

Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca

División de Estudios de Posgrado e Investigación

**CARACTERIZACIÓN FENOTÍPICA Y AGRONÓMICA DEL MAÍZ OLOTON Y SU  
RESPUESTA EN FUNCIÓN A DIFERENTES FERTILIZACIONES**

TESIS QUE PRESENTA:

Arely Concepción Ramírez Aragón

Como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS EN PRODUCTIVIDAD EN AGROECOSISTEMAS**

DIRECTOR:

Dr. Yuri Villegas Aparicio

---

Ex-Hacienda de Nazareno, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca

Agosto 2023





Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca  
División de Estudios de Posgrado e Investigación

**CARACTERIZACIÓN FENOTÍPICA Y AGRONÓMICA DEL MAÍZ OLOTON Y  
SU RESPUESTA EN FUNCIÓN A DIFERENTES FERTILIZACIONES**

TESIS QUE PRESENTA:

Arely Concepción Ramírez Aragón

Como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS EN PRODUCTIVIDAD EN  
AGROECOSISTEMAS**

DIRECTOR:

Dr. Yuri Villegas Aparicio

---

Ex-Hacienda de Nazareno, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca  
Agosto 2023

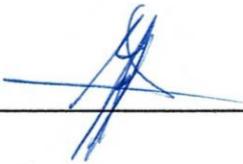


La presente tesis titulada: “**CARACTERIZACIÓN FENOTÍPICA Y AGRONÓMICA DEL MAÍZ OLOTON Y SU RESPUESTA EN FUNCIÓN A DIFERENTES FERTILIZACIONES**”, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para registro de tesis del programa de:

**MAESTRA EN CIENCIAS EN PRODUCTIVIDAD EN  
AGROECOSISTEMAS**

DIRECTOR:

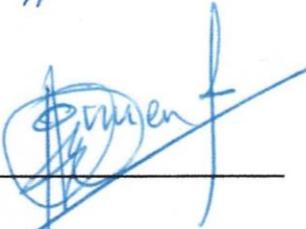
DR. YURI VILLEGAS APARICIO



---

CO-DIRECTOR:

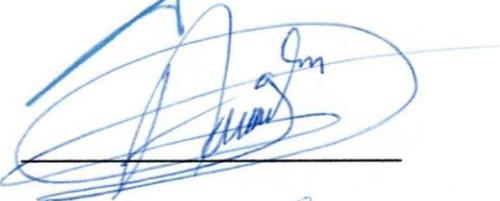
DR. ANTONIO TURRENT FERNANDEZ



---

ASESOR:

DR. AARÓN MARTÍNEZ GUTIÉRREZ



---

ASESOR:

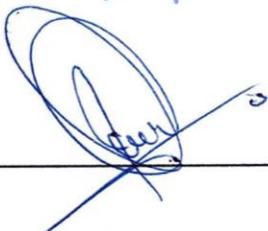
DR. GERARDO RODRÍGUEZ ORTIZ



---

AESESOR:

DR. JOSÉ CRUZ CARRILLO RODRÍGUEZ



---

Ex hacienda de Nazareno, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, agosto 2023

	Nombre de la Información Documentada:	Código: ITVO-AC-PR-08-02
	Formato Autorización del comité para entrega de tesis.	Revisión: 1
	Referencia a la Norma ISO 9001:2015 8.2.1, 8.2.2, 8.2.3, 8.5.2	Página 1 de 1

EXPEDIENTE: 20DIT0009G

Nazareno Xoxocotlán, Oaxaca, 28 de junio del 2023

OFICIO No. DEPI/0516/23

**C. ARELY CONCEPCIÓN RAMÍREZ ARAGÓN**  
**ESTUDIANTE DEL PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS**  
**EN PRODUCTIVIDAD EN AGROECOSISTEMAS**  
**PRESENTE**

Los que suscriben, miembros de su Comité Tutorial, le comunicamos que hemos revisado el contenido de su tesis "CARACTERIZACIÓN FENOTÍPICA Y AGRONÓMICA DEL MAÍZ OLOTÓN Y SU RESPUESTA EN FUNCIÓN A DIFERENTES FERTILIZACIONES". Por lo que con base en los lineamientos para la Operación de Estudios de Posgrado en el Tecnológico Nacional de México se le otorga la **AUTORIZACIÓN** para que proceda a la entrega del documento final de la misma, impresa y en formato digital (PDF); para continuar con su trámite y asignarle la fecha de su examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento nos permitimos reconocer su esfuerzo y felicitarle por el logro de su documento de tesis.

**ATENTAMENTE**  
*"Ciencia y Tecnología para el Campo"*

  
 DR. YURI VILLEGAS APARICIO  
 DIRECTOR DE TESIS

  
 DR. ANTONIO TURRENT FERNÁNDEZ  
 CO-DIRECTOR

  
 DR. AARÓN MARTÍNEZ GUTIÉRREZ  
 ASESOR

  
 DR. GERARDO RODRÍGUEZ ORTÍZ  
 ASESOR

  
 DR. JOSÉ CRUZ CARRILLO RODRÍGUEZ  
 ASESOR

  
 DR. GUSTAVO OMAR DÍAZ ZORRILLA  
 JEFÉ DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS  
 DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

	Nombre de la Información Documentada:	Código: ITVO-AC-PR-08-03
	Formato Autorización de DEPI para entrega de Tesis.	Revisión: 1
	Referencia a la Norma ISO 9001:2015 8.2.1, 8.2.2, 8.2.3, 8.5.2	Página 1 de 1

Nazareno Xoxocotlán, Oaxaca, **30/junio/2023**

OFICIO No. DEPI/540/2023

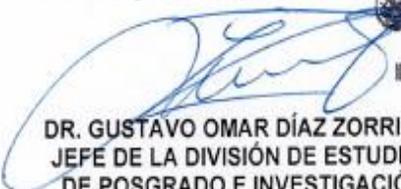
**C. ARELY CONCEPCIÓN RAMÍREZ ARAGÓN**  
**ESTUDIANTE DEL PROGRAMA DE MAESTRIA EN CIENCIAS**  
**EN PRODUCTIVIDAD EN AGROECOSISTEMAS**  
**P R E S E N T E**

Con base en los Lineamientos para la Operación de Estudios de Posgrado en el Tecnológico Nacional de México, respecto a la presentación del examen de grado, me es muy grato comunicarle que esta División de Estudios de Posgrado e Investigación a mi cargo, **AUTORIZA** la entrega del documento final de su tesis en formato digital (PDF) titulada: **"CARACTERIZACIÓN FENOTÍPICA Y AGRONÓMICA DEL MAÍZ OLOTON Y SU RESPUESTA EN FUNCIÓN A DIFERENTES FERTILIZACIONES"**.

Cuyo contenido ha sido revisado y aprobado por su Comité Tutorial y cumple en lo general con el formato establecido para este documento, como requisito parcial para obtener el grado de Maestra en Ciencias en Productividad en Agroecosistemas.

Sin más por el momento le felicito cordialmente por el logro de esta meta y le reitero el respaldo institucional de su Alma Mater.

**ATENTAMENTE**  
*Excelencia en Educación Tecnológica®*  
**"Ciencia y Tecnología para el Campo"**

  
**EDUCACIÓN**    
**INSTITUTO TECNOLÓGICO DEL VALLE DE OAXACA**  
**DR. GUSTAVO OMAR DÍAZ ZORRILLA**  
**JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

El presente trabajo se llevó a cabo con el apoyo del Consejo Nacional Humanidades Ciencias Y Tecnologías (CONAHCYT), a través del número de becario 114659, con el tema de investigación: "CARACTERIZACIÓN FENOTÍPICA Y AGRONÓMICA DEL MAÍZ OLOTÓN Y SU RESPUESTA EN FUNCIÓN A DIFERENTES FERTILIZACIONES".

## INDICE GENERAL

INDICE GENERAL.....	viii
INDICE DE CUADROS.....	x
INDICE DE FIGURAS.....	xii
CAPITULO I.....	13
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	13
1.1 Objetivo general.....	18
1.1.1 Objetivo particular.....	19
1.2 Hipótesis.....	19
CAPITULO II.....	20
MARCO TEORICO.....	20
2.1 Diversidad de maíz en México.....	20
2.2 Diversidad del maíz en Oaxaca.....	23
2.2.2.1 Raza Olotón.....	24
2.2.2.2 Importancia de la raza Olotón.....	25
2.3 Requerimiento nutricional del maíz.....	26
3.4 Fenología de la planta de maíz.....	27

2.5 Tipos de fertilización química y orgánica en el maíz.....	28
2.6 Tipos de expresión de los caracteres .....	29
CAPITULO III .....	30
RESUMEN.....	31
ABSTRAC .....	32
INTRODUCCIÓN .....	33
MATERIALES Y MÉTODOS.....	38
2.1 Área de estudio.....	38
2.2 Análisis de suelo.....	40
2.3 Establecimiento del experimento .....	40
2.4 Variables para la descripción fenotípica y agronómica de maíz Olotón...	43
2.5 Variables evaluadas para la descripción agronómica de maíz Olotón.....	44
2.6 Análisis estadístico .....	45
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	46
Características fenotípicas cualitativas de maíz Olotón.....	46
Características fenotípicas cuantitativas de maíz Olotón .....	53
Características agronómicas de maíz Olotón .....	59
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	64
LITERATURA CITADA .....	67

## INDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Antecedentes de investigaciones en maíces nativos en algunas regiones de México.....	22
Cuadro 2. Características químicas del suelo de la parcela en Totontepec Villa de Morelos, con una profundidad de 0-20 cm antes de la siembra y aplicación de enmiendas.....	40
Cuadro 3. Tratamientos de fertilización orgánica e inorgánica.	42
Cuadro 4. Relación de variables fenotípicas entre dos poblaciones de maíz Olotón.....	47
Cuadro 5. Resumen de Correlación de Spearman ( $\alpha=0.05$ ) entre variables fenotípicas de maíz amarillo y blanco.....	52
Cuadro 6. Resumen de análisis de varianza de variables agronómicas de dos poblaciones del cultivo de maíz Olotón, bajo aplicaciones de encalado, estiércol, Nitrógeno y Fósforo..	53
Cuadro 7. Medias de variables fenotípicas en dos poblaciones del maíz Olotón, bajo aplicaciones de encalado, estiércol, Nitrógeno y Fósforo.....	56
Cuadro 8. Resumen de análisis de varianza de variables fenotípicas de dos poblaciones del cultivo de maíz Olotón, bajo aplicaciones de encalado, estiércol, Nitrógeno y Fósforo.....	59
Cuadro 9. Medias de variables agronómicas en aplicación de enmiendas (parcela grande).....	61

Cuadro 10. Medias de variables agronómicas en aplicación de Nitrógeno, Fósforo y NP (Parcela chica).....	62
Cuadro 11. Medias de variables agronómicas en maíz amarillo y blanco.....	63

## INDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Ubicación geográfica de la parcela en Totontepec Villa de Morelos, Oaxaca.....	38
Figura 2. Distribución de lluvias, temperatura máxima y mínima durante el ciclo agrícola de maíz, primavera-invierno 2022 en Totontepec, Villa de Morelos, Sierra Mixe, Oaxaca.....	39
Figura 3. Arado con yunta en parcelas de productores cooperantes de Totontepec Villa de Morelos, Oaxaca.....	41
Figura 4. Establecimiento de trampas con feromonas sexuales para inhibir la reproducción de <i>Spodoptera frugiperda</i> .....	41
Figura 5. Modelo de regresión lineal para estimar presencia de mucigel en raíces adventicias de plantas de maíz Olotón.....	49
Figura 6. Presencia de mucilago en raíz adventicia en plantas de maíz Olotón, en la localidad de Totontepec Villa de Morelos, Oaxaca. A) inicia la presencia de exudado, b) mayor exudado radical, c) etapa de finalización de mucilago.....	50

## **CAPITULO I**

### **INTRODUCCIÓN GENERAL**

El maíz tiene un papel fundamental en la agricultura mexicana debido a su capacidad de adaptación, estabilidad en la producción y sus características nutricionales, organolépticas, nutraceuticas y de rendimiento (Turrent Fernández *et al.*, 2017). Es uno de los cereales más cultivados y consumidos en el país, con una demanda nacional de alrededor de 40 millones de toneladas, de los cuales recientemente se importó aproximadamente 18 millones de toneladas de grano de maíz (SIAP, 2020), para abastecer la demanda de grano en el país. De la superficie del estado sembrada para el cultivo de maíz (880,786.41 ha), el distrito mixe conformado por 17 municipios, representan el 1.95% de hectáreas oaxaqueñas dedicadas a la siembra de maíz (SIAP, 2021).

La gran diversidad genética de los maíces nativos presentes de norte a sur del territorio mexicano es fundamental para consolidar la soberanía alimentaria, apoyar la economía y agricultura familiar en el campo mexicano, y proveer a la nación y al mundo de recursos para enfrentar el cambio climático, y amortiguar

sus efectos en la agricultura. Las 59 razas nativas de maíz de México tienen como antecedente inmediato al Teocintle, que es un zacate nativo silvestre, existente en Mesoamérica (Kato *et al.*, 2013).

La caracterización fenotípica y agronómica de maíces nativos en México tiene como objetivo proteger y conocer las especificaciones de genotipos de maíz, para realizar asesorías a los productores e indicar de acuerdo con las características agronómicas una adecuada productividad respecto a las condiciones edafoclimáticas (Coral *et al.*, 2019).

Particularmente la raza nativa Olotón se distribuye en parte de las sierras de México, bajo precipitación abundante y suelos ácidos, frecuentemente de tipo Andosol (derivados de cenizas volcánicas). La localidad Totontepec como parte de la Sierra Mixe de Oaxaca fue el epicentro donde se describió por primera vez el carácter Fijación Biológica de Nitrógeno en maíz (CFBNM) (Vega-Segovia y Ferrera-Cerrato, 1993). El carácter fijación biológica de nitrógeno en maíz (FBNM) que ocurre en variedades de la raza nativa Olotón y posiblemente en variedades de otras razas nativas, consta de por lo menos tres componentes esenciales.

Uno es el fenotipo del maíz, que aporta por lo menos, el entorno morfológico y la fuente de energía requerida para la fijación biológica de nitrógeno atmosférico, una segunda es el microbiota especializado que realiza esa función y probablemente otras funciones como antibiosis y producción de estimuladores

del crecimiento del maíz. El tercer componente es el ambiente edafoclimático en que ocurre la FBNM. Por lo tanto, la descripción varietal del maíz fijador de nitrógeno debe de incluir los tres componentes.

Turrent-Fernández y Espinosa (2022) enfatizan la importancia y el valor de la actividad del CFBNM que se debe reconocer el título de propiedad a los productores de la Sierra Mixe que desarrollaron el carácter hasta su estado actual. Por ello y a la poca información acerca de las características fenotípicas y agronómicas de la raza Olotón, a la falta del registro provisional en la modalidad de variedades de uso común ante el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS) particularmente de esta raza; se debe dar atención especial al cumplimiento del registro ya que puede ser susceptible al saqueo ilegal (Biopiratería).

