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D. F. 116 p.
- Ortega P. R., J. Sánchez, F. Castillo y J. M. Hernández (1991) Estado actual de los estudios sobre maíces nativos de México. *In: Avances en el Estudio de los Recursos Fitogenéticos de México*. R. Ortega P., G. Palomino H., F. Castillo G., V. A. González H. y M. Livera M. (eds.). Sociedad Mexicana de Fitogenética, A. C. Chapingo, Estado de México, México. pp:161-185
- Pardey-Rodríguez C., M. A. García-Dávila y N. Moreno-Cortés (2016) Caracterización de maíz procedente del departamento del Magdalena, Colombia. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 17:167-190, https://doi.org/10.21930/rcta.vol17_num2_art:487
- Pecina M. J. A., M. C. Mendoza C., J. A. López S., F. Castillo G., M. Mendoza R. y J. Ortiz C. (2011) Rendimiento de grano y sus componentes en maíces nativos de Tamaulipas evaluados en ambientes contrastantes. *Revista Fitotecnia Mexicana* 34:85-92, <https://doi.org/10.35196/rfm.2011.2.85>
- Pecina-Martínez J. A., M. C. Mendoza-Castillo, J. A. López-Santillán, F. Castillo-González y M. Mendoza-Rodríguez (2009) Respuesta morfológica y fenológica de maíces nativos de Tamaulipas a ambientes contrastantes de México. *Agrociencia* 43:681-694.
- Prieto R. G. P. y D. Manayay S. (2022) Caracterización morfológica de 25 variedades de maíz amiláceo evaluadas en dos localidades de la provincia de Tayacaja, Huancavelica. *Revista de Investigación Científica y Tecnológica Llamkasun* 3:15-29, <https://doi.org/10.47797/llamkasun.v3i2.103>
- Reza-Solis I. J., T. Romero-Rosales, C. A. Hernández-Galeno, J. L. Valenzuela-Lagarda y V. Jiménez-Lobato (2024) Saberes tradicionales en el cultivo de maíces nativos. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan* 12:167-178, <https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v12i1.551>
- Reséndiz R. Z., J. A. López S., B. Estrada D., E. Osorio H., J. A. Pecina M., M. C. Mendoza C. y C. A. Reyes M. (2018) Aptitud combinatoria y resistencia al daño foliar de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) en germoplasma de maíz nativo de Tamaulipas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 9:81-93, <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i1.849>
- Ruiz-Corral J. A., N. Durán-Puga, J. J. Sánchez-González, J. Rón-Parra, D. R. González-Eguiarte, J. B. Holland and G. Medina-García (2008) Climatic adaptation and ecological descriptors of 42 Mexican maize races. *Crop Science* 48:1502-1512, <https://doi.org/10.2135/cropsci2007.09.0518>
- Sánchez G. J. J., M. M. Goodman and C. W. Stuber (2000) Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Economic Botany* 54:43-59, <https://doi.org/10.1007/BF02866599>
- SADER, Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2023) Maíces nativos, patrimonio biológico, agrícola, cultural y económico. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de México. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/un-apoyo-para-agricultores-de-maices-nativos> (Junio 2025).
- SAGARPA, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2012) Acuerdo por el que se determinan Centros de Origen y Centros de Diversidad Genética del Maíz. Diario Oficial de la Federación. Segunda Sección, 2 de noviembre de 2012. Ciudad de México. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=3D5276453%26fecha=3D02/11/2012
- SAS Institute (2002) SAS /STAT® 9.1 User's Guide. SAS Institute. Cary, North Carolina, USA. 1860 p.
- Scheldeman X., L. Willemen, G. C. d'Eeckenbrugge, E. Romeijn-Peeters, M. T. Restrepo, J. Romero M., ... and P. Goetgebeur (2006) Distribution, diversity and environmental adaptation of highland papayas (*Vasconcellea* spp.) in tropical and subtropical America. *In: Plant Conservation and Biodiversity*. Vol 6. Topics in Biodiversity and Conservation. D. L. Hawksworth and A. T. Bull (eds.). Springer. Dordrecht, The Netherlands. pp:1867-1884, https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6444-9_19
- Sierra-Macias M., P. Andres-Meza, A. Palafox-Caballero e I. Meneses-Márquez (2016) Diversidad genética, clasificación y distribución racial del maíz nativo en el estado de Puebla, México. *Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias* 3:12-25.
- Tapia C., E. Torres and M. Parra-Quijano (2015) Searching for adaptation to abiotic stress: ecogeographical analysis of highland Ecuadorian maize. *Crop Science* 55:262-274. <https://doi.org/10.2135/cropsci2013.12.0813>
- Toribio-Solis V. M., M. A. Castillo-Guillén, M. Rocandio-Rodríguez, Y. R. Moreno-Ramírez, R. Delgado-Martínez y J. C. Chacón-Hernández (2022) Potencial agronómico de poblaciones sobresalientes de la raza Ratón evaluadas en condiciones de secano en el sur de Tamaulipas. *Universitas Agri* 1:30-39, <https://doi.org/10.59741/agri.v1i1.4>
- Toribio-Solis V. M., Y. R. Moreno-Ramírez y M. Rocandio-Rodríguez (2024) Agricultura de subsistencia en las zonas de influencia de las áreas naturales protegidas en Tamaulipas. *Revista Mexicana de Agroecosistemas* 11:186-192, <https://doi.org/10.60158/rma.v11i2.436>
- Vega Á. I., D. Flores S., M. J. Escalona M., F. Castillo G. y M. A. Jiménez V. (2022) Tlaxcala, investigación en maíz nativo y mejorado: problemática, campos del conocimiento y nuevos retos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 13:539-551, <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i3.2888>