

EN

# Characterization of local maize from the Frailesca region of Chiapas: morphological and productive diversity

ES

## Caracterización de maíces locales de la región Frailesca de Chiapas: diversidad morfológica y productiva

Ernesto Javier Gómez-Padilla; Jaime Llaven-Martínez; Eraclio Gómez-Padilla; Manuel Alejandro La O-Arias; Francisco Guevara-Hernández\*

Universidad Autónoma de Chiapas. Carretera Ocozocoautla-Villafloraes km 84.5, Villafloraes, Chiapas, C. P. 30470, México.

### Abstract

\*Corresponding author:  
francisco.guevara@unach.mx

Received: August 26, 2024

Accepted: October 9, 2024

DOI:

10.5154/r.rchsat.2024.04.04

The diversity of local maize varieties in the Frailesca region of Chiapas is an important biocultural heritage, resulting from centuries of co-evolution with local communities. Studying these maize varieties enhances understanding of their genetic diversity and traditional knowledge, which in turn promotes sustainable management strategies, conservation, and food security. This research was carried out during the spring-summer cycle of 2022 in Villafloraes, Chiapas, with the aim of characterizing 13 local maize varieties based on phenological variables (flowering and maturity), morphological traits (height and biomass), and yield. Data was analyzed by principal component analysis (PCA) to reduce dimensionality. The resulting factor loadings were used to perform hierarchical cluster analysis, grouping the varieties according to characteristics. Three principal components (development, yield, and biomass) explained 89 % of the total variance, which emphasized its importance in differentiating maize varieties. Cluster analysis identified three maize groups: Group 1 with a long cycle and moderate biomass, Group 2 with low yield and short cycle, and Group 3 with high foliar biomass and elevated yield. The diversity of traits in local maize varieties enriches traditional knowledge and fosters sustainable management strategies, contributing to conservation and food security in the Frailesca region.

**Keywords:** genetic diversity, food security, traditional agriculture, biocultural heritage.

### Resumen

La diversidad de maíces locales en Frailesca, Chiapas, constituye un patrimonio biocultural invaluable, producto de siglos de coevolución con las comunidades locales. Estudiar estos maíces contribuye a profundizar en su diversidad genética y fortalecer el conocimiento tradicional, lo cual promueve estrategias de manejo sostenible, conservación y seguridad alimentaria. La investigación se desarrolló durante el ciclo primavera-verano de 2022 en Villafloraes, Chiapas, con el objetivo de caracterizar 13 maíces locales con base en la evaluación de variables fenológicas (floración y madurez), morfológicas (altura y biomasa) y de rendimiento. Los datos se analizaron mediante análisis factorial de componentes principales (ACP) para reducir la dimensionalidad. Las cargas factoriales obtenidas se utilizaron para realizar un análisis de conglomerado jerárquico, el cual agrupó las variedades según sus características. Se obtuvieron tres componentes principales (desarrollo, rendimiento y biomasa) que explicaron el 89 % de la varianza total, lo que resaltó su importancia en la diferenciación de las variedades de maíz. El análisis de conglomerados identificó tres grupos de maíces: Grupo 1 con ciclo largo y biomasa moderada, Grupo 2 de bajo rendimiento y ciclo corto, y Grupo 3 de alta biomasa foliar y rendimiento elevado. La diversidad de características de los maíces locales enriquece el conocimiento tradicional y fomenta el desarrollo de estrategias de manejo sostenible, lo cual contribuye a su conservación y a la seguridad alimentaria de la región Frailesca.

**Palabras clave:** diversidad genética, seguridad alimentaria, agricultura tradicional, patrimonio biocultural.



Please cite this article as follows (APA 7): Gómez-Padilla, E. J., Llaven-Martínez, J., Gómez-Padilla, E., La O-Arias, M. A., & Guevara-Hernández, F. (2024). Characterization of local maize from the Frailesca region of Chiapas: morphological and productive diversity. *Revista Chapingo Serie Agricultura Tropical*, 4(2). doi: <https://doi.org/10.5154/r.rchsat.2024.04.04>

## Introduction

Maize (*Zea mays* L.) is one of the most important agricultural species worldwide, both economically and culturally (Castellanos-Domínguez, 2023). It has also been a fundamental pillar in the diet and development of Mesoamerican civilizations (Rivas, 2021). This crop has undergone various domestication processes by indigenous cultures, which has generated a vast genetic diversity observed in the different breeds, varieties and genotypes (Guevara-Hernández et al., 2022). Maize has adapted to a wide range of agroecological conditions, from high mountains to the coastal zone. It has diversified its use in food, traditional medicine and rituals (Aviles-Peñañiel et al., 2022).

Currently, the conservation of maize's genetic diversity is essential (Flores-Pérez et al., 2024). Climate change, the expansion of industrial agriculture, and the adoption of commercial varieties have significantly contributed to the genetic erosion of maize (Macías-Urbe & Alarcón-Rodríguez, 2021). This process threatens biodiversity, the ability of farming communities to adapt to new environmental conditions, and long-term food security (Anderson et al., 2020; Estrada et al., 2022).

Creole, native, or local maize varieties represent an invaluable reservoir of genetic variability. They possess unique agronomic traits, such as disease resistance, stress tolerance, and adaptation to adverse environments. Therefore, they are crucial for the development of breeding programs (Guevara-Hernández et al., 2022; Caballero-Salinas et al., 2023).

In various regions of Mexico, especially the 'Frailesca Region' in Chiapas, there are examples of agroecological systems where local maize varieties play an important role in agricultural production (Guevara-Hernández et al., 2019, 2022). This region, distinguished by its diverse microclimates and soils, hosts maize varieties that are well-adapted to local conditions (Kost et al., 2020; Martínez-Aguilar et al., 2020). However, these maize varieties have not been extensively studied, which restricts the identification of their agronomic potential and *in situ* conservation.

A comprehensive characterization of local varieties is essential for documenting their genetic and phenotypic diversity, as well as for identifying varieties with potential for use in breeding programs and conservation strategies (Barrera-Guzmán et al., 2020). Characterization using phenological, morphological, and yield variables facilitates the assessment of each variety's strengths and weaknesses, empowering farmers and researchers to make informed decisions

## Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) es una de las especies agrícolas más importantes a nivel mundial, desde el punto de vista económico y cultural (Castellanos-Domínguez, 2023). Asimismo, ha sido un pilar fundamental en la alimentación y desarrollo de las civilizaciones mesoamericanas (Rivas, 2021). Dicho cultivo ha sido objeto de diversos procesos de domesticación por parte de las culturas indígenas, lo cual ha generado una vasta diversidad genética observable en las distintas razas, variedades y genotipos (Guevara-Hernández et al., 2022). El maíz se ha adaptado a un amplio rango de condiciones agroecológicas, desde las montañosas hasta las zonas costeras; además, se ha diversificado su uso en la alimentación, la medicina tradicional y las ceremonias rituales (Aviles-Peñañiel et al., 2022).

Actualmente, la conservación de la diversidad genética del maíz es indispensable (Flores-Pérez et al., 2024). El cambio climático, la expansión de la agricultura industrial y la adopción de variedades comerciales han contribuido a la erosión genética significativa del maíz (Macías-Urbe & Alarcón-Rodríguez, 2021). Este proceso amenaza la biodiversidad, la capacidad de las comunidades agrícolas para adaptarse a nuevas condiciones ambientales y la seguridad alimentaria a largo plazo (Anderson et al., 2020; Estrada et al., 2022).

Los maíces criollos, nativos o locales, constituyen un reservorio invaluable de variabilidad genética. Albergan características agronómicas únicas, como resistencia a enfermedades, tolerancia a estrés y adaptación a ambientes adversos. Por ello, son fundamentales para el desarrollo de programas de mejoramiento genético (Guevara-Hernández et al., 2022; Caballero-Salinas et al., 2023).

En diversas regiones de México, y en particular en la 'región Frailesca' ubicada en Chiapas, existen ejemplos de sistemas agroecológicos donde los maíces locales constituyen parte integral de la producción agrícola (Guevara-Hernández et al., 2019, 2022). Esta región, con gran diversidad de microclimas y suelos, alberga variedades de maíz adaptadas a las condiciones locales (Kost et al., 2020; Martínez-Aguilar et al., 2020). Sin embargo, estos maíces han sido poco estudiados, lo cual limita identificar su potencial agronómico y conservación *in situ*.

La caracterización exhaustiva de las variedades locales es esencial para documentar su diversidad genética y fenotípica, así como para identificar variedades con potencial para ser utilizadas en programas de mejoramiento genético y en estrategias de conservación (Barrera-Guzmán et al., 2020). La caracterización mediante

about their use and management (Fonseca-Flores, 2022; Llaven-Martínez et al., 2023).

The aim of this study was to characterize 13 local maize varieties from the Frailesca Region of Chiapas based on phenological, morphological, and yield variables to determine their characteristics and agronomic potential. The results of this research will contribute to enhancing knowledge about maize diversity in Mexico and promote the use of these genetic resources in breeding programs, sustainable utilization, and *in situ* conservation.