Así también se debe hacer referencia en que la variación de los rendimientos de maíz en México en distintas regiones del país es uno de los factores que contribuyen a la baja productividad promedio a nivel nacional. Esta situación es resultado de los factores climáticos particulares de cada región, sin embargo, lo que impacta negativamente en los bajos rendimientos es la falta de adopción de tecnologías por parte de los productores, tales como la implementación de variedades mejoradas y el uso de prácticas agrícolas más eficientes en el cultivo; estas circunstancias se reflejan directamente en el volumen de producción en México (Martínez, 2019). No obstante, en México, así como en otras regiones del mundo, se cuenta con el potencial de producción que permanece en el uso de

semillas nativas y mejoradas, haciendo uso de tecnologías amigables con el medio ambiente (Zamudio *et al.*, 2018), principalmente con mejores prácticas agrícolas que garanticen el éxito del cultivo.

La pérdida de la biodiversidad genética del maíz específicamente con la raza Olotón representa un problema debido a diversas causas, tales como saqueo ilegal de semillas (Biopiratería indirecta), que lamentablemente es muy común en el estado de Oaxaca, particularmente en la Sierra Mixe. Fenómeno dado por el libre acceso a la biodiversidad, a través de ferias de semillas, intercambio de semillas, desconocimiento de los productores referente a su maíz nativo, así como la necesidad de vender estas semillas a empresas con intenciones desconocidas, o aparentando el verdadero propósito de realizar trabajos de investigación científica (Massieu & Chapela, 2002).

Los recursos fitogenéticos y el entorno en que se producen se encuentran principalmente en constante alteración por cambios climáticos, causado por la contaminación ambiental y la sobreexplotación de recursos naturales, principalmente aumento de CO<sub>2</sub>, aumento de temperatura y lluvias torrenciales que afecta a los cultivos (Ruiz *et al.*, 2011). Lo anterior, los productores de la comunidad de Totontepec Villa de Morelos se han visto obligados en modificar fechas de siembra para garantizar el éxito del cultivo.

Otro problema que se detecta en las comunidades es la pérdida de prácticas tradicionales al igual que las semillas originarias y pérdida en la herencia de

saberes por la migración de la población joven. Actualmente, muchos agricultores han introducido maíces mejorados de los consorcios, provenientes del norte de México, lo cual incrementa la probabilidad de flujo e introgresión de transgenes, incluyendo la cruce potencial con sus parientes silvestres (teocintle) si los cultivos modificados están presentes en el paisaje agronómico.

La evaluación conjunta de poblaciones locales, tanto a nivel fenotípico como genético, se basan en características cuantitativas relacionadas con la producción de granos, la forma de la planta y el ciclo vegetativo. Esto permite obtener una descripción para determinar en qué medida cada característica contribuye a explicar las diferencias existentes entre las poblaciones de maíces nativos. Además, los caracteres cuantitativos utilizados para describir y clasificar los grupos están específicamente relacionados con la adaptación a las condiciones agroclimáticas y son más adecuados para determinar el grado de similitud entre las poblaciones raciales (Melchiorre *et al.*, 2021).

El maíz nativo Olotón es cultivado mayormente en condiciones de temporal que presentan bajo rendimiento y algunas características morfológicas y fenológicas limitan su producción. Se ha observado que, por la altura de las plantas, se presentan problemas de acames, asociado a la existencia de plagas y enfermedades en esta raza de maíz. Además, debido a las características fenotípicas de la planta no permite establecer el cultivo con altas densidades de población. En términos generales el manejo agronómico del maíz en la

comunidad de Totontepec es ineficiente debido a la falta de capacitación y asistencia técnica a los productores.

A pesar de que existe datos a través de artículos de investigación y tesis, falta información que determine la correcta identificación de la raza de maíz Olotón y sus poblaciones. Por lo tanto, se requiere documentar la importancia que representa los maíces nativos como un recurso genético que responde a los problemas actuales, además de estudiar la respuesta del maíz Olotón en función a diferentes fuentes de fertilización para hacer las mejores recomendaciones a los productores de la comunidad y de manera que se eficiente el recurso disponible.

Por diferentes causas se requiere mayor promoción de la conservación y siembra de maíces nativos, con estudios más robustos morfo-agronómicas y garantizar la calidad del grano a través de diversas metodologías, así como su protección ante las normas vegetales para preservar las variedades y poblaciones nativas. En este contexto los objetivos del trabajo de investigación fueron:

### **1.1 Objetivo general**

Caracterizar el comportamiento fenotípico y agronómico de dos poblaciones de maíz Olotón en aplicación de diferentes fertilizaciones, en Totontepec Villa de Morelos, Sierra Mixe, Oaxaca.

### **1.1.1 Objetivo particular**

- Describir las características fenotípicas y agronómicas de dos poblaciones de maíz Olotón y su respuesta en la aplicación de enmiendas y fertilización, en Totontepec Villa de Morelos, Sierra Mixe, Oaxaca

### **1.2 Hipótesis**

Las poblaciones de maíz Olotón presentan mejoras en sus características fenotípicas y agronómicas en la aplicación de cal y la combinación de cal-estiércol enmiendas agrícolas y fertilizantes en el suelo.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEORICO**

#### 2.1 Diversidad de maíz en México

La amplia variedad de cultivos procedentes de diversas familias botánicas desempeña un papel crucial en la garantía de seguridad alimentaria en las zonas rurales, así como en la autosuficiencia nutricional (Gutiérrez Carbajal *et al.*, 2019; López-Ridaura *et al.*, 2021). La conservación de las poblaciones locales es crucial debido a su adaptación óptima a las características geográficas específicas, como el clima y los suelos particulares, así como a las necesidades y prácticas de los agricultores locales (Melchiorre *et al.*, 2021).

La Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), describe que México alberga la mayor variedad genética de maíz, manifestada en gran cantidad de razas que presentan diferentes variantes mismas que se diferencian por características como la forma de las mazorcas, el color, la textura de los granos, lugar de colecta e incluso el nombre local asignado (CONABIO 2021).

En la actualidad, en México se ha detectado la presencia de 64 razas de maíz, de las cuales 59 se clasifican como nativas (Aragón, 2006). La CONABIO (2020) describe doce razas de maíces (Dzit-Bacal, Comiteco, Coscomatepec, Mixeño, Motozinteco, Negro de Chimaltenango, Olotillo, Quicheño, Serrano, Serrano mixe, Tehua) de maduración tardía, entre ellos el maíz de raza Olotón con aparente distribución en Guatemala y México.

Las poblaciones pertenecientes al grupo de maduración tardía son cultivadas desde el nivel del mar hasta en lugares muy húmedos, laderas pronunciadas; presentan su floración de 95 a 114 días, entre 24 y 48 hojas por planta y alturas superiores a los 380 cm, espigas con 20 o 40 ramas, con mazorcas largas (18 a 22 cm).

Debido a la diversidad de ambientes, los agricultores, mediante su conocimiento y habilidad, han logrado adaptar y preservar una amplia diversidad de maíces nativos (Sierra-Macías *et al.*, 2014), denominado actualmente como manejo agronómico autóctono por Turrent, 2022. Se observa que los maíces nativos constituyen la principal fuente de sustento para numerosas familias en áreas rurales (Fernández *et al.*, 2013). Algunos de los antecedentes en este sentido de investigaciones sobre maíces nativos, se mencionan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Antecedentes de investigaciones en maíces nativos en algunas regiones de México

<b>Poblaciones de Maíz</b>	<b>Color de maíz</b>	<b>Variables consideradas caracterizadas</b>	<b>Estado o región</b>	<b>Autor y año</b>
Zapalote chico Descripción de ocho poblaciones	Blanco	Descripción fenotípica de hoja, tallo, mazorca Rendimiento	Región del istmo, Oaxaca	(Cabrera-Toledo <i>et al.</i> , 2019)
Maíces nativos 52 poblaciones	Diferente color	Caracterización de variables agronómicas y morfológicas Potencial de rendimiento	Molcaxac, Puebla	(Ángeles-Gaspar <i>et al.</i> , 2010)
Cuatro poblaciones, raza Zapalote Chico	Blanco cremoso	Descripción fenotípica de hoja, tallo, mazorca Rendimiento	Comitancillo, Oaxaca	(Ramírez & Fuentes, 2016)
Nueve poblaciones de maíces nativos (Tuxpeño, Nal-Tel de altura, Zapalote grande)	Blanco cremoso	Evaluación de rendimiento de forraje y grano Características fenotípicas	Tabasco, México	(Sánchez-Hernández <i>et al.</i> , 2014)
Palmeño y Olotillo	Maíces blancos	Caracterización de maíces	Tecoanapa, Guerrero	(Navarro-Garza <i>et al.</i> , 2012)
Celaya, Pepitilla, Bolita, Ancho y Mixteco	Blanco; 8 Amarillo; 6 Azul; 11 Rojo; 1 pinto	Descripción y clasificación de variabilidad morfológica	Mixteca oaxaqueña	(Diego-Flores <i>et al.</i> , 2012)
Bolita, Chiquito, Mushito y Elotes Occidentales, del Subtrópico, Conejo y Zapalote Chico, Tuxpeño y Tepecintle, Cónicos y Olotillo	Azul/ Morado	Caracterización física y química	Oaxaca	(Salinas <i>et al.</i> , 2013)

Olotillo, Tuxpeño, Zapalote grande)	18 blanco; 5 amarillo; 1 rojo; 1 azul	Caracterización de variación morfológica en una colección de poblaciones de maíz nativo	Chiapas, México	(Martínez-Sánchez <i>et al.</i> , 2017)
Arrocillo Amarillo, Chalqueño, Cónico, Elotes Cónicos, Cacahuacintle, Palomero Toluqueño y Purépecha	Blanco, Amarillo	Caracterización morfológica y agronómica	Estado de Puebla y Montecillo, Edo Mex.	(Rocandio-Rodríguez <i>et al.</i> , 2014)
Maíz criollo raza "Vandeño" y maíz híbrido H-562	No especificado	Tasa de crecimiento del cultivo Rendimiento de grano de maíz mejorado y criollo, en función del nitrógeno y biofertilizante	Iguala, Guerrero	(Aguilar <i>et al.</i> , 2015)
Genotipos Michoacán-21, HS-2 y Promesa Vandeño (Croy CM), tres Nal tel (Xn-69, Xn-159 y XnQro) y dos de Dzit bacal (Dz2015 yDz252)	No especificado	Análisis del efecto de nitrógeno en genotipos de maíz	Motecillo, Edo. De Méx.	(Aguilar <i>et al.</i> , 2016)
	Blanco	Evaluar el comportamiento agronómico y fisiológico de doce poblaciones de maíz nativas del sureste de México	Tizimín Yucatán en el año 2017	(Conceição <i>et al.</i> , 2019)

## 2.2 Diversidad del maíz en Oaxaca

El estado de Oaxaca cuenta con una amplia diversidad genética en el cultivo del maíz, gracias a su ubicación geográfica, gran variedad de condiciones climáticas, diversidad topográfica, diferentes tipos de suelos y la facilidad de

cruzamiento de esta especie. Esta diversidad se atribuye el gran número de grupos étnicos que, a lo largo de miles de años, ha desarrollado diversas variedades nativas mediante selección. Se han identificado 35 razas de maíz en este estado, lo que representa más del 50% de la diversidad genética a nivel nacional (Aragón, 2011).

Aragón y colaboradores (2006), mencionaron la presencia de las razas más abundantes y predominantes en las diferentes regiones del estado como son la raza Bolita, Zapalote Chico, Cónico, Olotón y Mushito; por su parte (Ramírez-Maces *et al.*, 2023) caracterizó y describió para la sierra mixe de Oaxaca, las razas de Nal-Tel, Serrano mixe, Olotón, Tepecintle y Elotes cónicos resultados obtenidos mediante una descripción de diversidad en granos de maíz, frijol y semillas de calabaza en la sierra mixe.

#### 2.2.2.1 Raza Olotón

Esta raza se distribuye ampliamente en zonas mayores a los 1900 msnm, tiene un rango de adaptación que va desde los 1280 a 2460m de altitud, en precipitaciones desde 587 mm hasta 3711 mm, y temperaturas promedio que van de 13.6°C a 22.6°C (Aragón *et al.*, 2006). La raza Olotón es considerada dentro del grupo de plantas tardías o de ciclo largo, presenta los días a floración de un rango de 95 a 115 días, de 24 a 28 hojas por planta (CONABIO, 2020). Alcanza una altura de hasta 6m, se consideran plantas de maíz vigorosas, contiene hasta 14 nudos del tallo que desarrollan raíces adventicias, presenta

como característica principal el exudado de mucílago el cual entra en simbiosis entre el maíz y grupos de bacterias que, en muy bajas concentraciones de Oxígeno, crean las condiciones necesarias para el proceso de fijación de Nitrógeno atmosférico (Turren y Espinosa, 2022).

#### 2.2.2.2 Importancia de la raza Olotón

A nivel nacional se destaca la importancia de conservar maíces nativos locales por su adaptación de clima y suelos en los ambientes donde se han desarrollado, además cubre las necesidades y forma parte de las costumbres de los agricultores que han amplificado estos maíces a través del mejoramiento genético autóctono (Turrent y Espinosa, 2022). Por lo que es primordial su conservación para su empleo en el mejoramiento genético, que permite mayor rendimiento en el grano de maíz, además de la resistencia a sequías, plagas y enfermedades (Melchiorre *et al.*, 2021).

Esta raza se considera de notable potencial ecológico y económico debido a que tiene el Carácter de Fijación Biológica de Nitrógeno (CFBN), Este carácter de FBN atmosférico puede satisfacer a la planta entre el 29 a 82% de nitrógeno requerido para su crecimiento y desarrollo (Van *et al.*, 2018). Este proceso ocurre mediante los mucilagos secretados por las raíces adventicias y microorganismos presentes en ellas que procesa el nitrógeno atmosférico y lo vuelve asimilable para la misma planta (Pankievicz *et al.*, 2022; Van *et al.*, 2018). De los 17

elementos minerales esenciales para el desarrollo de las plantas, el Nitrógeno es el elemento de mayor demanda en el cultivo de maíz (Turrent-Fernández y Espinosa, 2022).

### 2.3 Requerimiento nutricional del maíz

El N es el nutriente de manejo más recomendado e indispensable, vital para la multiplicidad de reacciones efectos químicos y biológicos y su gran dependencia de las condiciones edafoclimáticas para la absorción y posterior desarrollo del cultivo de maíz. Sólo una parte del N mineral aplicado es absorbida por las plantas. El resto se pierde de sistema suelo-planta-atmósfera por procesos de lixiviación, volatilización, erosión y desnitrificación, aun teniendo una fracción que permanece en el suelo en forma orgánica (Paredes, 2013).

Debido a que la deficiencia de Nitrógeno está ligada a la disminución en rendimiento y calidad del grano en maíz, ha sido necesario adecuar los niveles requeridos de N para que las plantas tengan disponibilidad de este elemento durante su desarrollo, debido a que la mayor parte del N en los suelos está contenida en la materia orgánica y no está directamente disponible para las plantas, es necesario agregar nitrógeno mediante el uso de fertilizantes para mejorar el crecimiento y aumentar la productividad del maíz. Existen también otros factores aparte del N, que pueden delimitar la respuesta a las aplicaciones del N que cohíban el crecimiento o el rendimiento como lo es la falta de humedad en el suelo o deficiencia de otros nutrientes (Below, 2002).

El crecimiento y desarrollo de las plantas depende de la presencia de nutrientes esenciales como el nitrógeno y el fósforo. En particular, el nitrógeno desempeña un papel crucial en la producción de clorofila, enzimas, proteínas y ácidos nucleicos. Se mueve a través del tallo y las hojas de la planta. Al aplicar dosis elevadas de nitrógeno, se observa un aumento en la altura de la planta, el diámetro del tallo, el rendimiento de forraje verde, la cantidad de proteína, y de fibra. Por otro lado, el fósforo desempeña un papel en la formación de ácidos nucleicos, la respiración celular y la actividad metabólica. Ambos nutrientes (N y P) influyen en el rendimiento de grano, la calidad del forraje, la altura de la planta y el número de hojas por planta (Gómez *et al.*, 2016).

### 3.4 Fenología de la planta de maíz

El desarrollo del cultivo consiste en una sucesión obligatoria de etapas o fases dadas en un orden riguroso e irreversible, es un fenómeno puramente cualitativo. Se denomina ciclo de desarrollo al conjunto de fases o etapas fenológicas que van desde la germinación de la semilla hasta la formación del fruto.

El ciclo de desarrollo comprende dos etapas bien definidas; 1) el desarrollo vegetativo y 2) el desarrollo reproductivo, donde el inicio y fin de cada una de estas estará determinado por la interacción del cultivar con las condiciones agroclimáticas que prevalezcan durante el desarrollo del cultivo. En la Cuadro 1 se mencionan brevemente cada una de las etapas que constituyen el ciclo de desarrollo del cultivo del maíz.

## 2.5 Tipos de fertilización química y orgánica en el maíz

En la actualidad, es fundamental reponer los nutrientes extraídos en cosechas anteriores para mantener la sostenibilidad de la actividad agrícola. Existen dos opciones para reponer los nutrientes del suelo: la fertilización química y la fertilización orgánica. La fertilización orgánica es preferible, ya que evita la contaminación ambiental, reduce los costos de producción y prolonga la vida útil del suelo como recurso. Una estrategia para reducir la necesidad de fertilización consiste en utilizar promotores de crecimiento, como los microorganismos. Algunas bacterias, como *Azospirillum* sp., tienen la capacidad de producir hormonas como auxinas (que estimulan el crecimiento de las plantas), citocininas (que promueven el crecimiento de brotes laterales); este aumento de raíces permite a los cultivos un mejor anclaje temprano de las plantas y mayor exploración del perfil del suelo, posibilitando una mayor absorción de agua y nutrientes (Paredes, 2013).

El uso de enmiendas como la cal dolomita, yeso agrícola, compostas, estiércoles, humus de lombriz presentan alto contenido de materia orgánica, bacterias, microorganismos y microelementos favorece la fertilidad del suelo y la nutrición de las plantas (Eghball *et al.*, 2004); sin embargo, para satisfacer la demanda nutricional en el cultivo de maíz, se requieren altas cantidades de abonos (López-Martínez *et al.*, 2001), lo que implica complementar con fertilizantes inorgánicos.

## 2.6 Tipos de expresión de los caracteres

La expresión fenotípica son rasgos que caracterizan a una variedad, está determinada por su potencial genético (genotipo), así como por el ambiente en el que crece y la interacción entre ambos. Los rasgos descriptivos se pueden clasificar en cualitativos o variables cuantitativas según su grado de influencia del medio ambiente. Los caracteres cualitativos suelen depender de uno o unos pocos genes y se ven menos afectados por las condiciones ambientales, mientras que los rasgos variables están determinados por genes múltiples y son más susceptibles a factores ambientales (Jiménez *et al*, 2017).

## **CAPITULO III**

### **COMPORTAMIENTO FENOTÍPICO Y AGRONÓMICO DE MAÍZ OLOTÓN EN LA APLICACIÓN DE ESTIÉRCOL, ENCALADO, NITRÓGENO Y FÓSFORO**

#### **PHENOTYPIC AND AGRONOMIC BEHAVIOR OF OLOTÓN CORN IN APPLICATION OF MANURE, LIMING, NITROGEN AND PHOSPHORUS**

Arely Concepción Ramírez Aragón<sup>1</sup>, Yuri Villegas Aparicio\*<sup>2</sup>, Antonio Turrent Fernández<sup>3</sup>, Aarón Martínez Gutiérrez<sup>2</sup>, Gerardo Rodríguez Ortiz<sup>2</sup>, José Cruz Carrillo Rodríguez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>, <sup>2</sup>Estudiante, investigador, Tecnológico Nacional de México campus Valle de Oaxaca (ITVO), División de Estudios de Posgrado e Investigación. Ex\_hacienda de Nazareno, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México. C.P. 71230. (<https://orcid.org/0000-0002-7583-1349>, <https://orcid.org/0000-0003-3449-1461>, <https://orcid.org/0000-0002-0760-1269>, <https://orcid.org/0000-0002-4170-224X>, <https://orcid.org/0000-0003-0963-8046>). <sup>3</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Carretera los Reyes-Texcoco, Coatlinchán, Estado de México. (<https://orcid.org/0000-0002-7384-949X>).

\*Autor para correspondencia: ([villegas.yuri@voaxaca.tecnm.mx](mailto:villegas.yuri@voaxaca.tecnm.mx)).

## RESUMEN

Las razas de maíz presentan una variabilidad en sus características fenotípicas y agronómicas; el mejoramiento y su conservación ha sido gracias a los trabajos constantes por los agricultores locales. El objetivo del presente trabajo fue describir las características fenotípicas y agronómicas de dos poblaciones de maíz Olotón y su respuesta en la aplicación de enmiendas y fertilización, en Totontepec Villa de Morelos, Sierra Mixe, Oaxaca. El experimento consistió en parcelas subdivididas con los siguientes factores: dos variedades de la raza Olotón (grano amarillo y blanco), enmiendas agrícolas (sin aplicación, encalado, estiércol y encalado-estiércol) y fertilización química (Testigo, fósforo, nitrógeno y NP), con tres repeticiones. La descripción se realizó de acuerdo con el manual gráfico de descriptores del SNICS. Para las características fenotípicas cualitativas existe diferencia altamente significativa en la presencia de pubescencias (72.92%) y zigzagado (62.5%) en maíz blanco; con relación a características cuantitativas en la variable de inserción de la mazorca superior (ALTM) fue de 226.25 cm en la aplicación de encalado-estiércol, y en promedio la altura de la planta (sin espiga) fue superior a los 340 cm. Con la fertilización química la variable afectada fue el diámetro central con la aplicación de N, mientras que el uso NP afecta la longitud de pedúnculo y la longitud de base a ápice de la mazorca. Respecto a las poblaciones sólo la variable de diámetro central fue significativamente diferente el maíz blanco (4.3 cm). Aunque las dos poblaciones de maíz pertenecen a la misma raza existen una diferencia significativa en variables fenotípicas y agronómicas.

**Palabras clave:** maíz nativo, descripción varietal, fertilización nitrogenada, raíces adventicias

## ABSTRAC

The maize races present a variability in their phenotypic and agronomic characteristics; the improvement and its conservation has been thanks to the constant work by local farmers. The objective of this work was to describe the phenotypic and agronomic characteristics of two maize populations in Olotón and their response to the application of amendments and fertilization, in Totontepec Villa de Morelos, Sierra Mixe, Oaxaca. The experiment consisted of subdivided plots with the following factors: two varieties of the Olotón race (yellow and white grain), agricultural amendments (without application, liming, manure and liming-manure) and chemical fertilization (Control, phosphorus, nitrogen and NP). , with three replicates. The description was made in accordance with the graphic manual of descriptors of the SNICS. For the qualitative phenotypic characteristics, there is a highly significant difference in the presence of pubescence (72.92%) and zigzagging (62.5%) in white maize; in relation to quantitative characteristics in the upper ear insertion variable (ALTM) it was 226.25 cm in the liming-manure application, and on average the height of the plant (without spike) was greater than 340 cm. With chemical fertilization, the affected variable was the central diameter with the application of N, while the use of NP affects the length of the peduncle and the length from base to apex of the ear. Regarding the populations, only the central diameter variable was significantly different from white maize (4.3 cm). Although the two maize populations belong to the same race, there is a significant difference in phenotypic and agronomic variables.

**Index words:** native maize, varietal description, nitrogen fertilization, cord roots

## INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es el principal cereal cultivado en México, debido a su importancia en la seguridad alimentaria (Gómez *et al.*, 2016). En el continente americano, se tiene el registro de aproximadamente 220 razas de maíces; México se reconoce como centro de origen y conserva de una amplia variedad de maíces., con presencia de 68 razas nativas (Caballero-García *et al.*, 2019) en el territorio mexicano, de estas, 35 se encuentran en el estado de Oaxaca (Aragón-Cuevas *et al.*, 2006). Más de la mitad de la producción nacional de maíz proviene del sistema tradicional, conocido también como agricultura de subsistencia (Turrent-Fernández *et al.*, 2012). Estos sistemas presentan una estrecha relación en el uso de semillas nativas de maíz, por la importancia de dichos recursos para los medios de vida de las comunidades rurales (Bellon *et al.*, 2011; Ku-Pech *et al.*, 2019).

En el año 2021 en México la superficie sembrada fue de 7.3 millones de hectáreas, con una producción de 22 millones de toneladas de grano de maíz y rendimiento promedio de 3.9 t ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2021).

En Oaxaca la superficie sembrada para el cultivo de maíz fue de 514 mil hectáreas, de las cuales el 1.9 % de la superficie corresponde al distrito mixe conformado por 17 municipios en los que se siembra maíz en condiciones de temporal. En el municipio de Totontepec Villa de Morelos, Oaxaca se reportan 1,226 hectáreas, con una producción de 1,171 toneladas, con rendimiento promedio de 1.11 t ha<sup>-1</sup> de grano de maíz (SIAP, 2020).

Alrededor del 90% de la superficie oaxaqueña se siembran maíces nativos que favorecen la variabilidad morfológica dentro y entre especies de los diferentes grupos raciales (Aragón, 2006; Chávez-Servia *et al.*, 2011). Los maíces nativos son seleccionados, cultivados, preservados y adaptados de acuerdo con las demandas de las comunidades locales. Los pequeños productores prefieren variedades locales, que presentan algunas ventajas en los terrenos edafo-climáticas más limitados, adaptación del sector agrícola ante el cambio climático, costos más bajos de los insumos necesarios para su producción, y aptitud para la elaboración de preparaciones culinarias tradicionales (Guillén *et al.*, 2002; Turrent-Fernández *et al.*, 2012; Turiján *et al.*, 2012).

En el sureste de México los maíces nativos se han conservado por el trabajo constante de mejoramiento autóctono de los agricultores locales y debido a sus múltiples usos en la cocina mexicana (Conceição *et al.*, 2019). Los maíces nativos representan una riqueza biocultural de México, poco valorada al ser producto de un sistema tradicional ancestral mesoamericano, sin embargo, es

fundamental para consolidar la soberanía alimentaria, apoyar la economía y agricultura familiar en el campo mexicano, y proveer a la nación y al mundo de recursos para enfrentar el cambio climático, y amortiguar sus efectos en la agricultura (Gutiérrez-Carbajal *et al.*, 2019, Lopez-Ridaura *et al.*, 2021; Novotny *et al.*, 2021).

La raza de maíz Olotón se distribuye en parte de las sierras de México en (Oaxaca, Chiapas y Guerrero), bajo precipitación abundante, con alta presencia de neblina durante el año y suelos ácidos, frecuentemente de tipo Andosol (derivados de cenizas volcánicas). En la Sierra Mixe de Oaxaca fue donde se describió por primera vez el carácter Fijación Biológica de Nitrógeno (FBN) en maíz de la raza “Olotón” (Vega y Ferrera, 1993). Este carácter de FBN atmosférico puede satisfacer a la planta entre el 29% a 82% de nitrógeno requerido para su crecimiento y desarrollo (Van *et al.*, 2018). Este proceso ocurre mediante los mucilagos secretados por las raíces adventicias y microorganismos presentes en ellas que procesa el nitrógeno atmosférico y lo vuelve asimilable para la misma planta (Pankiewicz *et al.*, 2022; Van *et al.*, 2018).

La amplificación del carácter de FBN de maíz Olotón en la región mixe fue mediante el mejoramiento autóctono de parte de los agricultores locales. La posibilidad de entender el proceso de FBN en esta variedad de maíz tendría enormes implicaciones para la ciencia agronómica por lo que es pertinente identificar los procesos biológicos de la interacción de la planta con el suelo y la vida microbiana, esto ofrecería la oportunidad de explorar las posibilidades de

aplicar este conocimiento a otras variedades de maíz y otras plantas (Turrent-Fernández & Espinosa Calderón, 2022).

Las condicionantes de la baja productividad de los suelos de esta región, posiblemente se deban a la acidez y el deterioro paulatino de la fertilidad del suelo. Trabajos realizados por Bernal (1982) describieron que el suelo de Totontepec mantenía textura franco-arcillo-arenoso y presentaba valores de pH de 4.9 a 5.5, actualmente considerados como suelos ácidos; este fenómeno seguramente se debe a alta precipitación provocando pérdida de carbonato de calcio en el suelo. Por lo anterior, la aplicación de encalado para la corrección de la acidez del suelo, se considera una práctica fundamental para el uso eficiente de los fertilizantes y mejorar el aprovechamiento de los nutrientes esenciales disponibles por las plantas.

La interacción entre el mejoramiento genético autóctono y la adopción de las mejores prácticas agrícolas, como el encalado, uso de estiércol y uso eficiente de fertilizantes químicos contribuyen en el aumento considerable de producción de grano de maíz. Bernal (1982) reporta aumento en el rendimiento de maíz de 4.9 y 5.5 t ha<sup>-1</sup> con dosis de 60-40-5 de NPK ha<sup>-1</sup>, sin y con cal agrícola, respectivamente, al evaluar efecto de nitrógeno, fósforo y encalado del suelo en el rendimiento de maíz en Totontepec, Mixe, Oaxaca.

Si bien existen estudios relacionados al maíz Olotón (Bernal, 1982; Vega Segovia y Ferrera Cerrato, 1993; Van *et al.*, 2018; Pankievicz *et al.*, 2022), pero

falta información relacionado a la descripción fenotípicas y agronómicas de la raza Olotón, que permita su protección defensiva, pérdida de la diversidad genética y los saberes autóctonos heredado por nuestros antepasados. La caracterización, preservación y conservación *in situ* de la diversidad genética de los maíces nativos es una responsabilidad histórica de nuestro país, así como los saberes y conocimientos asociados, frente a la humanidad actual y las generaciones futuras (Espinosa *et al.*, 2009).