## Materials and methods

### Site and general characteristics of the experiment

This study was carried out during the spring-summer cycle of 2022 at the Centro Universitario de Transferencia de Tecnología San Ramón, situated 2 km north of Villaflores municipality, Chiapas, Mexico ( $16^{\circ} 15' 13.9''$  N and  $93^{\circ} 15' 14.2''$  W, at an elevation of 610 m a. s. l.). The soil type is classified as luvisol (Figure 1), according to the Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2024a). From a taxonomic perspective, it corresponds

variables fenológicas, morfológicas y de rendimiento permite determinar las fortalezas y debilidades de cada variedad; con ello, los agricultores e investigadores pueden tomar decisiones para su uso y manejo (Fonseca-Flores, 2022; Llaven-Martínez et al., 2023).

El presente estudio tuvo como objetivo caracterizar 13 variedades locales de maíz de la región Frailesca, Chiapas, a partir de variables fenológicas, morfológicas y de rendimiento, para determinar sus características y potencial agronómico. Los resultados de esta investigación contribuirán a enriquecer el conocimiento sobre la diversidad del maíz en México y promover el uso de estos recursos genéticos en programas de mejoramiento genético, aprovechamiento sostenible y conservación *in situ*.

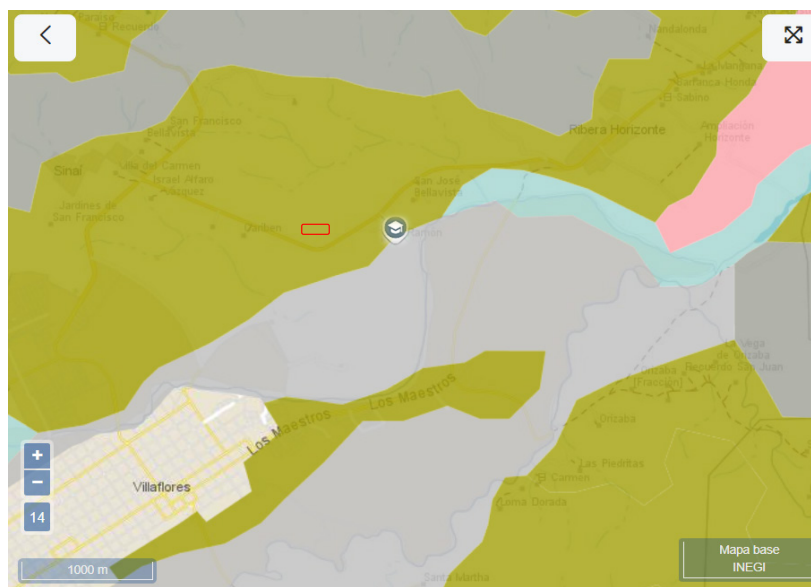
## Materiales y métodos

### Ubicación y características generales del experimento

El trabajo se llevó a cabo durante el ciclo primavera-verano de 2022 en el Centro Universitario de Transferencia de Tecnología San Ramón, ubicado a 2 km al norte del municipio de Villaflores, Chiapas, México ( $16^{\circ} 15'$

#### Soil legend / Leyenda edafológica

- For grazing livestock in summer / Para pastar ganado en verano
  - Leptosol
  - Umbrisol
- Highly fertile agricultural soils / Agrícolas bastante fértiles
  - Gleysol
  - Vertisol
  - Fluvisol
- Fertile clay soils for agriculture / Arcillosos fértiles para la agricultura
  - Lixisol
  - Luvisol
- Youth with little development using irrigation methods / Jóvenes con poco desarrollo agrícolas con métodos de riego
  - Regosol
  - Cambisol
  - Arenosol



- Área experimental:  $16^{\circ} 15' 13.9''$  N;  $93^{\circ} 15' 14.2''$  W; 610 m s. n. m. / Experimental area:  $16^{\circ} 15' 13.9''$  N;  $93^{\circ} 15' 14.2''$  W; 610 m a. s. l.
- Centro Universitario de Transferencia Tecnología, "San Ramón"

**Figure 1. Soil of the area where the experiment was established according to the geospatial map of the main soil types in the region. Source: INEGI, 2024a.**

**Figura 1. Suelo del área donde se estableció el experimento según el mapa geoespacial de los principales tipos de suelo de la región. Fuente: INEGI, 2024a.**

to the reference group of luvisols in the soil classification of the Food and Agriculture Organization/World Reference Base (FAO/WRB) (International Union of Soil Sciences [IUSS], 2015). Additionally, it correlates with alfisols according to the soil taxonomic classification system of the United States Department of Agriculture (USDA, 2014).

A total of 13 local maize varieties cultivated by producers in the Frailesca Region of Chiapas were evaluated: Amarillo Grande, Napalú Amarillo, Olotillo Amarillo Parral, Rojo Parral, Olotillo Blanco, Aguascalientes, Crema Parral, Morales, Macho, Amarillo Toñito, Negrito, Chimbo, and LLAMAJA. The maize varieties were characterized using phenological, morphological, and yield variables. The climate of the region is classified as warm-subhumid, with average annual temperature of 22 °C and average annual rainfall of 1200 mm (INEGI, 2024b).

The experiment was carried out under field conditions using a completely randomized block design with four replicates. Each experimental plot consisted of four rows of maize, spaced 80 cm apart, with a total width of 3.2 m per plot. The distance between plants within each row was 40 cm. The two central rows were designated for measurement purposes. The two outer rows, as well as the first three and last three plants at each end of the central rows, were considered as edge effects. In total, 15 plants per plot were evaluated from the central rows. The total area of each plot was 26.88 m<sup>2</sup> (3.2 m wide by 8.4 m long), resulting in a total experimental area of 430.08 m<sup>2</sup>.

### Variables analyzed

Based on the methodology of Estrada-Urbina et al. (2023), various phenological variables were evaluated: days to male flowering (50 % of the plants with pollen emission); days to female flowering (50 % of the plants with receptive stigmas and the onset of ear formation); and days to physiological maturity (when the grains exhibited a dark brownish tip).

Before harvest, 10 plants were randomly selected to evaluate morphological variables such as plant height from ground level to the insertion node of the flag leaf (cm), as well as fresh and dry leaf and root biomass (g-plant<sup>-1</sup>). To determine plant biomass, leaf and root parts were separated. Samples were oven-dried at 70 °C until reaching a constant weight, then, the total biomass of the plants was determined (Llaven-Martínez et al., 2023).

To assess yield components, 10 plants were randomly selected before harvest. Following the methodology of

13.9" N y 93° 15' 14.2" O, a 610 m s. n. m.). El tipo de suelo está clasificado como luvisol (Figura 1), de acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2024a). Desde el punto de vista taxonómico, corresponde al grupo de referencia de los luvisoles en la clasificación de suelos de la *Food and Agriculture Organization/World Reference Base* (FAO/WRB) (International Union of Soil Sciences [IUSS], 2015). Además, se correlaciona con los alfisoles según el sistema de clasificación taxonómica de suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 2014).

Se evaluaron 13 maíces locales cultivados por productores de la región Frailesca de Chiapas: Amarillo Grande, Napalú Amarillo Olotillo, Olotillo Amarillo Parral, Rojo Parral, Olotillo Blanco, Aguascalientes, Crema Parral, Morales, Macho, Amarillo Toñito, Negrito, Chimbo y LLAMAJA. Los maíces se caracterizaron mediante variables fenológicas, morfológicas y de rendimiento. El clima de la región se clasifica como cálido-subhúmedo, con temperatura media anual de 22 °C y precipitación pluvial promedio de 1200 mm (INEGI, 2024b).

El experimento se realizó en condiciones de campo bajo un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Cada parcela experimental consistió en cuatro hileras de maíz separadas por 80 cm entre sí, con un ancho total de 3.2 m por parcela. La distancia entre plantas dentro de cada hilera fue de 40 cm. Las dos hileras centrales se destinaron al área de cálculo para realizar las mediciones. Las dos hileras externas, así como las tres primeras y tres últimas plantas de cada extremo de las hileras centrales, se consideraron como efecto de borde. En total, se evaluaron 15 plantas por parcela en las hileras centrales. El área total de cada parcela fue de 26.88 m<sup>2</sup> (3.2 m de ancho por 8.4 m de largo). En conjunto, el área total experimental fue de 430.08 m<sup>2</sup>.

### Variables evaluadas

Con base en la metodología de Estrada-Urbina et al. (2023), se evaluaron distintas variables fenológicas: días a floración masculina (50 % de las plantas con emisión de polen); días a floración femenina (50 % de las plantas con estigmas receptivos e inicio de *jilotes*) y días a madurez fisiológica (cuando los granos mostraron una punta color pardo negruzco).