En esta concepción, la generación de información en cuanto a la descripción de maíz Olotón más precisas; apoyará el desarrollo de estrategias para la conservación y uso sostenible de esta raza y su protección como patrimonio genético. Así mismo, verificar su comportamiento fenotípico en función a la aplicación de estiércol, encalado, y NP, con la finalidad de reducir la necesidad de producir los fertilizantes inorgánicos, que actualmente constituyen un gran costo en la producción y una carga ambiental por sus emisiones de gases de invernadero; el presente trabajo tuvo como objetivo describir las características fenotípicas y agronómicas de dos poblaciones de maíz Olotón en diferentes fertilizaciones en Totontepec Villa de Morelos, Oaxaca.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Área de estudio

El estudio tuvo lugar en Totontepec Villa de Morelos, un municipio ubicado en la región de la Sierra Norte del Estado de Oaxaca. Tiene una superficie de aproximadamente 318,9 kilómetros cuadrados, lo que equivale al 0,33% del territorio total del estado (Figura 1). Está situado entre las coordenadas  $17^{\circ} 15'$  -  $17^{\circ} 12'$  de latitud norte y  $96^{\circ} 02'$  -  $96^{\circ} 09'$  de longitud oeste. La altitud varía entre 1,000 y 3,396 metros sobre el nivel del mar (INEGI, 2010).

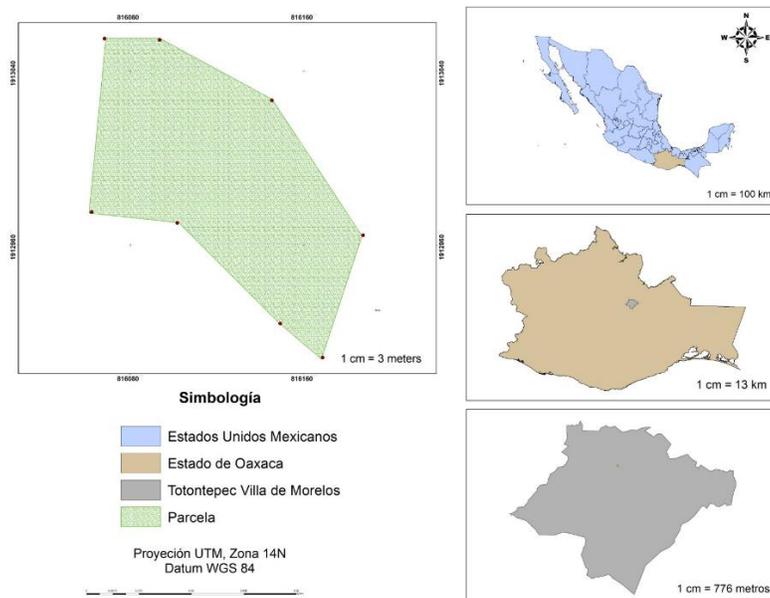


Figura 1. Ubicación geográfica de la parcela en Totontepec Villa de Morelos, Oaxaca. Fuente: Elaboración propia

En la localidad, la temperatura promedio anual es de 20.2 °C, la precipitación oscila entre 2,500 a 3,000 milímetros al año aproximadamente (NASA, 2023). La vegetación predominante es bosque mesófilo de montaña y posee clima templado húmedo con abundantes lluvias que cubren a la comunidad de neblina o nubes bajas la mayor parte del año (Gual-Díaz & Rendón-Correa, 2017).

Durante el año 2022 la precipitación promedio anual fue de 2422.0 milímetros y la temperatura máxima y mínima fue de 16.5 y 6.85 °C, respectivamente (NASA, 2023), la distribución de lluvias y temperatura durante el ciclo agrícola se presenta en la Figura 2.

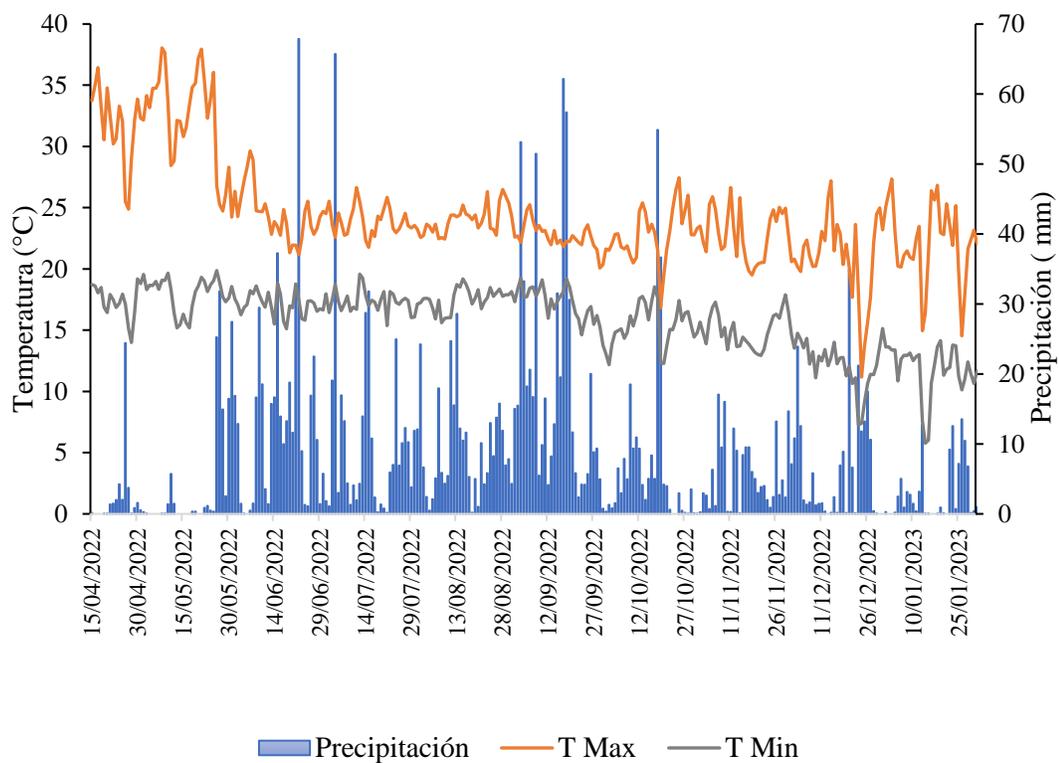


Figura 2. Distribución de lluvias, temperatura máxima y mínima durante el ciclo agrícola de maíz, primavera-invierno 2022 en Totontepec, Villa de Morelos, Sierra Mixe, Oaxaca. Fuente: Elaboración propia

## 2.2 Análisis de suelo

Para determinar la fertilidad del suelo, se realizó la colecta de 15 muestras de suelo en profundidad de 0-20 cm, para integrar una sola muestra compuesta para su análisis por el laboratorio de Fertilab®; para tener la referencia de la disponibilidad de nutrientes en el suelo de la parcela (Cuadro 2).

Cuadro 2. Características químicas del suelo de la parcela en Totontepec Villa de Morelos, con una profundidad de 0-20 cm antes de la siembra y aplicación de enmiendas.

	pH	MO	N- NO <sub>3</sub>	P <sup>1</sup>	K	S	Ca	Mg	Al <sup>3+</sup>	H+Al	CIC	V <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>
	Agua	%	-----	mg dm <sup>-3</sup>	-----	-----	-----	-----	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	-----	-----	---	% --
Parcela	5.0	8.6	14.1	31.0	72.6	2.8	0.30	0.13	1.6	1.98	2.67	23.3	59.2

Notas: <sup>1</sup>Método de Bray 1 (Bray y Kurtz, 1945). <sup>2</sup>Saturación de base. <sup>3</sup>Saturación de aluminio. CIC= Capacidad de intercambio catiónico. Micronutrientes (mg dm<sup>-3</sup>), B =0.11; Cu = 0.35; Fe = 24.7; Mn = 10.7; Zn = 0.59

## 2.3 Establecimiento del experimento

La preparación del suelo, se realizó el barbecho y el surcado con apoyo de una yunta (Figura 3) y herramientas menores, en la segunda semana del mes de abril, inmediatamente se aplicó estiércol seco y cal dolomita (CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) en banda en el fondo del surco y cubiertos antes de la siembra, para atender las indicaciones de los resultados de análisis de suelo (Cuadro 1). Se utilizaron dos poblaciones de la raza Olotón (maíz blanco y amarillo) cultivadas por los productores cooperantes locales del municipio de Totontepec Oaxaca, durante un ciclo.



Figura 3. Arado con yunta en parcelas de productores cooperantes de Totontepec Villa de Morelos, Oaxaca.

La densidad de población fue de aproximadamente de 37, 500 plantas por hectárea con distancia de 0.90 m entre surco y 0.90 m entre matas de 4 plantas cada una. El experimento fue bajo condiciones de temporal primavera-invierno 2022. Posterior a la siembra se colocaron trampas con feromonas (Figura 4) para reducir la infestación del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) en la parcela.



Figura 4. Establecimiento de trampas con feromonas sexuales para inhibir la reproducción de *Spodoptera frugiperda*

La maleza se controló en etapa inicial vegetativa (V<sub>2</sub>-V<sub>4</sub>) de forma manual con apoyo de un azadón. En la etapa vegetativa V<sub>4</sub>-V<sub>6</sub> (52 días después de la siembra) se realizó la fertilización inorgánica (cuadro 3) en cada una de las parcelas de acuerdo con los tratamientos del experimento. Las fuentes de fertilizante fueron: urea (N), Superfosfato triple (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), cloruro de potasio (K<sub>2</sub>O). Posterior a la aplicación de fertilizantes, se realizó el aporque o “arrimado de tierra en las plantas”, primero para la incorporación inmediata de los fertilizantes en el suelo y al mismo tiempo evitar posibles problemas de acame. Debido a la intensidad de precipitación se presentó en los meses de julio y agosto, proliferaron diferentes malezas en el cultivo por lo que fue necesario la aplicación del herbicida Gesaprim® (6-Cloro-N<sub>2</sub>-etil-N<sub>4</sub>-isopropil-1,3,5-triazina-2,4-diamina) a razón de 2.0 L ha<sup>-1</sup>.

El diseño experimental fue en bloques al azar, con arreglo factorial 2x4x4x3, donde se involucraron los factores: 2<sup>2</sup> poblaciones (Pobl) (grano blanco y amarillo); 4<sup>4</sup> parcela grande (PG) (sin aplicación, encalado con 2 t ha<sup>-1</sup>, 3 t ha<sup>-1</sup> estiércol y la interacción de cal-estiércol); 4<sup>4</sup> Parcela chica (PC) (fertilización inorgánica: Testigo, 80 kg ha<sup>-1</sup> Fósforo, 60 kg ha<sup>-1</sup> Nitrógeno y 60-80 kg ha<sup>-1</sup> de NP) con tres repeticiones.

Cuadro 3. Tratamientos de fertilización orgánica e inorgánica

Trat 1-1 S/A Testigo	Trat 1-2 S/A 80P	Trat 1-3 S/A 60N	Trat 1-4 S/A 60-80 NP	Trat 3-1 Estiércol Testigo	Trat 3-2 Estiércol 80P	Trat 3-3 Estiércol 60N	Trat 3-4 Estiércol 60-80 NP
-------------------------------	---------------------------	---------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---

Trat 2-1 Cal Testigo	Trat 2-2 Cal 80P	Trat 2-3 Cal 60N	Trat 2-4 Cal 60-80 NP	Trat 4-1 Cal Estiércol Testigo	Trat 4-2 Cal Estiércol 80P	Trat 4-3 Cal Estiércol 60N	Trat 4-4 Cal Estiércol 60-80 NP
-------------------------------	---------------------------	---------------------------	-----------------------------------	--	--	--	--

#### 2.4 Variables para la descripción fenotípica y agronómica de maíz Olotón

Las variables se evaluaron de acuerdo con los formatos oficiales proporcionados por el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS-CP, 2010) y el formato de Descripción varietal para el cultivo de maíz según la guía técnica de la Unión Internacional para las Obtenciones Vegetales (UPOV). Se registran caracteres cualitativos y cuantitativos, para obtener datos del comportamiento agronómico propias de la variedad vegetal que permiten su identificación.

En inicio y durante la antesis se tomaron 48 plantas de maíz blanco y 48 plantas de maíz amarillo con 3 repeticiones, dando un total de 96 plantas; se registraron las variables de hoja: largo (HLL) y ancho (HAL) de la lámina de inserción de la mazorca, coloración de la vaina en la hoja de la mazorca (HCVMZ), pubescencias sobre el margen de la vaina de la hoja de la mazorca (HPVM).

En tallo: Grado de zigzagueo (TGZ), coloración de antocianinas en raíces adventicias (CARAIZ), longitud media de entrenudos superiores (distancia del nudo de la mazorca superior al nudo de la hoja bandera) (cm) (TLES), longitud

media de entrenudos inferiores (distancia del nudo de la mazorca superior al nudo más próximo de la superficie del suelo) (cm) (TLEI), distancia del nudo de la mazorca superior al nudo más próximo de la superficie del suelo (cm) (TALTM) y altura desde el ras del suelo hasta la base de la panoja (TPALT).

En espiga: época de antesis en el 50% de las plantas (FM), densidad de espiguillas (EDESCP); longitud de panoja (TELP). Jilote: Emergencias de los estigmas (50% con estigmas de más de 1cm de longitud), Coloración de antocianinas de los estigmas (CANTE), coloración de la base de los estigmas del jilote superior (CBEST), Intensidad de coloración en los estigmas por antocianinas (JIANT).

A esta descripción reglamentaria se añadió la variable de presencia o ausencia de mucilago (MUCI) con actividad temporal en la producción de mucílago, su período de actividad, así como las características edafoclimáticas en las que ocurre la fijación de nitrógeno atmosférico en las raíces adventicias y en la rizosfera (Figura 1).

## 2.5 Variables evaluadas para la descripción agronómica de maíz Olotón

Posteriormente en la etapa de madurez fisiológica se realizó el retiro de brácteas de las mazorcas para la toma de variables de las mazorcas, se consideraron las siguientes variables: longitud del pedúnculo (MZLPE), longitud de la mazorca desde la base al ápice (MZLBA), diámetro en la parte central

(MZDC) en centímetros, número de hileras de granos (MZNH), número de granos por hilera (MZNGH), número de granos por mazorca (NGXMZ).

## 2.6 Análisis estadístico

Los datos se sometieron a la prueba de normalidad (Shapiro-Wilks) y homogeneidad (Bartlett); a estos datos se les aplicó una transformación en  $\sqrt{x+1}$  para determinar si cumplen con una distribución normal. Las variables que no cumplieron con esta normalidad fueron ajustadas con las medias paramétricas de media, mediana y moda.

Para determinar los efectos simples e interacciones del diseño de tratamientos con relación a las variables de estudio se realizaron análisis de varianza generalizado mediante el procedimiento GLM con el paquete estadístico SAS 9.4; con un modelo correspondiente a parcelas subdivididas con tres repeticiones. Para comparar las diferencias significativas y comparación de pruebas de medias con los datos cuantitativos de la etapa vegetativa se empleó la prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ), y para las variables agronómicas con mayor número de datos muestreados se usó la prueba de medias Duncan ( $\alpha=0.05$ ). Respecto a las variables cualitativas, se aplicaron pruebas no paramétricas de Chi cuadrada ( $\chi^2$ ) en bondad de ajuste y parámetro del coeficiente de Spearman. Para la variable de presencia o ausencia de mucilago en raíz adventicia se realizó una prueba binomial y posteriormente se realizó un modelo de predicción mediante regresión lineal:  $B_0 * \exp(B_1/x)$  Donde:  $B_0=0.5$  y  $B_1 = 0.2 x = n$

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Características fenotípicas cualitativas de maíz Olotón

Por medio de la prueba de  $\chi^2$  se analizaron la correlación entre variables fenotípicas que describen características de hoja, tallo, espiga, jilote y raíz de las plantas de maíz Olotón (Cuadro 4), respecto al maíz blanco presentó con mayor proporción verde medio (93.75%) en la coloración de la vaina de la hoja; respecto a la presencia de pubescencia en el margen de la vaina de la hoja de la mazorca en maíz blanco fue abundante (72.92%), en maíz amarillo fue escasa en un 39.58% y ausente a muy escasa en un 29.17 % de las plantas.

El grado de zigzagado en el tallo en maíz amarillo va de una escala de ausente a ligero (87.5%) es decir, casi no presenta esta característica; a diferencia del maíz blanco sí se presenta el zigzagado de ligero a fuerte en el 62.5% de las plantas. En la parte central de la espiga, se observó que predomina una densidad media de espiguillas para ambas poblaciones de maíz.

Cuadro 4. Relación de variables cualitativas fenotípicas entre dos poblaciones de maíz Olotón

Variable	Parámetro (Categoría)	Maíz amarillo	Maíz blanco	GL	$\chi^2$	p
HCVM	Verde Limón (1)	1(2.08)	0	2	15.1737	0.0005
	Verde Medio (2)	29(60.42)	45(93.75)			
	Verde Oscuro (3)	18(37.50)	3(6.25)			
	Ausente o muy escasa (1)	14(29.17)	1(2.08)			
HPVM	Escasa (3)	19(39.58)	4(8.33)	3	41.6203	0.0001
	Intermedia (5)	9(18.75)	8(16.67)			
	Abundante (7)	6(12.5)	35(72.92)			
TGZ	Ausente o muy ligero (3)	42(87.50)	18(37.50)	2	26.5412	0.0001
	Ligero (5)	5(10.42)	29(60.42)			
	Fuerte (7)	1(2.08)	1(2.08)			
EDESP	Laxo (3)	0	3(6.25)	2	8.5789	0.0137
	Medio (5)	41(85.42)	29(60.42)			
	Denso (7)	7(14.58)	16(33.33)			
CBEST	Amarilla (1)	41(85.42)	29(60.42)	2	12.2238	0.0022
	Rosa (5)	5(10.42)	19(39.58)			
	Morada (11)	2(4.17)	0			
	Ausente o muy tenue (1)	14(29.17)	9(18.75)			
JIANT	Tenue (3)	12(25)	6(12.5)	4	8.3934	0.0782
	Intermedia (5)	8(16.67)	8(16.67)			
	Fuerte (7)	13(27.08)	18(37.5)			
	Muy fuerte (9)	1(2.08)	7(14.58)			
	Ausente o muy tenue (1)	13(27.08)	4(8.33)			
CARAIZ	Tenue (3)	3(6.25)	5(10.42)	4	6.4465	0.1682
	Intermedia (5)	5(10.42)	6(12.5)			
	Fuerte (7)	21(43.75)	28(58.33)			
JCANTE	Muy fuerte (9)	6(12.5)	5(10.42)	1	0.5906	0.442
	Ausente (0)	11(22.92)	8(16.67)			
	Presente (1)	37(77.08)	40(83.33)			
<b>Total</b>		<b>48(100)</b>	<b>48(100)</b>			

Prueba estadística no paramétrica de  $\chi^2$  bondad y ajuste. Donde n=96, ( $\alpha=0.05$ ). HCVM: Coloración de la vaina en la hoja de la mazorca; HPVM: Pubescencias sobre el margen de la vaina de la hoja de la mazorca; TGZ: Grado de zigzagado en tallo; EDESP: Densidad de espiguillas en el tercio medio del eje principal; CBEST: Coloración de la base de los estigmas del jilote superior; JIANT: Intensidad de coloración en los estigmas por antocianinas; CARAIZ: Coloración de antocianinas en raíces adventicias; JCANTE: Coloración de antocianinas de los estigmas del jilote.

En coloración de la base de los estigmas del jilote en el maíz blanco presento tonalidades amarillas (60.42%) y rosas (39.58%), a diferencia del maíz amarillo con coloración amarilla (85.42%), rosa (10.42%) y morada (4.17%); existe presencia de coloración de antocianinas en los estigmas del jilote en las dos poblaciones con mayor fuerza en el maíz amarillo; lo reportado por Guillén (2014), menciona que el color del maíz así como otras estructuras está relacionado con la capacidad antioxidante que presentan las plantas, los cuales aportan beneficios en la utilización de forma medicinal en las localidades. Para la raza Olotón se apreció acumulación de antocianinas desde las raíces adventicias, tallo, estigmas, espiga y en mazorcas. Estas características presentes en maíz amarillo y blanco demuestran que existe variación fenotípica dentro de las poblaciones (Aguilar-Castillo & Carballo-Carballo, 2006) de la raza Olotón y probablemente se debe al flujo genético entre los materiales nativos presentes, la recombinación constante y la amplificación de algunas características fenotípicas de la raza, la intervención de los agricultores y la influencia del ambiente (Hernández, 1972).

En la coloración de antocianinas en raíces adventicias es fuerte para ambas poblaciones, aunque existen un número considerable de plantas que presenta entre tenue y muy fuerte en la coloración por antocianinas (Cuadro 4). Las raíces adventicias están asociadas con la presencia o ausencia de mucilago en las plantas. En las plantas con fertilización de N y NP se observaron mayor producción de raíces adventicias y mucilagos, con relación al testigo. En la figura

5, se muestra desde el punto 15 que se interpreta como menos de 50% de probabilidad en que las plantas manifiestan presencia de mucigel en las raíces adventicias en etapa V9 y V12 (71 a 95 días posteriores a la siembra).

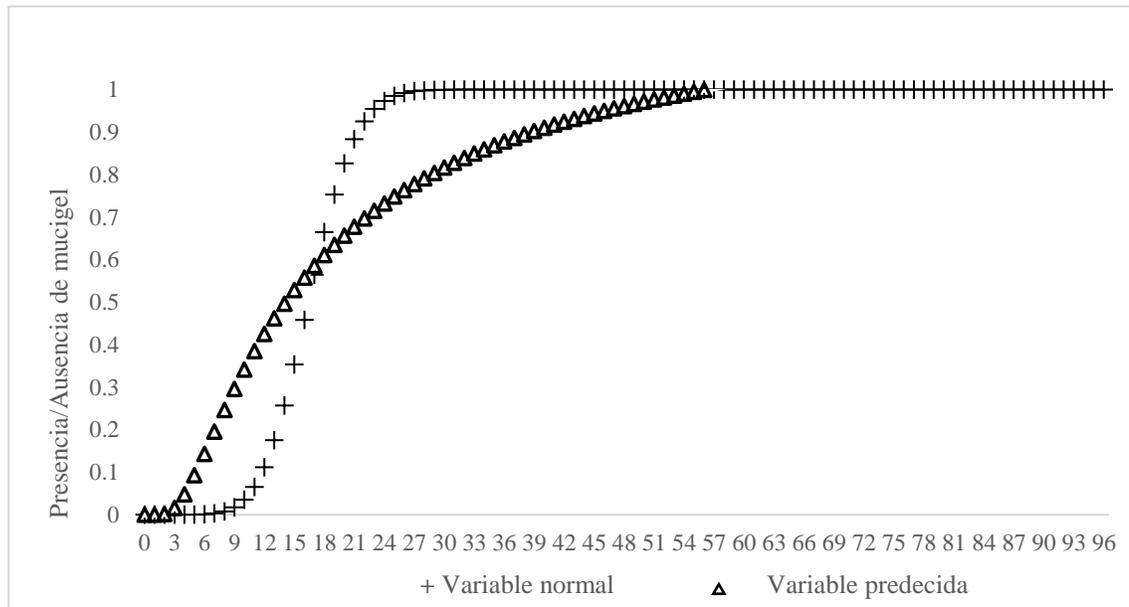


Figura 5. Modelo de regresión logística para estimar presencia de mucigel en raíces adventicias de plantas de maíz Olotón

En el punto 54 en que se describe que la probabilidad es mayor del 50% en que todas las plantas presenten mucigel en sus raíces adventicias desde la etapa V12 a V15 (95 a 119 días posteriores a la siembra) este exudado cubre parte de la raíz en el inicio (Figura 6 (a)); mientras transcurren algunos días emerge con mayor contenido de mucilago hasta cubrir completamente la raíz adventicia o exceder el largo de 3-4 cm aproximadamente el mucigel (Figura 6 (b)); sin embargo posterior en la etapa de antesis es menor la probabilidad de encontrar plantas con mucilago al menos en el tercer nudo, sin embargo las plantas que aún mantienen adherido a su raíz el gel, presentan 1cm o menos desde la base al ápice de la raíz (Figura 6 (c)). Existe un periodo de aproximadamente 48 días

en que hay presencia de exudado radical en plantas de maíz Olotón para este material utilizado, se registraron hasta cinco nudos con raíces adventicias.



Figura 6. Presencia de mucilago en raíz adventicia en plantas de maíz Olotón, en la localidad de Totontepec Villa de Morelos, Oaxaca. A) inicia la presencia de exudado, b) mayor exudado radical, c) etapa de finalización de mucilago.

El periodo de presencia del mucilago coincide con una etapa de humedad en los meses de julio y el mes de octubre y con mayor precipitación en el mes de julio y principios de septiembre, en este periodo se registró en promedio 250-300 mm de lluvia; con temperaturas máximas de 22.8 °C y mínimos de 15.4 °C en la localidad de Totontepec Villa de Morelos (Figura 2). En este estudio se verificó que la falta de fertilización nitrogenada.

En la investigación de Pankiewicz y colaboradores (2022), se menciona el estudio de nueve accesiones de maíz y aunque no especifican la raza, aluden que estas accesiones se obtuvieron de la comunidad de Totontepec Villa de

Morelos Oaxaca, estos autores junto con Van (*et al.*, 2018) señalan que en el tallo están presentes entre 1 a 10 nudos con raíces adventicias, mismas que contienen el mucigel rico en polisacáridos y algunas especies de bacterias diazotróficas capaces de fijar biológicamente el Nitrógeno atmosférico. Característica importante observada en campo es que la producción de mucigel va en sucesión a la emergencia de raíz adventicia, es decir las raíces que van surgiendo van exudando mucilago, mientras que las primeras raíces de la base pierden el gel trascurrido el tiempo.

Pankievicz y colaboradores (2022), describe que las raíces adventicias tienen la capacidad de secretar 1.5-2.0mL de Mucigel; mencionan que existe una correlación de la raíz con el grosor de esta; entre mayor sea el diámetro mayor producción de mucigel habrá. Otros autores, recientemente describen la presencia de mucilago no solo en raíces adventicias, sino también, aunque en menor cantidad en raíces subterráneas (Nazari *et al.*, 2020); mientras que (Galloway *et al.*, 2020) encontró mucigel en pelos radiculares de las raíces adventicias en maíz de la Sierra Mixe de Oaxaca.

En el cuadro 5 se muestran las correlaciones que tienen las variables de ambas poblaciones; existe correlación positiva moderada entre HPVM y EDESP en maíz amarillo; y correlación negativa baja de la variable HPVM y CBEST; correlación positiva moderada entre las variables de JIANT y CANTE en maíz amarillo y blanco; Correlación negativa baja para maíz blanco entre la variable CANTE y EDESP; Correlación positiva baja en variables CEBEST Y JIANT maíz

amarillo, correlación positiva moderada entre variable CBEST y CARAIZ en maíz blanco; Correlación positiva moderada entre la variable CARAIZ y CBEST; se considera una correlación positiva baja para ambas variedades de maíz Olotón, sin embargo se obtuvo en la mayoría de variables significativas al presentar  $p \leq 0.05$ .

Cuadro 5. Resumen de Correlación de Spearman ( $\alpha=0.05$ ) entre variables fenotípicas de maíz amarillo y blanco

	<b>Población</b>	<b>Variable</b>	<b>Correlación</b>	<b>VS</b>
Maíz amarillo		HCVM	0.36**	TGZ
		HPVM	0.56**	EDESP
		TGZ	0.36**	HCVM
		EDESP	0.56**	HPVM
		JIANT	0.69**	JCANTE
		JCANTE	0.69**	JIANT
		CBEST	0.33**	JIANT
		CARAIZ	0.37**	MUCI
Maíz blanco		HCVM	0.23	JIANT
		HPVM	-0.36**	CBEST
		TGZ	0.25**	JIANT
		EDESP	-0.39**	JCANTE
		JIANT	0.62**	JCANTE
		CANTE	-0.39**	EDESP
		CBEST	0.55**	CARAIZ
	CARAIZ	0.55**	CBEST	

HCVM: Coloración de la vaina en la hoja de la mazorca; HPVM: Pubescencias sobre el margen de la vaina de la hoja de la mazorca; TGZ: Grado de zigzag desarrollo longitudinal en zigzag; EDESP: Densidad de espiguillas; JIANT: Intensidad de coloración en los estigmas por antocianinas; CANTE: Coloración de antocianinas de los estigmas de jilote; CBEST: Coloración de la base de los estigmas del jilote superior; CARAIZ: Coloración de antocianinas en raíces adventicias; \*\*=alta significancia ( $p \leq 0.05$ )

## Características fenotípicas cuantitativas de maíz Olotón

En el análisis de varianza se observa que en las variables de TLEI, ALTM, ELP y HAL existe diferencias significativas en las parcelas grandes. En las parcelas chicas únicamente se detectaron diferencias significativas en las variables ELP y HAL. En la interacción parcela chica\*población se detectó efecto positivo en la variable de longitud de la panoja. En la interacción PG\*PC se verificó efecto significativo en todas las variables fenotípicas, excepto para ancho y largo de lámina.

En la interacción PG\*PC\*Pobl se verificaron efectos positivos en las variables de longitud de entrenudo superior, longitud de panoja, ancho y largo de la lámina justo en la inserción de la mazorca superior (Cuadro 6); lo cual indica que al menos en algunos de estos tratamientos o en alguna población mostró mejores respuestas en las variables fenotípicas de la raza Olotón.