Antes de cosechar, se seleccionaron 10 plantas al azar para evaluar variables morfológicas: altura de la planta desde el nivel del suelo hasta el nudo de inserción de la hoja bandera (cm), así como biomasa foliar y radicular fresca y seca (g-planta<sup>-1</sup>). Para determinar la biomasa de las plantas, se separaron las partes foliares y radicales. Las muestras se secaron



the Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT, 2012), the weight of ear corn without husk, ear corn length and diameter, the number of rows and kernels per ear corn, kernels per row, weight of 100 kernels, and cob diameter and length were measured. Ear and cob length and diameter were measured using a tape measure and caliper, respectively. Plant biomass and grain weight were determined with a Sartorius precision balance

### Statistical analysis

All data were subjected to Cochran, Hartley, and Bartlett tests to assess homogeneity of variance. Additionally, the Kolmogorov-Smirnov test was applied to verify normal distribution. The data for phenological variables were analyzed using principal component analysis (PCA) to reduce dataset dimensionality and identify the main sources of variation (Hair et al., 2013).

The factor scores of the first three principal components obtained from the PCA were used as input variables in the Agglomerative Hierarchical Clustering. For this method, Euclidean distance was used as the similarity measure, and Ward's linkage method was applied for clustering. The purpose of this analysis was to identify clusters of maize varieties that shared similar phenological, morphological, and yield characteristics. Subsequently, the internal homogeneity of each group was evaluated by calculating the maximum distance from each observation to the group's centroid. Additionally, the separation between groups was determined by calculating the distance between their centroids. These calculations quantified the internal cohesion and differentiation between the identified groups

To compare the means of the principal components between the identified groups and identify whether there were significant differences between them, a one-way ANOVA and a Duncan's multiple comparison test ( $P \leq 0.05$ ) were performed. Data was processed with the statistical package Statistica for Windows, version 10 (StatSoft, 2014).

## Results and discussion

### Principal component analysis

Using PCA, three components were identified and labeled based on the characteristics and degree of correlation with the original variables (Table 1). According to this criterion, the new components were named PC1-Development, PC2-Yield, and PC3-Biomass, collectively explaining 89 % of the total variance of

en estufa a 70 °C hasta obtener un peso constante, después se determinó la biomasa total de las plantas (Llaven-Martínez et al., 2023).

Para evaluar los componentes del rendimiento, se seleccionaron al azar 10 plantas antes de la cosecha. Conforme a la metodología del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT, 2012), se determinó el peso de mazorcas sin totomoxtle, la longitud y diámetro de la mazorca, el número de hileras y granos por mazorca, el número de granos por hilera, el peso de 100 granos, el diámetro y longitud del olote, y el rendimiento de grano. La longitud y diámetro del olote y la mazorca se midieron con un flexómetro y un vernier, respectivamente. La biomasa de las plantas y el peso de los granos se determinaron con una balanza de precisión Sartorius.

### Análisis estadístico

Todos los datos se sometieron a las pruebas de Cochran, Hartley y Bartlett para determinar si cumplían con la homogeneidad de varianza. Además, se aplicó la prueba de Kolmogorov-Smirnov para comprobar si tenían distribución normal. Los datos de las variables fenológicas se analizaron mediante componentes principales (ACP) para reducir la dimensionalidad del conjunto de datos y extraer las principales fuentes de variación (Hair et al., 2013).

Las puntuaciones factoriales de los tres primeros componentes principales obtenidos del ACP se utilizaron como variables de entrada en el análisis de conglomerado jerárquico. Para este análisis, se empleó la distancia euclidiana como medida de similitud y el método de enlace de Ward para la agrupación. El propósito de este análisis fue identificar grupos de variedades de maíz que compartieran características fenológicas, morfológicas y de rendimiento similares. Posteriormente, se evaluó la homogeneidad interna de cada grupo mediante el cálculo de la distancia máxima desde cada observación hasta el centroide del grupo correspondiente. Además, se determinó la separación entre los distintos grupos mediante el cálculo de la distancia entre sus centroides. Estos cálculos permitieron cuantificar la cohesión interna y la diferenciación entre los grupos identificados.

Para comparar las medias de las componentes principales entre los grupos identificados e identificar si existían diferencias significativas entre ellos, se realizó un análisis de varianza de una vía (ANOVA) y una prueba de comparación múltiple de Duncan ( $P \leq 0.05$ ). Los datos se procesaron con el paquete estadístico Statistica para Windows, versión 10 (StatSoft, 2014).

**Table 1. Values and variance of the three principal components for 13 local maize varieties from the Frailesca Region, Chiapas, Mexico.**

**Cuadro 1. Valores y varianza de los tres principales componentes de 13 maíces locales de la región Frailesca, Chiapas, México.**

Original variables / Variables originales	PC1- Development / CP1- Desarrollo	PC2- Yield / CP2- Rendimiento	PC3- Biomass / CP3- Biomasa
Aboveground green biomass (g·plant <sup>-1</sup> ) / Biomasa verde aérea (g·planta <sup>-1</sup> )	0.32	-0.03	0.88*
Root green biomass (g·plant <sup>-1</sup> ) / Biomasa verde raíces (g·planta <sup>-1</sup> )	0.27	-0.21	0.88*
Aboveground dry biomass (g·plant <sup>-1</sup> ) / Biomasa seca aérea (g·planta <sup>-1</sup> )	0.11	0.16	0.94*
Root dry biomass (g·plant <sup>-1</sup> ) / Biomasa seca raíces (g·planta <sup>-1</sup> )	0.18	-0.19	0.87*
Plant height (cm) / Altura de la planta (cm)	0.90*	-0.15	0.15
Days to male flowering / Días a floración masculina	0.94*	0.03	0.08
Days to female flowering / Días a floración femenina	0.93*	-0.05	0.21
Days to physiological maturity / Días a madurez fisiológica	0.97*	-0.07	0.16
Cob weight (g·plant <sup>-1</sup> ) / Peso de mazorca (g·planta <sup>-1</sup> )	0.34	0.92*	0.06
Ear length (cm) / Longitud de mazorca (cm)	0.83*	0.05	0.44
Ear diameter (cm) / Diámetro de mazorca (cm)	-0.30	0.92*	-0.14
Number of rows per ear / Número de hileras por mazorca	-0.42	0.85*	-0.17
Number of kernels per row / Número de granos por hilera	0.81*	-0.10	0.22
Number of kernels per ear / Número de granos por mazorca	-0.02	0.96*	-0.05
Weight of 100 grains (g) / Peso de 100 granos (g)	0.56	-0.22	0.57
Cob diameter / Diámetro del olote	-0.37	0.86*	-0.08
Cob length / Longitud de olote	0.86*	-0.01	0.38
Grain yield (kg·ha <sup>-1</sup> ) / Rendimiento de grano (kg·ha <sup>-1</sup> )	0.43	0.84*	-0.04
Explained variance / Varianza explicada	6.80	4.97	4.07
Total variance (%) / Varianza total (%)	38.00	28.00	23.00
Cumulative total variance (%) / Varianza total acumulada (%)	38.00	66.00	89.00

\* Original variables contributing most to each component in the analysis

\*Variables originales que más contribuyen a cada componente en el análisis.

the evaluated variables (Table 1). The first component (PC1-Development) accounted for 38 % of the variance and grouped variables related to vegetative growth, phenological development of the plants, and the structure of the reproductive process (Table 1).

The second component (PC2-Yield) explained 28 % of the variance (Table 1) and was associated with variables characterizing the yield of local maize varieties. This component can be interpreted as a reflection of plant productivity and grain quality, both essential for evaluating the final crop yield and productivity. Lastly, the third component (PC3-Biomass) accounted for 23 % of the variance and indicated the varieties' capacity to accumulate plant biomass (either aboveground or root) fresh or dry.

## Resultados y discusión

### Análisis factorial de componentes principales

Con el ACP se identificaron tres componentes que fueron etiquetados según las características y el nivel de relación con las variables originales (Cuadro 1). De acuerdo con este criterio, los nuevos componentes se denominaron como CP1-Desarrollo, CP2-Rendimiento y CP3-Biomasa, los cuales explicaron, en conjunto, el 89 % de la varianza total de las variables evaluadas (Cuadro 1). El primer componente (CP1-Desarrollo) explicó el 38 % de la varianza y agrupó variables relacionadas con el crecimiento vegetativo, el desarrollo fenológico de las plantas y la estructura del proceso reproductivo (Cuadro 1).

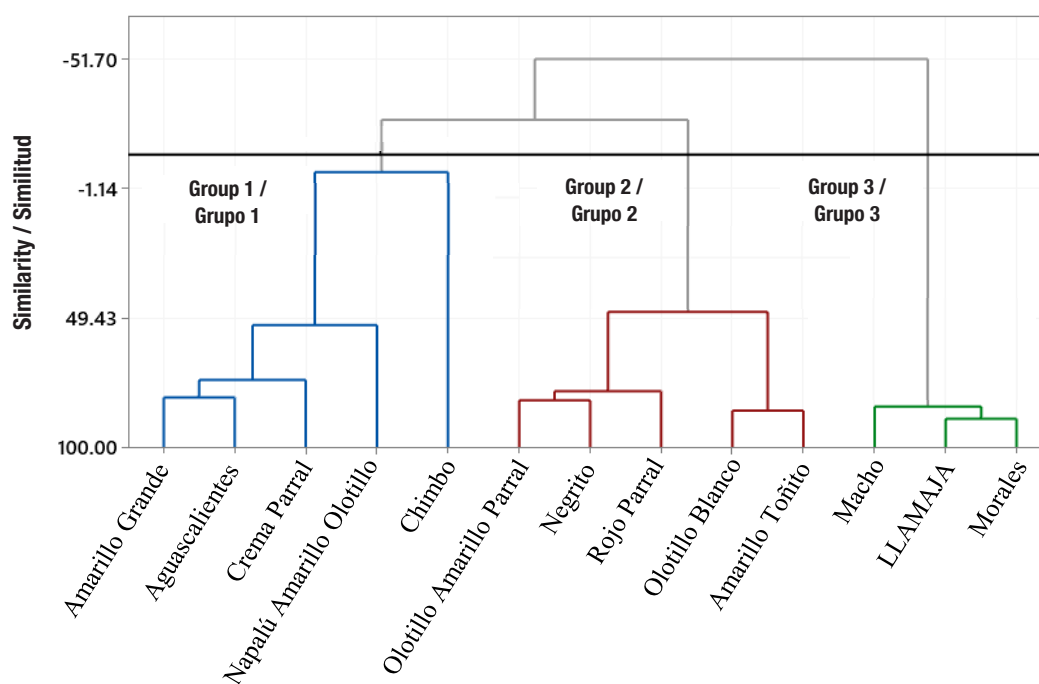
To predict the yield of maize varieties, vegetative development and ear characteristics are key elements in evaluation. Based on the PCA, a plant with good phenological development (PC1-Development) and biomass production (PC3-Biomass) is more likely to reach reproductive maturity, which will ultimately be reflected in yield. This interpretation contributes to the development and design of research focused on plant growth, reproductive process quality, and grain yield. In addition, it is a guide for making strategic decisions, as well as for selecting varieties or genotypes that maximize forage production and grain yield (Caballero-Salinas et al., 2017).

### Clustering of local maize varieties based on phenological, morphological, and yield characteristics

These maize varieties were clustered into three categories, with each group displaying specific agronomic traits that distinguish them in terms of biomass production, phenology, and grain yield (Figure 2).

El segundo componente (CP2-Rendimiento) explicó el 28 % de la varianza (Cuadro 1) y se asoció con variables que caracterizan el rendimiento de los maíces locales. Este componente se puede interpretar como un reflejo de la productividad de las plantas y la calidad del grano, lo cual es crucial para evaluar el rendimiento y productividad final del cultivo. Finalmente, el tercer componente (CP3-Biomasa) explicó el 23 % de la varianza y demostró la capacidad de las variedades para acumular biomasa vegetal (aérea o radicular) fresca o seca.

Para predecir el rendimiento de las variedades de maíz, el desarrollo vegetativo y las características de la mazorca son elementos clave en la evaluación. Con base en el ACP, una planta con buen desarrollo fenológico (CP1-Desarrollo) y producción de biomasa (CP3-Biomasa) tiene mayores probabilidades de llegar a estado reproductivo, lo cual se reflejará finalmente en el rendimiento. Esta interpretación contribuye al desarrollo y diseño de investigaciones orientadas al desarrollo de las plantas, la calidad del proceso reproductivo y el rendimiento del grano. Además,



**Figure 2. Typologies of local maize from the Frailesca region of Chiapas based on phenological, morphological and yield variables. Group 1: long cycle and moderate leaf biomass; Group 2: low yield and short cycle; Group 3: high leaf biomass and high yield.**

**Figura 2. Tipologías de maíces locales de la región Frailesca de Chiapas basadas en variables fenológicas, morfológicas y de rendimiento. Grupo 1: ciclo largo y biomasa foliar moderada; Grupo 2: bajo rendimiento y ciclo corto; Grupo 3: alta biomasa foliar y rendimiento elevado.**

### Group 1: long cycle and moderate leaf biomass

This group included the following varieties: ‘Amarillo Grande’, ‘Aguascalientes’, ‘Crema Parral’, ‘Napalú’ and ‘Chimbo’ (Figure 2), all characterized by having the longest phenological cycle and moderate aboveground and root biomass production. These varieties showed greater internal dispersion, with a maximum distance from the centroid of 2.75 units, which indicated heterogeneity in their characteristics (Table 2). On the other hand, they showed a medium capacity to accumulate biomass and late maturity compared to the other groups. In addition, their grain yield was not the highest, suggesting that the investment in vegetative growth and prolonged phenological cycle may have negatively impacted grain yield.

### Group 2: low yield and short cycle

This group included the varieties ‘Olotillo Amarillo Parral’, ‘Negrito’, ‘Rojo Parral’, ‘Olotillo Blanco’ and ‘Amarillo Toñito’ (Figure 2), which were characterized by short cycle, early flowering and early maturity. Although they showed intermediate values in most of the biomass variables, they were characterized by low grain yield.

Regarding internal dispersion, Group 2 had a maximum distance from the centroid of 0.97 units and an average distance of 0.76 units, reflecting less heterogeneity compared to Group 1. This suggests that the characteristics within this group were more uniform, with lower variability in phenological, morphological, and yield traits (Table 2).

The early maturity of these varieties may be advantageous in production systems requiring early harvests, particularly in regions with limiting soil and climate factors that create stress conditions (either abiotic or biotic), as they reach physiological maturity quickly (de la Mora-Orozco et al., 2017; Comisión Nacional del Agua

sirve de guía para tomar decisiones estratégicas, así como para seleccionar variedades o genotipos que maximicen la producción de forraje y el rendimiento del grano (Caballero-Salinas et al., 2017).

### Agrupamiento de maíces locales según características fenológicas, morfológicas y de rendimiento

Los maíces se agruparon en tres categorías, y cada grupo mostró características agronómicas específicas que los diferencian en términos de producción de biomasa, fenología y rendimiento de grano (Figura 2).

#### Grupo 1: ciclo largo y biomasa moderada

Este grupo incluyó a las variedades ‘Amarillo Grande’, ‘Aguascalientes’, ‘Crema Parral’, ‘Napalú’ y ‘Chimbo’ (Figura 2), caracterizadas por tener el ciclo fenológico más largo y una producción de biomasa moderada de la parte aérea y raíces. Estas variedades exhibieron mayor dispersión interna, con una distancia máxima desde el centroide de 2.75 unidades, lo cual indicó heterogeneidad en sus características (Cuadro 2). Por otro lado, mostraron una capacidad media para acumular biomasa y maduración tardía en comparación con los otros grupos. Además, su rendimiento en grano no fue el más elevado, lo que sugirió que la inversión en crecimiento vegetativo y ciclo fenológico prolongado pudieron afectar negativamente el rendimiento del grano.

#### Grupo 2: bajo rendimiento y ciclo corto

Este grupo estuvo compuesto por las variedades ‘Olotillo Amarillo Parral’, ‘Negrito’, ‘Rojo Parral’, ‘Olotillo Blanco’ y ‘Amarillo Toñito’ (Figura 2), las cuales se caracterizaron por presentar ciclo corto, floración y maduración temprana. Aunque mostraron valores intermedios en la mayoría de las variables de biomasa, destacaron por un bajo rendimiento de grano.

**Table 2. Summary of the groups identified in the hierarchical cluster analysis based on Euclidean distance with Ward linkage. Cuadro 2. Resumen de los grupos identificados en el análisis de conglomerado jerárquico con base en la distancia euclidiana con enlace Ward.**

Groups / Grupos	Number of observations / Número de observaciones	Average distance from the centroid / Distancia promedio desde el centroide	Maximum distance from centroid / Distancia máxima desde centroide
G1	5	1.35	2.75
G2	5	0.76	0.97
G3	3	0.34	0.40



[CONAGUA], 2024). Although these varieties have lower biomass and grain production, they could be considered in productive systems employing crop rotation or intercropping schemes (Guevara-Hernández et al., 2019; Hernández-Ramos et al., 2020; Llaven-Martínez et al., 2023).

### Group 3: high leaf biomass and high yield

This group is formed by the varieties 'Macho', 'LLAMAJA' and 'Morales' (Figure 2), which were characterized by their grain yield and foliar biomass production. These varieties showed an optimal balance between vegetative growth, phenological cycle and productivity. Therefore, they are suitable for production systems that seek to maximize grain yield without sacrificing biomass production.