Cuadro 6. Resumen de análisis de varianza de variables fenotípicas de dos poblaciones del cultivo de maíz Olotón, bajo aplicaciones de encalado, estiércol, Nitrógeno y Fósforo

Fuente de variación	GL	TLES (cm)	TLEI (cm)	ALTM (cm)	ELP (cm)	PALT (cm)	HAL (cm)	HLL (cm)
REP	2	0.05 <sup>ns</sup>	0.10 <sup>ns</sup>	0.79 <sup>ns</sup>	0.23 <sup>**</sup>	0.78 <sup>ns</sup>	0.02 <sup>ns</sup>	0.07 <sup>ns</sup>
PG	3	0.05 <sup>ns</sup>	0.14 <sup>*</sup>	0.82 <sup>*</sup>	0.21 <sup>**</sup>	0.84 <sup>ns</sup>	0.09 <sup>**</sup>	0.28 <sup>ns</sup>
REP*PG	6	0.07 <sup>ns</sup>	0.01 <sup>ns</sup>	0.82 <sup>ns</sup>	0.04 <sup>ns</sup>	0.74 <sup>ns</sup>	0.02 <sup>ns</sup>	0.12 <sup>ns</sup>
PC	3	0.05 <sup>ns</sup>	0.10 <sup>ns</sup>	0.48 <sup>ns</sup>	0.42 <sup>**</sup>	0.81 <sup>ns</sup>	0.09 <sup>**</sup>	0.07 <sup>ns</sup>
PG*PC	9	0.20 <sup>**</sup>	0.13 <sup>**</sup>	1.89 <sup>*</sup>	0.12 <sup>**</sup>	2.38 <sup>**</sup>	0.03 <sup>ns</sup>	0.28 <sup>ns</sup>
REP*PC(PG)	24	0.05 <sup>ns</sup>	0.02 <sup>ns</sup>	0.57 <sup>ns</sup>	0.14 <sup>**</sup>	0.59 <sup>ns</sup>	0.02 <sup>ns</sup>	0.20 <sup>ns</sup>
Pobl	1	0.04 <sup>ns</sup>	0.02 <sup>ns</sup>	0.00 <sup>ns</sup>	0.07 <sup>ns</sup>	0.14 <sup>ns</sup>	0.06 <sup>ns</sup>	0.36 <sup>ns</sup>

PG*Pobl	3	0.07 <sup>ns</sup>	0.04 <sup>ns</sup>	1.97 <sup>ns</sup>	0.08 <sup>ns</sup>	0.52 <sup>ns</sup>	0.03 <sup>ns</sup>	0.03 <sup>ns</sup>
PC*Pobl	3	0.18 <sup>**</sup>	0.03 <sup>ns</sup>	1.08 <sup>ns</sup>	0.31 <sup>**</sup>	0.36 <sup>ns</sup>	0.04 <sup>ns</sup>	0.02 <sup>ns</sup>
PG*PC*Pobl	9	0.42 <sup>**</sup>	0.08 <sup>ns</sup>	3.44 <sup>ns</sup>	0.26 <sup>**</sup>	1.07 <sup>ns</sup>	0.06 <sup>*</sup>	0.67 <sup>*</sup>
Error	32	0.04	0.04	0.4	0.04	0.56	0.01	0.16
Total	95							
$\mu$		16.59	21.07	218.16	46.31	343.05	9.55	98.65
C. V. (%)		4.8	4	4.3	2.7	4.0	4.3	4.1
$\sqrt{+1}$		0.2	0.2	0.2	0.2	0.8	0.1	0.4

GL: Grados de libertad; REP: Repetición; PC: Parcela con aplicación de fertilización química; Pobl: Población; TLES: Tallo Longitud de entrenado superior; TLEI: Tallo longitud de entrenado inferior; ALTM: Altura de inserción de la mazorca; ELP: Espiga longitud de la panoja; PALT: Altura de la planta hasta hoja bandera; HAL: Hoja ancho de la lámina; HLL: Hoja largo de la lámina;  $\mu$ : Media no transformada; C.V: Coeficiente de variación;  $\sqrt{+1}$ : raíz cuadrada. \*Significativo ( $p \leq 0.5\%$ ), \*\*altamente significativo ( $p \leq 0.01\%$ ).

En la parcela grande se observa respuesta favorable en las plantas de maíz que mostraron mayor vigorosidad, con la aplicación de encalado y la combinación de encalado-estiércol, lo cual puede estar asociado al aumento de pH del suelo y la disponibilidad de nutrientes en forma absorbible en la zona radicular de las plantas (Silva *et al.*, 2020). Estos resultados permiten explorar con mayor profundidad el papel que desempeñan las enmiendas agrícolas y su respuesta en las características fenotípicas en el cultivo de maíz.

Aunque sólo se detectó diferencia significativa en la longitud de la panoja y en ancho de la lámina justo en la inserción de la mazorca en la parcela chica, el desarrollo y crecimiento de las plantas cuando fue aplicado N y NP fue mayor, asociado al encalado, estiércol o la combinación de éstos. En las etapa vegetativa y reproductiva de las plantas en las parcelas sin aplicación de alguna enmienda y fertilizante nitrogenado se presentaron deficiencias nutricionales con clorosis en las hojas de las plantas, lo cual puede afectar en la producción del cultivo. En estudios se ha demostrado que las características fenotípicas y de rendimiento

de grano depende en gran medida del balance nutrimental, principalmente N y P (Magallanes-Quintanar *et al.*, 2006).

En las poblaciones de la raza Olotón no se observaron diferencias significativas en las variables cuantitativas (Cuadro 6), esta baja variabilidad se justifica porque ambos pertenecen a la misma raza y se infiere que la expresión de estas variables está influenciada por el mismo genotipo y no es afectada de manera diferencial con algún manejo agronómico particular (Ángeles-Gaspar *et al.*, 2010; Cervantes *et al.*, 2014). No obstante, ambas poblaciones se destacan por presentar plantas con mejores características en relación con lo que se reporta en la literatura para otros maíces nativos y la raza Olotón (Torres-Morales, 2022; Coutiño *et al.*, 2022).

La variable de longitud de entrenudo superior fue de 16.59 cm y la longitud de entrenudo inferior de 21.07 cm, que proporcionan en promedio plantas de maíz con altura e inserción de la mazorca superior de 343.05 y 218.2 cm, respectivamente (Cuadro 7).

La altura de planta y la inserción de la mazorca son caracteres cuantitativos de gran importancia, debido a que están relacionada directamente con la tolerancia al acame. En caso de inserción de la mazorca superior (ALTM) fue mayor cuándo se aplicó estiércol, cal dolomita y la combinación de estos (Cuadro 7), lo cual puede amortiguar problemas de acame de las plantas al ser plantas de ciclo tardío y con alturas superiores a 3.4 metros. Lo anterior porque la relación

inserción de la mazorca/altura de planta puede disminuir el centro de gravedad de la planta, que provoca problemas de acame (Li *et al.*, 2007).

Cuadro 7. Medias de variables fenotípicas en dos poblaciones del maíz Olotón, bajo aplicaciones de encalado, estiércol, Nitrógeno y Fósforo

Fuente de variación	TLES (cm)	TLEI (cm)	ALTM (cm)	ELP (cm)	PALT (cm)	HAL (cm)	HLL (cm)
<b>Parcela grande</b>							
S/Aplicación	16.03a	20.30b	213.90b	45.48ab	336.15a	9.46ab	95.94a
Encalado	16.83a	22.00a	216.06ab	47.25a	341.01a	9.03b	99.17a
Estiércol	16.88a	20.83ab	216.43ab	47.50a	342.67a	9.81a	98.17a
Enc-Est	16.62a	21.16ab	226.25a	45.02b	352.38a	9.92a	101.33a
<b>Parcela chica</b>							
Testigo	16.55a	20.92a	221.10a	47.13b	340.73a	8.97b	100.04a
Fósforo	17.07a	21.43a	222.33a	44.40b	353.38a	9.65ab	97.48a
Nitrógeno	16.59a	21.66a	215.00a	48.27a	339.23a	9.74a	98.30a
N-P	16.15a	20.29a	214.21a	47.46a	338.87a	9.85a	98.80a
<b>Población</b>							
M-Am	16.42a	20.92a	218.37a	45.90a	344.39a	9.71a	97.41a
M-B	16.76a	21.23a	217.96a	45.72a	341.72a	9.40a	99.90a

Medias con la misma letra en la columna no son estadísticamente significativas (Tukey 0.05%); TLES: Tallo Longitud de entrenudo superior; TLEI: Tallo longitud de entrenudo inferior; ALTM: Altura de inserción de la mazorca; ELP: Espiga longitud de la panoja; PALT: Altura de la planta; HAL: Hoja ancho de la lámina; HLL: Hoja largo de la lámina; PG: Parcela grande; S/Aplicación: Sin aplicación de enmienda; Enc-Est: Encalado y Estiércol; M-Am: Maíz amarillo; M-B: Maíz blanco.

Para altura de la planta, se comparan los resultados con los arrojados de una nueva variedad descrita por (Coutiño *et al.*, 2022), dicha variedad proviene de raza Olotón en Valles Altos de Chiapas, la cual presenta una altura de planta en promedio de 2.65 m e inserción de mazorca de 1.27m; en comparación con el Olotón de Totontepec Villa de Morelos los promedios en altura de la planta sin tomar en cuenta la espiga fue de 3.43m y altura de la mazorca de 2.18m (altura de planta 23% mayor el Olotón que la variedad y altura de mazorca 42% en

superioridad de inserción de la mazorca). El promedio de altura de plantas de maíz Olotón superan la máxima categoría considerada por el SNICS (2010) y la UPOV como plantas muy largas; por lo tanto, para una descripción más precisa, sería conveniente considerar alguna adecuación debido a que ambas poblaciones evaluadas fue de ciclo largo y plantas muy altos con fertilización de NP de 60 y 80 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Estos resultados difieren con otros maíces nativos que son menores a los 3m; Torres-Morales, (2022) y colaboradores describen caracteres de maíces nativos considerados de ciclo tardío como Olotón, Negrito y Negro de Chimaltenango con alturas de 1.80m para el estado de Chiapas con fertilización de 90N-46P-21K; aunque se justifica que los ciclos de siembra pasaron por periodos de sequía durante su desarrollo.

Respecto a la variable de ELP, mostró alta diferencia significativa en la aplicación de enmiendas, con la fertilización química, en las interacciones. Para la fertilización química se observó mejores respuestas cuando se aplicó N y NP. Cabrera-Toledo (2019) y colaboradores observaron la longitud de la panoja junto con las características propias de la espiga sufren un efecto positivo para la producción de polen con una fertilización de 92N-46P-00K, mismo que con condiciones ambientales favorables propician buena dispersión y provocan que haya una polinización efectiva de plantas.

Para la raza Olotón se cuantificaron para la floración masculina fluctúa entre 105 a 130 días y la antesis (50% de las plantas en floración) ocurre a los 120 a 130 días. La (CONABIO, 2022), reporta la floración masculina entre 95 a 115

días, respecto a la floración femenina (al menos un cm de estigmas presentes) ocurre 115-135 días posterior a la siembra. Torres-Morales, (2022) reporta para Olotón 146 días a floración femenina y 140 días a floración masculina sobrepasa los días en que se presentó esta etapa en Totontepec Villa de Morelos, aunque coincide en que pertenece al grupo de maduración tardía de zona templada tanto en Oaxaca como en Chiapas, reportado por (Barrera-Guzmán *et al.*, 2020).

Cabrera-Toledo *et al.*, (2019) y colaboradores en una variedad de maíz nombrada localmente como zapalote morado mencionan que hay relación de días a floración masculina y femenina con la altura de la planta, concluyendo en que entre mayor sea el número de días a floración, mayor es la altura de la planta, lo cual confirma con los resultados observados en este estudio.

Para las dos poblaciones de la raza Olotón, las variables de ancho y largo de hoja, los valores oscilaron entre 10.8cm y 98.7cm, respectivamente. Godina Rodríguez y colaboradores (2020), reportan hojas largas para las razas Ratón x Tuxpeño norteño (93cm) y hojas más anchas en los genotipos Tuxpeño norteño x Olotillo (11.5cm), con una fertilización de 46 kg ha<sup>-1</sup> de N para 10 genotipos de maíces. Los maíces que contengan hojas grandes y tallos vigorosos pueden promover mayor actividad fotosintética y acumulación de materia seca que está asociado con mayor rendimiento del cultivo. En este trabajo se observó que el ancho de las hojas aumentó con la aplicación de estiércol, encalado-estiércol y fertilización de N y NP, esto ocurre cuando el nitrógeno se encuentra disponible en las formas absorbibles por las plantas. Además, en estas etapas las plantas

aún se encontraban en el proceso de FBN propia de la raza Olotón (Van *et al.*, 2018).

### Características agronómicas de maíz Olotón

En el cuadro 8, se muestra el resumen del ANOVA donde se analizaron seis variables agronómicas correspondientes a maíz Olotón amarillo y blanco, las fuentes de interés fueron la aplicación en la parcela de enmiendas (parcela grande), aplicación de fertilización química (parcela chica) y la población amarilla y blanca; así como la interacción doble y triple de estas fuentes.

Cuadro 8. Resumen de análisis de varianza de variables agronómicas de dos poblaciones del cultivo de maíz Olotón, bajo aplicaciones de enmienda, estiércol, Nitrógeno y Fósforo

Fuente de variación	GL	TMLPE (cm)	TMLBA (cm)	TMDC (cm)	TMNH	TMNGH	TNGXM
REP	2	0.736 <sup>ns</sup>	0.451 <sup>**</sup>	0.004 <sup>ns</sup>	0.024 <sup>ns</sup>	0.521 <sup>ns</sup>	2.422 <sup>ns</sup>
PG	3	0.2656 <sup>ns</sup>	0.127 <sup>ns</sup>	0.011 <sup>ns</sup>	0.167 <sup>**</sup>	0.169 <sup>ns</sup>	5.847 <sup>ns</sup>
REP*PG	6	0.3138 <sup>ns</sup>	0.147 <sup>*</sup>	0.007 <sup>ns</sup>	0.046 <sup>ns</sup>	0.722 <sup>**</sup>	9.776 <sup>**</sup>
PC	3	5.4286 <sup>**</sup>	0.377 <sup>**</sup>	0.012 <sup>ns</sup>	0.005 <sup>ns</sup>	1.367 <sup>**</sup>	14.08 <sup>**</sup>
PG*PC	9	0.477 <sup>ns</sup>	0.115 <sup>ns</sup>	0.006 <sup>ns</sup>	0.027 <sup>ns</sup>	0.460 <sup>*</sup>	4.834 <sup>ns</sup>
REP*PC(PG)	24	0.3208 <sup>ns</sup>	0.145 <sup>**</sup>	0.006 <sup>ns</sup>	0.041 <sup>ns</sup>	0.269 <sup>ns</sup>	5.231 <sup>*</sup>
Pobl	1	0.041 <sup>ns</sup>	0.041 <sup>ns</sup>	0.040 <sup>*</sup>	0.026 <sup>ns</sup>	0.025 <sup>ns</sup>	0.261 <sup>ns</sup>
PG*Pobl	3	0.5384 <sup>ns</sup>	0.214 <sup>*</sup>	0.002 <sup>ns</sup>	0.021 <sup>ns</sup>	0.512 <sup>ns</sup>	4.442 <sup>ns</sup>
PC* Pobl	3	0.2752 <sup>ns</sup>	0.082 <sup>ns</sup>	0.004 <sup>ns</sup>	0.004 <sup>ns</sup>	0.856 <sup>**</sup>	7.484 <sup>ns</sup>
PG*PC* Pobl	9	0.2511 <sup>ns</sup>	0.121 <sup>ns</sup>	0.009 <sup>ns</sup>	0.023 <sup>ns</sup>	0.184 <sup>ns</sup>	3.514 <sup>ns</sup>
Error	224	0.277	0.065	0.007	0.03	0.199	3.192
Total	287						
C. V. (%)		16.6	6	3.61	4.97	8.170	10.39
$\sqrt{(+1)}$		0.5	0.254	0.083	0.166	0.446	1.787

GL: Grados de libertad; REP: Repetición; PC: Parcela chica; Pobl: Población; TMZLPE: Mazorca longitud de pedúnculo; TMZLBA: Mazorca longitud de base a ápice; TMZDC: Mazorca diámetro central; TMZNH: Mazorca número de hileras; TMZNGH: Mazorca número de granos por hilera; TNGXM: Número de granos por mazorca. C.V: Coeficiente de variación. Duncan: \*Significativo ( $p \leq 0.5\%$ ), \*\*altamente significativo ( $p \leq 0.01\%$ ).