Group 3 had the lowest internal dispersion, with a maximum distance from the centroid of 0.40 units and an average distance of 0.34 units, indicating a remarkable homogeneity within the group. The low variability suggests that the varieties share similar agronomic characteristics, especially in terms of yield and biomass production (Table 2). The analysis of the distances between the centroids of the clusters (Table 3) provided additional information on the divergence in the physiological strategies employed by the studied maize varieties, allowing for their grouping based on distinctive characteristics. The distance between Cluster 1 (long cycle and moderate biomass) and Cluster 3 (high leaf biomass and high yield) was 1715.73 units (Table 3). This indicated differences between the two groups in terms of biomass accumulation, phenological cycle and yield-related variables.

On the other hand, the greatest distance was observed between Group 2 and Group 3, with a value of 1779.39 units (Table 3). This distance reflects the fact

En cuanto a la dispersión interna, el Grupo 2 tuvo una distancia máxima desde el centroide de 0.97 unidades y una distancia promedio de 0.76 unidades, lo cual reflejó una menor heterogeneidad comparada con el Grupo 1. Esto sugiere que las características dentro de este grupo fueron más uniformes, con menor variabilidad en las características fenológicas, morfológicas y de rendimiento (Cuadro 2).

La precocidad de estas variedades puede ser una ventaja en sistemas de producción donde se requiera una cosecha temprana; por ejemplo, en regiones con factores edafoclimáticos limitantes que provocan condiciones de estrés (abiótico o biótico), debido a que alcanzan una madurez fisiológica rápidamente (de la Mora-Orozco et al., 2017; Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2024). Aunque estas variedades presentan menor producción de biomasa y grano, se podrían considerar en sistemas productivos con esquemas de rotación o asociación de cultivos (Guevara-Hernández et al., 2019; Hernández-Ramos et al., 2020; Llaven-Martínez et al., 2023).

### Grupo 3: alta biomasa foliar y rendimiento elevado

Este grupo está formado por las variedades 'Macho', 'LLAMAJA' y 'Morales' (Figura 2), las cuales destacaron por su rendimiento en grano y producción de biomasa foliar. Dichas variedades mostraron un equilibrio óptimo entre crecimiento vegetativo, ciclo fenológico y productividad. Por lo que son convenientes para sistemas productivos que buscan maximizar el rendimiento de grano, sin sacrificar la producción de biomasa.

El Grupo 3 tuvo la menor dispersión interna, con una distancia máxima desde el centroide de 0.40 unidades y una distancia promedio de 0.34 unidades, lo que indica una notable homogeneidad dentro del grupo. La baja variabilidad sugiere que las variedades compar-

**Table 3. Distances between the centroids of the groups formed by a hierarchical cluster analysis based on Euclidean distance with Ward linkage.**

**Cuadro 3. Distancias entre los centroides de los grupos formados al realizar un análisis multivariado de conglomerado jerárquico con base en la distancia euclidiana con enlace Ward.**

Groups / Grupos	G1	G2	G3
G1	0.00	1681.61	1715.73
G2	1681.61	0.00	1779.39
G3	1715.73	1779.39	0.00

G1: group of varieties labeled as 'high biomass producers'; G2: group of varieties labeled as 'early maturity and moderate production'; G3: group of varieties labeled as 'high grain yield'.

G1: grupo de variedades etiquetado como 'altas productoras de biomasa'; G2: grupo de variedades etiquetado como 'maduración temprana y moderada producción'; G3: grupo de variedades etiquetado como 'alto rendimiento de grano'.

that the groups had contrasting approaches in terms of precocity and productive capacity. Although the maize in Group 2 has lower grain yield, it is ideal for production systems where a quick crop cycle and adaptation to restrictive conditions are essential. In contrast, Group 3 varieties are preferred in environments aimed at maximizing grain yield by external resources.

Finally, the distance between Group 1 and Group 2 was 1681.61 units, suggesting some overlap in characteristics such as biomass and yield. For instance, the Chimbo variety, while classified within Group 1, had intermediate tendencies toward Group 2. Group 2 varieties showed rapid growth and development with lower yield, characterized by their quick maturation (Table 3).

The ANOVA results (Table 4) showed no significant differences between the groups for PC1-Development ( $F = 1.779$ ,  $P = 0.218$ ), suggesting similar variability in vegetative development among the varieties within the groups formed

On the other hand, differences were found for the PC2-Yield and PC3-Biomass components (Table 4). This indicates that the groups of varieties differed significantly in yield and biomass accumulation capacity. Based on the results, differences in reproductive and growth characteristics are suggested among the groups of local maize varieties. The mean comparison showed significant differences between groups (Table 5), indicating they are statistically distinct in agronomic traits. Therefore, the grouped varieties share similar characteristics in terms of development, yield, and biomass, which differ from those of other groups.

Group 1 showed an average value of 0.92 ( $\pm 0.36$ ) for PC3, suggesting that they accumulated significantly higher biomass compared to the other groups (Table 5).

ten características agronómicas similares, especialmente en términos de rendimiento y producción de biomasa (Cuadro 2). El análisis de las distancias entre los centroides de los conglomerados (Cuadro 3) proporcionó información adicional sobre la divergencia en las estrategias fisiológicas utilizadas por los maíces estudiados, lo cual permitió agruparlos con características distintivas. La distancia entre el Grupo 1 (ciclo largo y biomasa moderada) y el Grupo 3 (alta biomasa foliar y rendimiento elevado) fue de 1715.73 unidades (Cuadro 3). Esto indicó diferencias entre ambos grupos en cuanto a la acumulación de biomasa, el ciclo fenológico y las variables relacionadas con el rendimiento.

Por otro lado, la mayor distancia se observó entre el Grupo 2 y el Grupo 3, con un valor de 1779.39 unidades (Cuadro 3). Esta distancia reflejó que los grupos presentaron enfoques extremos en términos de precocidad y capacidad productiva. Los maíces del Grupo 2, a pesar de su menor rendimiento en grano, son ideales para sistemas de producción donde la rapidez en el ciclo de cultivo y la adaptación a condiciones restrictivas son importantes. Por el contrario, las variedades del Grupo 3 son preferidas en entornos que buscan maximizar el rendimiento de grano con el uso de recursos externos.

Finalmente, la distancia entre el Grupo 1 y el Grupo 2 fue de 1681.61 unidades, lo cual sugiere que hubo solapamiento en características como la biomasa y el rendimiento. Por ejemplo, en la variedad Chimbo, aunque se encuentra ubicado en el Grupo 1, presentó tendencias intermedias hacia el Grupo 2. Las variedades del Grupo 2 fueron de crecimiento y desarrollo acelerados, y bajo rendimiento, por lo que las distingue la rápida maduración (Cuadro 3).

Los resultados del ANOVA (Cuadro 4) mostraron que no hubo diferencias significativas entre los grupos para el componente CP1-Desarrollo ( $F = 1.779$ ,  $P = 0.218$ ), lo

**Table 4. Comparison of local maize groups using ANOVA based on the newly formed variables (PC1, PC2, and PC3). Cuadro 4. Comparación de grupos de maíces locales mediante ANOVA, a partir de las nuevas variables formadas (CP1, CP2 y CP3).**

Components / Componentes	SS / SC	DF / GL	MS / CM	SS / SC	DF / GL	MS / CM	F	P
	Effect / Efecto			Error				
PC1	3.15	2	1.57	8.85	10	0.89	1.78	0.2182
PC2	9.83	2	4.92	2.17	10	0.22	22.68	0.0002
PC3	6.89	2	3.44	5.11	10	0.51	6.73	0.0141

PC1, PC2 and PC3: groups derived from cluster analysis based on development, yield and biomass production characteristics; SS: sum of squares; DF: degrees of freedom; MS: mean square;  $F = MS \text{ effect} / MS \text{ error}$ ;  $P \leq 0.05$ : there are significant differences among groups.

CP1, CP2 y CP3: grupos formados a partir del análisis de conglomerados basado en características de desarrollo, rendimiento y producción de biomasa; SC: suma de cuadrados; GL: grados de libertad; CM: cuadrado medio;  $F = CM \text{ efecto} / CM \text{ error}$ ;  $P \leq 0.05$ : existen diferencias significativas entre los grupos.

**Table 5. Behavior of the identified variety groups and their characteristics in the principal components developed.**  
**Cuadro 5. Comportamiento de los grupos de variedades identificados y sus características en los componentes principales formados.**

Groups / Grupos	PC1-Development / CP1-Desarrollo	PC2-Yield / CP2-Rendimiento	PC3-Biomass / CP3-Biomasa
G1-Long cycle and moderate biomass / G1-Ciclo largo y biomasa moderada	-0.51 ( $\pm 0.06$ ) <sup>ns</sup>	-0.24 ( $\pm 0.26$ ) b	0.92 ( $\pm 0.36$ ) a
G2-Low yield and short cycle / G2-Bajo rendimiento y ciclo corto	0.59 ( $\pm 0.09$ ) <sup>ns</sup>	-0.69 ( $\pm 0.17$ ) b	-0.59 ( $\pm 0.35$ ) b
G3-High leaf biomass and high yield / G3-Alta biomasa foliar y rendimiento elevado	-0.14 ( $\pm 0.07$ ) <sup>ns</sup>	1.54 ( $\pm 0.19$ ) a	-0.56 ( $\pm 0.13$ ) b

ns: not significant; G: group; PC: principal components from factor analysis. Numbers in parentheses indicate the standard error of the mean. Means with the same letter in each column are not statistically different (Duncan,  $P \leq 0.05$ ).

ns: no significativo; G: grupo; CP: componentes principales obtenidos a partir del análisis factorial. Números entre paréntesis indican el error estándar de la media. Medias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Duncan,  $P \leq 0.05$ ).

However, in terms of development (PC1), this group showed no significant differences compared to the others ( $-0.51 \pm 0.06$ ), thus, the growth cycle was not a distinguishing factor in this group

Group 2 showed negative values in PC3 ( $-0.59 \pm 0.35$ ) and PC2 ( $-0.69 \pm 0.17$ ), because it had lower yield capacity and biomass accumulation. Likewise, this group presented a positive value, although not significant, in PC1 ( $0.59 \pm 0.09$ ), probably due to rapid phenological development and low yield.

Group 3 had a significantly higher PC2 value ( $1.54 \pm 0.19$ ,  $P \leq 0.05$ ), probably due to higher grain production (Table 5). Although in PC3 it showed a negative value ( $-0.56 \pm 0.13$ ), generated by the lower biomass compared to Group 1. This suggests that these varieties allocate resources toward grain yield rather than biomass.

The lack of significant differences in the PC1-Development suggests that the growth of maize plants does not differentiate the groups. In contrast, yield and biomass were the factors that distinguished the varieties into three distinct groups. This may be related to the fact that PC1 had the highest variance (38 %) compared to PC2 (28 %) and PC3 (23 %), indicating a greater dispersion in the collected data (Table 1).

The results in this study reflect the phenotypic heterogeneity present among the groups of maize varieties evaluated. The fact that there were no significant differences in the PC1-Development component, despite the genetic variability, reflects that the groups show similar vegetative development. This could be related to the adaptation of these varieties to similar

conditions, which suggests a similar variability in the vegetative development among the varieties of the groups formed.

Por otro lado, se encontraron diferencias para los componentes CP2-Rendimiento y CP3-Biomasa (Cuadro 4). Esto indica que los grupos de variedades fueron significativamente diferentes en cuanto a rendimiento y capacidad de acumulación de biomasa. Con base en los resultados se sugiere que existen diferencias en las características reproductivas y de crecimiento entre los grupos de maíces locales. Al realizar la comparación de medias, se demostró que existieron diferencias significativas entre los grupos (Cuadro 5), por lo que son estadísticamente distintos en términos de características agronómicas. Por lo tanto, las variedades agrupadas comparten características similares en términos de desarrollo, rendimiento y biomasa, además de que estas características son diferentes de las variedades de otros grupos.

El Grupo 1 mostró un valor promedio de  $0.92 (\pm 0.36)$  en el CP3, lo cual sugiere que acumularon significativamente mayor biomasa en comparación con los otros grupos (Cuadro 5). Sin embargo, en términos de desarrollo (CP1), este grupo no presentó diferencias significativas en comparación con los demás ( $-0.51 \pm 0.06$ ), por lo que el ciclo de crecimiento no fue un factor distintivo en este conjunto.

El Grupo 2 destacó por tener valores negativos en CP3 ( $-0.59 \pm 0.35$ ) y CP2 ( $-0.69 \pm 0.17$ ), debido a que tuvo menor capacidad de rendimiento y acumulación de biomasa. Asimismo, este grupo presentó un valor positivo, aunque no significativo, en CP1 ( $0.59 \pm 0.09$ ),

agroecological conditions, which allows for homogeneous vegetative growth (Delgado-Ruiz et al., 2018; Llaven-Martínez et al., 2023).

In contrast, the significant differences observed in the components PC2-Yield and PC3-Biomass highlight the functional specialization of certain groups in grain and biomass production. For example, Group 3 varieties with high leaf biomass and high yield, such as Macho, LLAMAJA and Morales, can be used for dual purposes: forage production and grain production. By completing their phenological cycle early, Group 2 varieties have an adaptive advantage in environments with water stress, such as those predominant in the Frailesca Region. In this regard, these varieties can be a viable alternative for planting at the beginning and end of the rainy season, in addition to being a crop option for producers without access to irrigation systems.

Based on the above, it is important to select maize varieties based on the specific needs of the production system, as well as to make a balance between crop cycle, biomass and grain yield.

In the Frailesca Region of Chiapas, research has been developed focused on the study of cultivated genotypes that are selected and conserved by producers (Arias-Yero et al., 2023; Guevara-Hernández et al., 2019). The objectives of this research range from biomass production for animal feed, yield increase, and preservation of certain grain characteristics such as size and color (Guevara-Hernández et al., 2018; Hurtado, 2019; Reyes-Muro et al., 2013). These studies highlight the need for a new conceptual vision called 'local maize', which integrates cultural, genetic and phenotypic components of maize varieties (Guevara-Hernández et al., 2019). These maize varieties have been developed and conserved in the niches where they are located, because of the sustained use and management by local producers.

It has been demonstrated that there is significant richness and diversity of these maize varieties in the Frailesca Region of Chiapas (Hernández-Ramos et al., 2020). Morpho-physiological studies conducted by Llaven-Martínez et al. (2023) on 12 local varieties showed that 10 had a short cycle, and two had long cycle and with variations in biomass yield. This agrees with the results obtained in this study; however, the inclusion of variables related to crop yield allowed a casuistic study on the subject. Llaven-Martínez et al. (2023) demonstrated that varieties with better biomass yield reached their production peak early compared to high yielding varieties. That is, the varieties with lower biomass production had a fast phenological cycle, while

debido, probablemente, a un desarrollo fenológico rápido y bajo rendimiento.

El Grupo 3 presentó un valor de CP2 ( $1.54 \pm 0.19$ ,  $P \leq 0.05$ ) significativamente más alto, probablemente debido a una mayor producción de grano (Cuadro 5) aunque en el CP3 mostró un valor negativo ( $-0.56 \pm 0.13$ ), generado por la menor biomasa en comparación con el Grupo 1. Lo anterior sugiere que estas variedades canalizan recursos hacia el rendimiento de grano más que hacia la biomasa.

El no detectar diferencias significativas en el CP1-Desarrollo sugiere que el desarrollo de las plantas de maíz no permite diferenciar a los grupos. En cambio, el rendimiento y la biomasa fueron los factores que separaron a las variedades en tres grupos distintos. Esto podría estar relacionado con que el CP1 presentó la que mayor varianza explicada (38 %) en comparación con CP2 (28 %) y CP3 (23 %), lo cual indica una mayor dispersión en los datos obtenidos (Cuadro 1).

Los resultados obtenidos en este estudio reflejan la heterogeneidad fenotípica presente entre los grupos de las variedades de maíz evaluadas. El que no hubiera diferencias significativas en el componente CP1-Desarrollo, a pesar de la variabilidad genética, refleja que los grupos muestran un desarrollo vegetativo similar. Esto podría estar relacionado con la adaptación de estas variedades a condiciones agroecológicas similares, lo cual permite un crecimiento vegetativo homogéneo (Delgado-Ruiz et al., 2018; Llaven-Martínez et al., 2023).

En contraste, las diferencias significativas observadas en los componentes CP2-Rendimiento y CP3-Biomasa destacan la especialización funcional de ciertos grupos en la producción de grano y biomasa. Por ejemplo, las variedades del Grupo 3 con alta biomasa foliar y rendimiento elevado, como Macho, LLAMAJA y Morales, pueden ser utilizadas con doble propósito: producción de forraje y obtención de granos. Al finalizar su ciclo fenológico de forma temprana, las variedades del Grupo 2 presentan una ventaja adaptativa en ambientes con estrés hídrico, como los predominantes en la región Frailesca. En este sentido, dichas variedades pueden ser una alternativa viable para su siembra al inicio y al final del periodo lluvioso, además de ser una opción de cultivo para productores sin acceso a sistemas de riego.

Considerando lo anterior, es importante seleccionar variedades de maíz con base en las necesidades específicas del sistema de producción, así como realizar un balance entre ciclo de cultivo, biomasa y rendimiento de grano.

those with higher biomass yield maintained stable production over time.

This study demonstrated the phenotypic heterogeneity among local maize varieties in the Frailesca Region of Chiapas, as evidenced by the PCA and hierarchical cluster analysis. The three identified components (development, yield, and biomass) explained a high percentage of the total variance; thus, phenological, morphological, and yield characteristics were significant in differentiating the studied varieties.

The significant differences found between PC2-Yield and PC3-Biomass indicated functional specialization of certain local maize groups. Group 3 with high grain yield and leaf biomass was positioned as a strategic option in production systems oriented to yield maximization. Group 2, with low yield and short cycle, showed an adaptive advantage in environments with production limitations (such as water stress), making it a viable alternative in adverse soil and climate conditions.