Las variables de longitud de base a ápice de la mazorca fueron diferentes significativamente entre población, las aplicaciones de fertilizante, entre repeticiones con interacción de fertilización química, población y repetición. El número de granos por hilera y el número de granos por mazorca respondieron a los factores de repetición en interacción con el uso de enmiendas.

La investigación desarrollada por González-Martínez *et al.* (2019), describen la variabilidad entre las razas de maíz nativo Tuxpeño, Vandeño, Cónico, Olotillo y Chalqueño en la reserva de la Biósfera “El cielo” en Tamaulipas México, en las variables de longitud de mazorca y diámetro de la mazorca, el maíz Olotón presenta valores promedio (18.25 cm) entre las razas mencionadas; Olotón presenta 10 hileras en promedio lo que la hace diferente de Tuxpeño, Vandeño, Cónico y Chalqueño con un número de hileras superior, sin embargo con la raza Olotillo de 8 hileras se mantiene más cercano en caracteres de este tipo, además que esta raza se encuentra en el grupo de maíces de maduración tardía (CONABIO, 2020). Para el número de granos por hilera Olotón es inferior (29 granos) al promedio de las razas observadas por González-Martínez *et al.*, (2019).

Mediante el análisis de medias significativas (Cuadro 9), se obtuvo que en la aplicación de la enmienda usando únicamente cal fue diferente la variable longitud de mazorca desde la base al ápice sin totomoxtle, así como la variable de número de hileras por mazorca en la aplicación de cal y estiércol. Villalobos-González y colaboradores (2019), dentro del grupo de maíces descritos en su

investigación en Yucatán, describieron a maíces con un número superior a 12 número de hileras, para maíces de nombres locales de la península de Yucatán.

Las plantas de maíz tienen una alta demanda de nutrientes, incluyendo el nitrógeno, para su crecimiento y desarrollo adecuado. El nitrógeno es un elemento esencial para la formación de proteínas, enzimas y clorofila, que son fundamentales para el metabolismo y la fotosíntesis de las plantas; al ser absorbidos por éstas, favorecen el incremento de la biomasa total y del rendimiento (Capetillo-Burela *et al.*, 2021).

Cuadro 9. Medias de variables agronómicas en aplicación de enmiendas (parcela grande)

Variable	Testigo	Cal	Estiércol	Cal y Estiércol
MZLPE (cm)	9.1±0.06a	9.8±0.07a	8.8±0.07a	9.6±0.08a
MZLBA (cm)	17.8±0.03b	18.6±0.03a	18.1±0.03ab	18.5±0.04ab
MZDC (cm)	4.2±0.01a	4.2±0.01a	4.3±0.01a	4.3±0.01a
MZNH	10.1±0.02bc	9.9±0.02c	10.4±0.02ab	10.6±0.02a
MZNGH	28.4±0.06a	29.7±0.05a	29.2±0.06a	29.0±0.06a
NGXMZ	287.0±0.22a	292.9±0.20a	306.3±0.26a	307.3±0.22a

GL: Grados de libertad; TMZLPE: Mazorca longitud de pedúnculo; TMZLBA: Mazorca longitud de base a ápice; TMZDC: Mazorca diámetro central; TMZNH: Mazorca número de hileras; TMZNGH: Mazorca número de granos por hilera; TNGXMZ: Número de granos por mazorca. Letras distintas en la misma fila representan diferencias significativas (Duncan 0.05). Media ± con error estándar

Respecto a la aplicación de fertilización química (Cuadro 10), los resultados analizados mediante prueba de medias Duncan, arrojaron diferencia significativa en las variables de longitud de pedúnculo y longitud de base a ápice de la mazorca con el uso de Nitrógeno y Fósforo; para el diámetro central de la mazorca fue influenciado por la aplicación de Nitrógeno, en cuanto al número de hileras, número de granos por hilera y número de granos por mazorca; se aprecia

en que la aplicación de P, N y la interacción de N\*P resultaron con mejores valores que los datos valorados para el testigo. La disponibilidad de nitrógeno afecta positivamente el desarrollo vegetativo de maíz (Aguilar Carpio *et al.*, 2017).

Cuadro 10. Medias de variables agronómicas en aplicación de Nitrógeno, Fósforo y NP (Parcela chica)

Variable	Testigo	Fósforo (P)	Nitrógeno (N)	N y P
MZLPE (cm)	7.6±0.07c	8.6±0.06bc	9.3± 0.06b	11.8±0.07a
MZLBA (cm)	17.5±0.03c	18.1±0.03bc	18.4± 0.04ab	19.0±0.03a
MZDC (cm)	4.2±0.01b	4.3±0.01ab	4.3± 0.01a	4.3±0.01ab
MZNH	10.2±0.02a	10.3±0.02a	10.3± 0.02a	10.2±0.02a
MZNGH	27.1±0.05b	29.2±0.06a	29.2± 0.05a	30.8±0.06a
NGXMZ	277.7±0.22b	299.4±0.24a	301.2± 0.19a	314.7±0.25a

MZLPE: Mazorca longitud de pedúnculo; MZLBA: Mazorca longitud de base a ápice; MZDC: Mazorca diámetro central; MZNH: Mazorca número de hileras; MZNGH: Mazorca número de granos por hilera; NGXMZ: Número de granos por mazorca. Letras distintas en la misma fila representan diferencias significativas (Duncan 0.05). Media ± con error estándar

Respecto a la población entre el maíz blanco y el amarillo (Cuadro 11), se demostró mediante el análisis de Duncan, en que el diámetro central de la mazorca fue significativamente diferente el maíz blanco; respecto a características morfológicas de las mazorcas, para ambas poblaciones la forma de la mazorca fue cónica cilíndrica con disposición de hileras regular, aunque hay que destacar que una de las características peculiares de esta raza es por presentar una base ligeramente abultada, en lo que respecta a este rasgo en la disposición de hileras en la base la distribución es irregular, con forme se llega al ápice de la mazorca las hileras se acomodan a una forma regular.

Martínez-Sánchez *et al.* (2017), en la caracterización de maíces nativos de Chiapas, describió mazorcas con 2-5cm de diámetro; Villalobos-González y

colaboradores (2019) mencionan que la importancia las variables descritas para mazorca se ven fuertemente ligadas con los rendimientos de los maíces nativos. Respecto a la observación de campo y a las colectas se observó la diferencia entre mazorcas de la misma raza, las mazorcas de color blanco mostraron un diámetro central superior al de las mazorcas amarillas a pesar de pertenecer a la misma raza.

Cuadro 11. Medias de variables agronómicas en maíz amarillo y blanco

Variable	Maíz amarillo	Maíz blanco
MZLPE (cm)	9.2±0.05 a	9.5±0.05 a
MZLBA (cm)	18.1±0.03 a	18.4±0.02 a
MZDC (cm)	4.2±0.01 b	4.3±0.01 a
MZNH	10.2±0.01 a	10.3±0.02 a
MZNGH	29.2±0.04 a	29.0±0.04 a
NGXMZ	297.0±0.16 a	299.7±0.17 a

MZLPE: Mazorca longitud de pedúnculo; MZLBA: Mazorca longitud de base a ápice; MZDC: Mazorca diámetro central; MZNH: Mazorca número de hileras; MZNGH: Mazorca número de granos por hilera; NGXMZ: Número de granos por mazorca. Letras distintas en la misma fila representan diferencias significativas (Duncan 0.05). Media ± con error estándar

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Aunque las dos poblaciones de maíz pertenecen a la misma raza existen una diferencia significativa en variables fenotípicas y agronómicas, lo cual permite concluir que existe alta variabilidad genética entre estas poblaciones. Sin embargo, el análisis de la diversidad genética del maíz requiere estudios más completos para caracterizar las diferentes variedades y sus particularidades, debido a que las poblaciones de maíz se distribuyen en diferentes ambientes, donde desarrollan su potencial agronómico y que son preservadas y mejoradas por los agricultores locales.

En la descripción fenotípica cualitativa se observó que las plantas de maíz de ambas poblaciones se comportaron de manera diferente, ejemplo de ello es que fue notable la presencia de pubescencia abundante en el margen de la vaina de la mazorca en maíz blanco y muy escasa en maíz amarillo; el zigzagueo está presente sólo en el maíz blanco; la presencia de antocianinas en jilote está presente en maíz amarillo.

También se encontró correlación positiva moderada entre las variables HPVM-EDESP, y JIANT-JCANTE del maíz amarillo, correlación positiva moderada del maíz blanco entre las variables CARAIZ-CBEST.

Respecto a las variables fenotípicas cuantitativas a través del análisis de varianza se obtuvo para las variables de TLEI, ALTM, ELP y HAL existe diferencias significativas en las parcelas con aplicación de enmiendas. En las parcelas con fertilización únicamente se detectaron diferencias significativas en las variables ELP y HAL.

Los análisis estadísticos mostraron resultados favorables en las variables fenotípicas y agronómicas en aquellas parcelas donde se aplicó cal ( $2 \text{ t ha}^{-1}$ ) y la interacción de la cal-estiércol ( $3 \text{ t ha}^{-1}$ ) junto con la fertilización química de nitrógeno (60 unidades) y la interacción de Nitrógeno (60 unidades) y Fósforo (80 unidades); esto puede deberse a que los nutrientes de la fertilización química son aprovechados con mayor rapidez en la aplicación con cal dolomita ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ); debido a que al neutralizar el pH de suelos ácidos permite la disponibilidad de algunos nutrientes para convertirse en formas asimilables para las plantas; estos macro y micronutrientes al estar en condiciones favorables para las plantas, generan un mejor desarrollo vegetativo y productivo del cultivo de maíz Olotón comparándose con el tratamiento testigo.

Sin embargo; aunque esta raza de maíz tiene el carácter de fijación biológica de nitrógeno requiere de una fertilización nitrogenada, debido a que en la etapa

vegetativa inicial en la que asimila el N presenta deficiencia de nitrógeno que puede ser afectada en el rendimiento del grano. Así mismo, la fertilización nitrogenada está asociado directamente con el número de nudos con raíces adventicias y la presencia de mucilagos en las plantas. De acuerdo con los resultados obtenidos, se sugiere realizar análisis químicos en cada una de las etapas vegetativas y productivas a la planta para conocer el tipo de fertilización con mayor influencia sobre esta raza en sus diferentes etapas de desarrollo en el maíz nativo que tiene el Carácter de Fijar Biológicamente el Nitrógeno (CFBN) de Totontepec Villa de Morelos Oaxaca.

Finalmente se recomienda realizar observaciones en las áreas aledañas e incluso que pertenezcan a la sierra norte de Oaxaca, porque probablemente el carácter de fijación biológica de nitrógeno este presente en algunos otros maíces nativos. Por lo que sería interesante conocer el comportamiento de estos maíces en ambientes diferentes y realizar la caracterización que permita proteger el patrimonio genético y para su protección defensiva.

## LITERATURA CITADA

- Aguilar Carpio, C., Escalante Estrada, J. A. S., & Aguilar Mariscal, I. (2015). Análisis de crecimiento y rendimiento de maíz en clima cálido en función del genotipo, biofertilizante y nitrógeno. *Terra Latinoamericana*, 33(1), 51–62.
- Aguilar Carpio, C., Escalante Estrada, J. A. S., Aguilar Mariscal, I., Mejía Contreras, J. A., Conde Martínez, V. F., & Trinidad Santos, A. (2016). Eficiencia agronómica, rendimiento y rentabilidad de genotipos de maíz en función del nitrógeno. *Terra Latinoamericana*, 34(1), 419–429.
- Aguilar Carpio, C., Escalante-Estrada, J. A. S., Aguilar-Mariscal, I., & Pérez-Ramírez, A. (2017). Crecimiento, rendimiento y rentabilidad del maíz VS-535 en función del biofertilizante y nitrógeno. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 4(12), 475. <https://doi.org/10.19136/era.a4n12.1000>
- Aguilar-Castillo, J. A., & Carballo-Carballo. (2006). Diversidad fenotípica y variantes distintivas de la raza jala de maíz. *Agricultura Técnica en México*, 32(1), 57–66.
- Ángeles-Gaspar, E., Ortiz-Torres, E., López, P. A., & López-Romero, G. (2010). Caracterización y rendimiento de poblaciones de maíz nativas de Molcaxac, Puebla. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33(4), 287–296.
- Aragón Cuevas, F. (2006). Actualización de la información sobre los maíces criollos de Oaxaca. *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. CS002. México D. F.*, 1–133. [www.conabio.gob.mx](http://www.conabio.gob.mx)
- Aragón Cuevas, F. (2011). *Maíces nativos de Oaxaca*.
- Barrera-Guzmán, L., Legaria-Solano, J. P., & Ortega-Paczka, R. (2020). Diversidad genética en poblaciones de razas mexicanas de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 43(1), 121–125.