Cluster analysis allowed the identification of three groups of local maize with distinctive agronomic characteristics. The similarity in vegetative development (PC1) among the groups suggests a common adaptation to the agroecological conditions of the region, while the differences in yield and biomass reflect the functional diversity within the varieties studied.

The selection of local maize varieties is important because of their yield and ability to adapt to different production systems and environmental conditions (Camacho-Villa et al., 2024; Llaven-Martínez et al., 2023). Additionally, the diversity of groups obtained in this study reflects the importance of conserving and sustainably managing maize varieties, since they are a genetic and cultural resource for the Frailesca Region of Chiapas. Finally, the inclusion of variables related to yield and biomass in future studies will improve the understanding of the diversity and productive potential of local maize varieties, which will contribute to the development of sustainable agricultural strategies.

## Conclusions

Three distinct groups of local maize were identified according to biomass accumulation, development and yield characteristics. Group 1 included long-cycle maize with moderate biomass accumulation, such as 'Amarillo Grande' and 'Aguascalientes.' Group 2 consisted of varieties with low yield and a short cycle, such as 'Olotillo Amarillo Parral' and 'Negrito.' Group 3 was composed of varieties with high leaf biomass accumulation and high grain yield, such as 'Macho'

En la región Frailesca de Chiapas, se han desarrollado investigaciones enfocadas en el estudio de genotipos cultivados, seleccionados y conservados por los productores (Arias-Yero et al., 2023; Guevara-Hernández et al., 2019). Los objetivos de estas investigaciones van desde la producción de biomasa para alimento animal, el incremento del rendimiento, y la preservación de determinadas características del grano como el tamaño y color (Guevara-Hernández et al., 2018; Hurtado, 2019; Reyes-Muro et al., 2013). Estos estudios resaltan la necesidad de una nueva visión conceptual denominada 'maíces locales', la cual integra componentes culturales, genéticos y fenotípicos de las variedades de maíz (Guevara-Hernández et al., 2019). Estos maíces se han desarrollado y conservado en los nichos donde se localizan, como resultado del uso y manejo sostenido por los productores locales.

Se ha demostrado que existe riqueza y diversidad de estos maíces en la región Frailesca de Chiapas (Hernández-Ramos et al., 2020). Los estudios morfo-fisiológicos realizados por Llaven-Martínez et al. (2023) en 12 variedades locales mostraron que 10 tenían un ciclo corto, y dos eran de ciclo largo y con variaciones en el rendimiento de biomasa. Esto concuerda con los resultados obtenidos en este estudio; sin embargo, la inclusión de variables relacionadas con el rendimiento del cultivo permitió hacer un estudio casuístico sobre el tema. Llaven-Martínez et al. (2023) demostraron que las variedades con mejor rendimiento de biomasa alcanzaron su pico de producción de manera temprana en comparación con las de alto rendimiento. Es decir, las variedades de menor producción de biomasa tuvieron un ciclo fenológico rápido, mientras que las de mayor rendimiento de biomasa mantuvieron una producción estable a lo largo del tiempo.

El presente estudio mostró la heterogeneidad fenotípica entre las variedades locales de maíz en la región Frailesca de Chiapas, la cual se evidenció mediante los ACP y de conglomerados jerárquicos. Los tres componentes identificados (desarrollo, rendimiento y biomasa) explicaron un alto porcentaje de la varianza total; por lo tanto, las características fenológicas, morfológicas y de rendimiento fueron importantes en la diferenciación de las variedades estudiadas.

Las diferencias significativas encontradas entre el CP2-Rendimiento y CP3-Biomasa indicaron especialización funcional de ciertos grupos de maíces locales. El Grupo 3 con alto rendimiento de grano y biomasa foliar se posicionó como una opción estratégica en sistemas de producción orientados a la maximización del rendimiento. El Grupo 2, con bajo rendimiento y ciclo corto, presentó una ventaja adaptativa en ambientes con limitación productiva (como estrés hídrico), por lo



and 'LLAMAJA.' This study deepened the diversity of characteristics present in local maize, which enriches traditional knowledge and the development of sustainable management strategies, such as conservation and food security in the region.

### Acknowledgments

The authors thank the Universidad Autónoma de Chiapas, the Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías and the Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación de Chiapas for the support provided to conduct the research that led to this publication.

*End of English version*

### References / Referencias

- Anderson, R., Bayer, P. E., & Edwards, D. (2020). Climate change and the need for agricultural adaptation. *Current Opinion in Plant Biology*, 56, 197-202. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2019.12.006>
- Arias-Yero, I., Guevara-Hernández, F., La O-Arias, M. A., & Villegas-Chávez, R. (2023). Caracterización de capitales tangibles en unidades de producción familiar con maíces locales en Chiapas, México. *Universidad y Sociedad*, 15(6), 446-455. [https://www.researchgate.net/publication/379178948\\_CHARACTERIZACION\\_DE\\_CAPITALES\\_TANGIBLES\\_EN\\_UNIDADES\\_DE\\_PRODUCCION\\_FAMILIAR\\_CON\\_MAICES\\_LOCALES\\_EN\\_CHIAPAS\\_MEXICO](https://www.researchgate.net/publication/379178948_CHARACTERIZACION_DE_CAPITALES_TANGIBLES_EN_UNIDADES_DE_PRODUCCION_FAMILIAR_CON_MAICES_LOCALES_EN_CHIAPAS_MEXICO)
- Aviles-Peñañiel, M. J., Montilla-López, Y. J., Nieto-Cañarte, C. A., & Yunda-Alvarez, F. E. (2022). Zonificación agroecológica del cultivo de maíz (*Zea mays*) y su adaptabilidad a posibles cambios climáticos en el cantón Buena Fe, provincia de Los Ríos. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(6), 6484-6501. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v6i6.3900](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i6.3900)
- Barrera-Guzmán, L. A., Legaria-Solano, J. P., & Ortega-Paczka, R. (2020). Diversidad genética en poblaciones de razas mexicanas de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 43(1), 121-125. <https://doi.org/10.35196/rfm.2020.1.121>
- Caballero-Salinas, J. C., Moreno-Reséndez, A., Reyes-Carrillo, J. L., García-Valdez, J. S., López-Báez, W., & Jiménez-Trujillo, J. A. (2017). Competencia del uso del rastrojo de maíz en sistemas agropecuarios mixtos en Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(1), 91-104. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i1.74>
- Caballero-Salinas, J. C., Pizaña-Vidal, H. A., González-Cabañas, A. A., Núñez-Ramos, E., Aguilar-Cruz, F., & Ovando-Salinas, E. (2023). Composición morfológica y rendimientos de maíces nativos sin uso de agroquímicos en Chiapas, México. *Siembra*, 10(2), 2-15. <https://doi.org/10.29166/siembra.v10i2.3997>
- Camacho-Villa, T. C., Aparicio-Sánchez, S., Costich, D. E., & Vidal-Martínez, V. A. (2024). Dinámicas de mantenimiento y de pérdida in situ del maíz raza Jala. *Revista Mexicana de*

que es una alternativa viable en condiciones edafoclimáticas adversas.

El análisis de conglomerados permitió identificar tres grupos de maíces locales con características agronómicas distintivas. La similitud en el desarrollo vegetativo (CP1) entre los grupos sugiere una adaptación común a las condiciones agroecológicas de la región, mientras que las diferencias en rendimiento y biomasa reflejan la diversidad funcional dentro de las variedades estudiadas.

La selección de variedades de maíz local es importante debido a su rendimiento y su capacidad para adaptarse a diferentes sistemas de producción y condiciones ambientales (Camacho-Villa et al., 2024; Llaven-Martínez et al., 2023). Adicionalmente, la diversidad de grupos obtenidos en este trabajo refleja la importancia de conservar y manejar de manera sostenible las variedades de maíz, ya que son un recurso genético y cultural para la región Frailesca de Chiapas. Finalmente, la inclusión de variables relacionadas con el rendimiento y la biomasa en futuros estudios permitirá mejorar la comprensión sobre la diversidad y el potencial productivo de las variedades locales de maíz, lo cual contribuirá al desarrollo de estrategias agrícolas sostenibles.

### Conclusiones

Se identificaron tres grupos distintos de maíces locales según sus características de acumulación de biomasa, desarrollo y rendimiento. El Grupo 1 incluyó maíces de ciclo largo y acumulación moderada de biomasa, como 'Amarillo Grande' y 'Aguascalientes'. En el Grupo 2 se agruparon las variedades de bajo rendimiento y ciclo corto, como 'Olotillo Amarillo Parral' y 'Negrito'. El Grupo 3 estuvo compuesto por variedades con alta acumulación de biomasa foliar y elevado rendimiento de grano, como 'Macho' y 'LLAMAJA'. Este estudio profundizó en la diversidad de características presentes en los maíces locales, lo que enriquece el conocimiento tradicional y el desarrollo de estrategias de manejo sostenible, como su conservación y la seguridad alimentaria de la región.

### Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Autónoma de Chiapas, al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías y al Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación de Chiapas por los apoyos concurrentes y complementarios otorgados para llevar a cabo la investigación que dio origen a esta publicación.

*Fin de la versión en español*

- Ciencias Agrícolas*, 15(1), 1-14. <https://doi.org/10.29312/remexca.v15i1.3247>
- Castellanos-Domínguez, A. R. (2023). Maíz, identidad y nueva ruralidad. In R. A. Azarpalo-Dorantes & G. A. Ruiz-Muñoz (Eds.), *Complejo ideológico cultural del maíz: Una aproximación interdisciplinaria* (pp. 103–121). Universidad Internacional AC. [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=g8LbEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA103&dq=el+maíz+ADz+a+nivel+global&ots=\\_6hJ5FW6X1&sig=jS9BVZ-G88sgw3yRB6iSqVvWpYg#v=onepage&q=el%20maíz+ADz%20a%20nivel%20global&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=g8LbEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA103&dq=el+maíz+ADz+a+nivel+global&ots=_6hJ5FW6X1&sig=jS9BVZ-G88sgw3yRB6iSqVvWpYg#v=onepage&q=el%20maíz+ADz%20a%20nivel%20global&f=false)
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). (2012). *Manual de determinación de rendimiento*. CIMMYT. <https://idp.cimmyt.org/publicacion/manual-del-determinacion-de-rendimiento/>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2024). Resúmenes mensuales de temperaturas y lluvia. *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) de México*. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias>
- de la Mora-Orozco, C., Ruíz-Corral, J. A., Flores-López, H. E., Zarazúa-Villaseñor, P., Ramírez-Ojeda, G., Medina-García, G., Rodríguez-Moreno, V. M., & Chávez-Durán, A. A. (2017). Índices de cambio climático en el estado de Chiapas, México, en el periodo 1960-2009. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(13), 2523–2534. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342016000902523&lng=es&nrm=iso](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016000902523&lng=es&nrm=iso)
- Delgado-Ruiz, F., Guevara-Hernández, F., & Acosta-Roca, R. (2018). Criterios campesinos para la selección de maíz (*Zea mays* L.) en Villaflores y Villa Corzo, Chiapas, México. *CienciaUAT*, 13(1), 123–134. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v13i1.985>
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). (2014). *Claves para la taxonomía de suelos*. USDA. <https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/Spanish-Keys-to-Soil-Taxonomy.pdf>
- Estrada, F., Mendoza-Ponce, A., Calderón-Bustamante, O., & Botzen, W. (2022). Impacts and economic costs of climate change on Mexican agriculture. *Regional Environmental Change*, 22, 126. <https://doi.org/10.1007/s10113-022-01986-0>
- Estrada-Urbina, J., Cantú-López, E., Molina-Moreno, J. C., & Estrada-Gómez, J. A. (2023). Madurez fisiológica en semillas de maíz (*Zea mays* L.) mediante marcadores morfológicos y el contenido de humedad. *Agronomía Mesoamericana*, 53269. <https://doi.org/10.15517/am.2023.53269>
- Flores-Pérez, L., Chávez-Servia, J. L., Gil-Muñoz, A., Santacruz-Varela, A., & Antonio-López, P. (2024). Sistemas de acceso e intercambio local de semillas en el altiplano central de México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 21(2). <https://doi.org/10.22231/asyd.v21i2.1596>
- Fonseca-Flores, M. A. (2022). *La conservación de maíces locales desde la perspectiva sociotécnica en la Región Frailesca, Chiapas, México*. [Tesis de doctorado en Ciencias en Desarrollo Rural Regional]. Universidad Autónoma Chapingo. <https://repositorio.chapingo.edu.mx/items/5c01bcb2-328e-4f31-a266-1b766cd1cde0>
- Guevara-Hernández, F., Hernández-Ramos, M. A., Basterrechea-Bermejo, J. L., Pinto-Ruiz, R., Venegas-Venegas, J. A., Rodríguez-Larrame, L. A., & Cadena-Iñiguez, P. (2019). Maíces locales; una contextualización de identidad tradicional. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 51(1), 369–381. [https://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1853-86652019000100026&script=sci\\_arttext&lng=en](https://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1853-86652019000100026&script=sci_arttext&lng=en)
- Guevara-Hernández, F., Ortiz-Pérez, R., Acosta-Roca, R., Ayan, L., La O, M., Hernández-Ramos, M., Pinto-Ruiz, R., Martínez, F., & Reyes-Sosa, M. B. (2022). *Maíces locales de la Frailesca Chiapaneca: Diversidad, usos múltiples y distribución*. Ediciones INCA y Unidad de divulgación científica-Unach-Unicach-Red de Estudios para el desarrollo Rural A.C. [https://www.researchgate.net/publication/358624571\\_MAICES\\_LOCALES\\_DE\\_LA\\_FRAILESCA\\_CHIAPANECA\\_Diversidad\\_usos\\_multiples\\_y\\_distribucion](https://www.researchgate.net/publication/358624571_MAICES_LOCALES_DE_LA_FRAILESCA_CHIAPANECA_Diversidad_usos_multiples_y_distribucion)
- Guevara-Hernández, F., Rodríguez-Larramendi, L., Díaz-José, L., Pinto-Ruiz, R., Ley-de Coss, A., & Raj-Aryal, D. (2018). Actores y estrategias de la innovación tecnológica en la producción de maíz en Chiapas, México. *Revista de la Facultad de Agronomía de La Universidad Del Zulia*, 35(2), 223–247. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/agronomia/article/view/27273>
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2013). *Multivariate data analysis*. Pearson Education.
- Hernández-Ramos, M. A., Guevara-Hernández, F., Basterrechea-Bermejo, J. L., Coutiño-Estrada, B., La O-Arias, M. A., & Pinto-Ruiz, R. (2020). Diversidad y conservación de maíces locales de la Frailesca, Chiapas, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 43(4), 471. <https://doi.org/10.35196/rfm.2020.4.471>
- Hurtado-Anchondo, J. R. (2019). *Producción y calidad de biomasa de maíces para doble propósito (grano y rastrojo) en el altiplano de Puebla*. [Tesis de maestría en Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional]. Colegio de Posgraduados. <http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/handle/10521/3163>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2024a). *Geografía y medio ambiente. Edafología: Información geoespacial de la distribución de los principales tipos de suelos en México*. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/temas/edafologia/#mapas>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2024b). *Geografía y medio ambiente. Climatología*. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/temas/climatologia/>
- International Union of soil Sciences (IUSS). (2015). *World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*. FAO. chrome-

- extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/bcdecec7-f45f-4dc5-beb1-97022d29fab4/content
- Kost, M. A., Perales, H., Wijeratne, S., Wijeratne, A. J., Stockinger, E. J., & Mercer, K. L. (2020). Transcriptional differentiation of UV-B protectant genes in maize landraces spanning an elevational gradient in Chiapas, Mexico. *Evolutionary Applications*, 13(8), 1949-1967. <https://doi.org/10.1111/eva.12954>
- Llaven-Martínez, J., Gómez-Padilla, E. J., Aguilar-Gallegos, A. L., Sánchez-Grajales, G., & Gómez-Padilla, E. (2023). Phenological and morphological characterization of local maize from the municipality of Villaflores- Chiapas, Mexico. *Magna Scientia UCEVA*, 3(2), 156-164. <https://doi.org/10.54502/msuceva.v3n2a5>
- Macías-Urbe, C., & Alarcón-Rodríguez, N. M. (2021). Transición al libre comercio y erosión genética. El Proyecto Agrícola de México 1994- 2010. *Revista de Geografía Agrícola*, 66, 145-166. <https://doi.org/10.5154/r.ga.2021.66.07>
- Martínez-Aguilar, F. B., Guevara-Hernández, F., Aguilar-Jiménez, C. E., Rodríguez-Larramendi, L. A., Reyes-Sosa, M. B., & la O-Arias, M. A. (2020). Physico-chemical and biological characteristics of the soil cultured with maize in conventional, agroecological and mixed systems in the Frailesca, Chiapas. *Terra Latinoamericana*, 38(4), 871-881. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.793>
- Reyes-Muro, L., Camacho-Villa, T. C., & Guevara-Hernández, F. (2013). *Rastrojos: manejo, uso y mercado en el centro y sur de México*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. <https://www.sidalc.net/search/Record/KOHA-OAI-ECOSUR:56809/Description>
- Rivas, R. D. (2021). El maíz, fuente de cultura mesoamericana. *Revista de Museología Kóot*, 12, 44-53. <https://doi.org/10.5377/koot.v0i11.10737>
- StatSoft Inc. (2014). *Statistica: Data analysis software system, version 10*. StatSoft Inc.