- Bellon, M. R., Hodson, D., & Hellin, J. (2011). Assessing the vulnerability of traditional maize seed systems in Mexico to climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(33), 13432–13437. <https://doi.org/10.1073/pnas.1103373108>
- Bernal Alcántara, J. A. (1982). *Efecto del Nitrógeno, el fósforo, la densidad de población del frijol y el encalado del suelo en el rendimiento de la asociación maíz-frijol en Totontepec mixes, Oaxaca*. Universidad Autónoma de Chapingo .
- Caballero-García, M. A., Córdova-Téllez, L., & López-Herrera, A. de J. (2019). Validación empírica de la teoría multicéntrica del origen y diversidad del maíz en México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 42(4), 357–366. <https://doi.org/https://doi.org/10.35196/rfm.2019.4.357>
- Cabrera-Toledo, J. M., Carballo-Carballo, A., Mejía-Contreras, J. A., García-De Los Santos, G., & Vaquera-Huerta, H. (2019). Caracterización de poblaciones sobresalientes de maíz de la raza Zapalote chico. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 42(3), 269–279.
- Capetillo-Burela, A., López-Collado, C. J., Zetina-Lezama, R., Reynolds-Chávez, M. A., Matilde-Hernández, C., Cadena-Zapata, M., & López-López, J. A. (2021). Modelo conceptual de fertilización nitrogenada para maíz (*Zea mays* L.) en Veracruz, México. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 7(14), 1617–1631. <https://doi.org/https://doi.org/10.5377/ribcc.v7i14.12606>
- Chávez-Servia, J. L., Diego-Flores, P., & Carrillo-Rodríguez, J. C. (2011). Complejos raciales de poblaciones de maíz evaluadas en San Martín Huamelulpan, Oaxaca. *Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable. Ra Ximhai*, 7(1), 107–115.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2020). *CONABIO. Grupo maduración tardía*. <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices/razas/grupo-MaduracionT>
- CONABIO. (2022). *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Biodiversidad mexicana*. <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices/razas/grupo-MaduracionT>
- Conceição dos Santos, L. F., Garruña, R., Andueza-Noh, R., Latournerie-Moreno, L., Mijangos-Cortés, J. O., & Pineda-Doporto, A. (2019). Comportamiento agronómico y fisiológico de maíces nativos del sureste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(6), 1247–1258. <https://doi.org/https://doi.org/10.29312/remexca.v10i6.908>
- Coral V, J. V., Andrade Bolaños, H. J., Pumisacho Gualoto, M. M., Caicedo Chávez, J. D., & Salazar Vizúete, D. R. (2019). Caracterización morfológica y agronómica de dos genotipos de maíz (*Zea mays* L.) en la zona media de la parroquia Malchinguí. *Avances en Ciencias e Ingenierías*, 11(7), 40–49. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18272/aci.v11i1.1091>

- Coutiño Estrada, B., Vázquez Carrillo, G., & Vidal Martínez, V. A. (2022). V56AC, Primera variedad de maíz Olotón QPM de grano amarillo para los valles altos de Chiapas, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, *45*(1), 149–151.
- Diego-Flores, P., Carrillo-Rodríguez, J. C., Luis Chávez-Servia, J., & Castillo-González, F. (2012). Variabilidad en poblaciones de maíz nativo de la Mixteca Baja Oaxaqueña, México. *FCA UNCUYO*, *44*(1), 157–171.
- Espinosa, A., Turrent, A., Gómez, N., Sierra, M., Caballero, F., Palafox, A., & Rodríguez, A. (2009). El potencial de las variedades nativas mejoradas de maíz. *Ciencias*, 118–125.
- Fernández Suárez, R., Morales Chávez, L. A., & Gálvez Mariscal, A. (2013). Importancia de los maíces nativos de México en la dieta nacional. Una revisión indispensable. *Revista Fitotecnia Mexicana*, *36*, 275–283.
- Galloway, A. F., Akhtar, J., Marcus, S. E., Fletcher, N., Field, K., & Knox, P. (2020). Cereal root exudates contain highly structurally complex polysaccharides with soil-binding properties. *Plant Journal*, *103*(5), 1666–1678. <https://doi.org/10.1111/tpj.14852>
- Godina Rodríguez, J. E., Garay Martínez, J. R., Mendoza Pedroza, S. I., Joaquín Cancino, S., Rocandio Rodríguez, M., & Lucio Ruiz, F. (2020). Rendimiento de forraje y composición morfológica de maíces nativos en condiciones semiáridas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, Número especial*(24), 59–68. <https://doi.org/https://doi.org/10.29312/remexca.v0i24.2358>.
- Gómez Montiel, N. O., Palemón Alberto, F., Reyes García, G., Hernández Galeno, C. del Á., Cantú Almaguer, M. Á., Juárez López, P., & Ascencio Álvarez, A. (2016). Rendimiento de grano y características fenotípicas de maíz: efecto de ambiente y dosis de fertilización. En *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* (Vol. 7).
- González-Martínez, J., Vanoye-Eligio, V., Chacón-Hernández, J. C., & Rocandio-Rodríguez, M. (2019). Diversidad y caracterización de maíces nativos de la Reserva de la Biósfera “El Cielo”, Tamaulipas, México. *Ciencia UAT*, *14*(1), 06. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v14i1.1246>
- Gual-Díaz, M., & Rendón-Correa, A. (2017). Los bosques mesófilos de montaña de México. *Agroproductividad*, *10*(1), 3–9.
- Guillén González, V. (2014). *Revalorización de estigmas de maíz negro Millo Corvo*. Instituto de Investigación en Ciencias de la Alimentación.
- Guillén Pérez, L. A., Sánchez Quintanar, C., Mercado Domenech, S., & Navarro Garza, H. (2002). Análisis de atribución causal en el uso de semilla criolla y semilla mejorada de maíz. *Agrociencia*, *377*(3), 377.
- Gutiérrez Carbajal, M. G., Magaña Magaña, M. A., Zimzumbo Villarreal, D., & Ballina Gómez, H. (2019). Diversidad agrícola y seguridad alimentaria nutricional en dos localidades Mayas de Yucatán. *Acta Universitaria*, e1996, 1–14. <https://doi.org/http://doi.org/10.15174.au.2019.1996>

- INEGI. (2010). Compendio de información geográfica municipal. Totontepec Villa de Morelos Oaxaca. [www.inafed.gob.mx/wb2/ELOCAL/ELOC\\_Enciclopedia](http://www.inafed.gob.mx/wb2/ELOCAL/ELOC_Enciclopedia)
- Kato, Á., Ortega Paczka, R., Boege, E., Wegier, A., Serratos, A., Alavez, V., Jardón, L., Moyers, L., & Ortega del Vecchoyo, D. (2013). Origen y diversidad del maíz. En M. V. Aguiluz Ibarquien, N. Blazquez Graf, A. M. Cetto Kramis, D. M. Favela Gavia, J. G. Gandarilla Salgado, E. Koppen Prubmann, R. López Torres, M. Sánchez Menchero, & I. Uribe Pineda (Eds.), *El maíz en peligro ante los transgénicos. Un análisis integral sobre el caso de México: Vol. Primera edición* (Primera edición, pp. 1–40). Universidad Nacional Autónoma de México. <https://www.researchgate.net/publication/303961569>
- Ku-Pech, E. M., Mijangos-Cortés, J. O., Andueza-Noh, R. H., Chávez-Pesqueira, M., Simá-Polanco, P., Simá-Gómez, J. L., & Arias-Reyes, L. M. (2019). Estrategias de manejo de la milpa maya en Xoy, Peto, Yucatán. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 7(1). <https://doi.org/10.19136/era.a7n1.2244>
- Li, Y., Dong, Y., Niu, S., & Cui, D. (2007). The genetic relationship among plant-height traits found using multiple-trait QTL mapping of a dent corn and popcorn cross. *Genome*, 50(4), 357–364. <https://doi.org/10.1139/G07-018>
- Lopez-Ridaura, S., Barba-Escoto, L., Reyna-Ramirez, C. A., Sum, C., Palacios-Rojas, N., & Gerard, B. (2021a). Maize intercropping in the milpa system. Diversity, extent and importance for nutritional security in the Western Highlands of Guatemala. *Scientific Reports*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-82784-2>
- Lopez-Ridaura, S., Barba-Escoto, L., Reyna-Ramirez, C. A., Sum, C., Palacios-Rojas, N., & Gerard, B. (2021b). Maize intercropping in the milpa system. Diversity, extent and importance for nutritional security in the Western Highlands of Guatemala. *Scientific Reports*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-82784-2>
- Magallanes-Quintanar, R., Valdez-Cepeda, R. D., Olivares-Sáenz, E., Pérez-Veyna, O., García-Hernández, J. L., & López-Martínez, J. D. (2006). Compositional nutrient diagnosis in maize grown in a calcareous soil. *Journal of Plant Nutrition*, 29(11), 2019–2033. <https://doi.org/10.1080/01904160600928235>
- Martínez Gutiérrez, A. (2019). *Ecofisiología, producción y calidad de híbridos de maíz (Zea mays L.) a la aplicación foliar de aminoácidos y extractos de algas en Valles Altos de México*.
- Martínez-Sánchez, J., Espinosa-Paz, N., & Cadena-Iñiguez, P. (2017). Caracterización morfológica de poblaciones de maíz nativo (*Zea mays L.*) en Chiapas, México. *Agroproductividad*, 10, 26–33.
- Massieu, Y., & Chapela, F. (2002). Acceso a recursos biológicos y biopiratería en México. *El Cotidiano*, 19(114), 72–87.
- Melchiorre, P., Bartoloni, N. J., & Cámara Hernández, J. A. (2021). Relaciones fenotípicas y genéticas entre razas precoces de maíz (*Zea mays ssp. mays*) nativas de la provincia de misiones (Argentina). *Agronomía y ambiente*, 41(2), 69–83.

- Navarro-Garza, H., Hernández-Flores, M., Castillo-González, F., & Antonia Pérez-Olvera, M. (2012). Diversidad y caracterización de maíces criollos. Estudio de caso en sistema de cultivo en la costa chica de Guerrero, México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 9(2).
- Nazari, M., Riebeling, S., Banfield, C. C., Akale, A., Crosta, M., Mason-Jones, K., Dippold, M. A., & Mutez, A. A. (2020). Mucilage Polysaccharide Composition and Exudation in Maize From Contrasting Climatic Regions. *Frontiers in Plant Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.587610>
- Novotny, I. P., Tittonell, P., Fuentes-Ponce, M. H., López-Ridaura, S., & Rossing, W. A. H. (2021). The importance of the traditional milpa in food security and nutritional self-sufficiency in the highlands of Oaxaca, Mexico. *PLoS ONE*, 16(2 February 2021). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246281>
- Paredes, M. C. (2013). *Fijación biológica de nitrógeno en leguminosas y gramíneas* [Universidad Católica Argentina]. <http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/tesis/fijacion-biologica-nitrogeno-leguminosas.pdf>
- Ramírez Teran, M., & Fuentes Carrasquedo, H. (2016). *Caracterización de 4 criollos superiores de maíz Zea mays L. raza zapalote chico*. Instituto Tecnológico de Comitancillo, TecNM.
- Ramírez-Maces, H. O., Tadeo-Robledo, M., Villegas-Aparicio, Y., Aragón-Cuevas, F., Martínez-Gutiérrez, A., Rodríguez-Ortiz, G., Carrillo-Rodríguez, J. C., Espinosa-Calderón, A., & De la O Olán, M. (2023). Diversidad biológica del sistema milpa y su papel en la seguridad alimentaria en la Sierra Mixe, Oaxaca. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 46(2), 105–113. <https://doi.org/https://doi.org/10.35196/rfm.2023.2.105>
- Rocandio-Rodríguez, M., Santacruz-Varela, A., Córdova-Téllez, L., López-Sánchez, H., Castillo-González, F., Lobato-Ortiz, R., García-Zavala, J. J., & Ortega-Paczka, R. (2014). Caracterización morfológica y agronómica de siete razas de maíz de los valles altos de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 37(4), 351–361.
- Ruiz Corral, A. J., Medina García, G., Ramírez Díaz, J. L., Flores López, H. E., Ramírez Ojeda, G., Manríquez Olmos, D. J., Zarazúa Villaseñor, P., González Eguiarte, D. R., Díaz Padilla, G., & De La Mora Orozco, C. (2011). Climate change and its implications in five producing areas of maize in México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2, 309–323.
- Salinas Moreno, Y., Aragón Cuevas, F., Ybarra Moncada, C., Aguilar Villarreal, J., Altunar López, B., & Sosa Montes, E. (2013). Caracterización física y composición química de razas de maíz de grano azul/morado de las regiones tropicales y subtropicales de Oaxaca. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36(1), 23–31.
- Sánchez-Hernández, E., De La Cruz-Lázaro, E., & Sánchez-Hernández, R. (2014). Productividad y caracterización varietal de maíces nativos (*Zea mays* L) colectados en Tabasco, México. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 1(1), 7–15.

- SIAP. (2020). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Cierre de Producción Agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- SIAP. (2021). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Cierre de Producción Agrícola de maíz en grano.
- Sierra-Macías, M., Andrés-Meza, P., Palafox-Caballero, A., Meneses-Márquez, I., Francisco-Nicolás, N., Zambada-Martínez, A., Rodríguez-Montalvo, F., Espinosa-Calderón, A., & Tadeo-Robledo, M. (2014). Variación morfológica de maíces nativos (*Zea mays* L.) en el estado de Veracruz, México. *Agro Productividad*, 7(1), 58–66. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/505>
- Silva do Sacramento, J. A. A., da Silva Gomes, P. H., Costa Veloso, C. A., Resende Silva, A., Farias Dantas, E., & Villacis Fajardo, J. D. (2020). Effect of agricultural correctives in the stocks of carbon and nitrogen of Oxisol in the Brazilian Amazon. *Acta Agronómica*, 68(4), 265–270. <https://doi.org/10.15446/ACAG.V68N4.78564>
- Soleri, D., Aragón Cuevas, F., Castro García, H., Cleveland, D. A., & Smith, S. E. (2022). The Household Context of In Situ Conservation in a Center of Crop Diversity: Self-Reported Practices and Perceptions of Maize and Phaseolus Bean Farmers in Oaxaca, Mexico. *Sustainability*, 14(12), 7148. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su14127148>
- Torres-Morales, B., Rocandio-Rodríguez, M., Santacruz-Varela, A., Leobigildo Córdova-Téllez, Coutiño-Estrada, B., & López-Sánchez, H. (2022). Diversidad morfológica y agronómica de siete razas de maíz del estado de Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(14), 687–699. <https://doi.org/https://doi.org/10.29312/remexca.v13i4.2956>
- Turiján Altamirano, T., Damián Huato, M. Á., Ramírez Valverde, B., Juárez Sánchez, J. P., & Estrella Chulím, N. (2012). Manejo tradicional e innovación tecnológica en cultivo de maíz en San José Chiapa, Puebla. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(6), 1085–1100.
- Turrent Fernández, A., Cortés Flores, J. I., Espinosa Calderón, A., Hernández Romero, E., Camas Gómez, R., Pablo Torres Zambrano, J., & Zambada Martínez, A. (2017). Mas Agro o MIAF ¿Cuál es la opción para modernizar sustentablemente la agricultura tradicional de México? *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8, 1169–1185.
- Turrent-Fernández, A., & Espinosa Calderón, A. (2022). *Fijación biológica de nitrógeno atmosférico por la raza nativa de maíz Olotón de la Sierra Mixe, Oaxaca*. La jornada. <https://www.jornada.com.mx/2022/03/19/delcampo/articulos/fijacion-nitrogeno-atmosferico.html>
- Turrent-Fernández, A., Wise, T. A., & Garvey, E. (2012). *Factibilidad de alcanzar el potencial productivo de maíz de México*. <http://www.ase.tufts.edu/gdae/Pubs/wp/12->
- Van Deynze, A., Zamora, P., Delaux, P.-M., Heitmann, C., Jayaraman, D., Rajasekar, S., Graham, D., Maeda, J., Gibson, D., Schwartz, K. D., Berry, A. M., Bhatnagar, S.,

- Jospin, G., Darling, A., Jeannotte, R., Lopez, J., Weimer, B. C., Eisen, J. A., Shapiro, H.-Y., ... Bennett, A. B. (2018). Nitrogen fixation in a landrace of maize is supported by a mucilage-associated diazotrophic microbiota. *PLoS Biology*, 16(8). <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.2006352>
- Villalobos-González, A., López-Hernández, M. B., Valdivia-González, N. A., Arcocha-Gómez, E., & Medina-Méndez, J. (2019). Variabilidad genética de características morfológicas de maíz nativo (*Zea mays* L.) en la Península de Yucatán, México. *Agro Productividad*, 12(11). <https://doi.org/10.32854/agrop.vi0.1486>
- Zamudio González, B., Félix Reyes, A., Martínez Gutiérrez, A., Cardoso Galvão, J. C., Espinosa Calderón, A., & Tadeo Robledo, M. (2018). Producción de híbridos de maíz con urea estabilizada y nutrición foliar. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(6), 1231–1244. <https://doi.org/https://doi.org/10.29312/remexca.v9i6.407>