



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
DES CIENCIAS AGROPECUARIAS
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
CAMPUS V**



**Rendimiento y calidad de grano de híbridos y variedades de maíz
amarillo (*Zea mays* L.) en Chiapas**

T E S I S

que para obtener el grado de

**MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA
TROPICAL**

presenta

DAVID RINCÓN ESPINOSA PS1529

Director de tesis

DR. BULMARO DE JESÚS COUTIÑO ESTRADA

Villaflores, Chiapas, México.

Febrero de 2021



Villaflores, Chiapas
03 de febrero de 2021
Oficio N° D/0028/2021

C. DAVID RINCÓN ESPINOSA
MAESTRANTE EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA TROPICAL
DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS CAMPUS V
P R E S E N T E.

En atención a que usted ha presentado los votos aprobatorios del Honorable Jurado, designado para su evaluación de posgrado, de la tesis titulada: **“Rendimiento y calidad de grano de híbridos y variedades de maíz amarillo (*Zea mays* L.) en Chiapas”**, por este conducto le comunico que se le autoriza la impresión del documento, de acuerdo a los lineamientos vigentes de la Universidad.

Sin otro particular, le envío un cordial saludo.

ATENTAMENTE
“POR LA CONCIENCIA DE LA NECESIDAD DE SERVIR”



M. C. CARLOS ALBERTO VELÁZQUEZ SANABRIA
ENCARGADO DE LA DIRECCIÓN

C. c. p. Archivo

CAVS*MARH.



Código: FO-113-09-05

Revisión: 0

CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DE LA TESIS DE TÍTULO Y/O GRADO.

El (la) suscrito (a) David Rincón Espinosa,
Autor (a) de la tesis bajo el título de "Rendimiento y calidad de grano de híbridos y variedades de maíz amarillo (Zea mays L.) en Chiapas"
presentada y aprobada en el año 20 21 como requisito para obtener el título o grado de Maestro en Ciencias en Producción Agropecuaria Tropical, autorizo a la Dirección del Sistema de Bibliotecas Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH), a que realice la difusión de la creación intelectual mencionada, con fines académicos para que contribuya a la divulgación del conocimiento científico, tecnológico y de innovación que se produce en la Universidad, mediante la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Consulta del trabajo de título o de grado a través de la Biblioteca Digital de Tesis (BIDITE) del Sistema de Bibliotecas de la Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH) que incluye tesis de pregrado de todos los programas educativos de la Universidad, así como de los posgrados no registrados ni reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad del CONACYT.
- En el caso de tratarse de tesis de maestría y/o doctorado de programas educativos que sí se encuentren registrados y reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), podrán consultarse en el Repositorio Institucional de la Universidad Autónoma de Chiapas (RIUNACH).

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; a los 06 días del mes de febrero del año 20 21.

David Rincón Espinosa

Nombre y firma del Tesista o Tesistas

DEDICATORIA

A la memoria de mi padre **José María Rincón Rodríguez**, que a través de sus enseñanzas sembró en mí el amor a la agricultura.

A mi madre **Isabel Espinosa Pérez**, quien me brinda todos los días ese amor incondicional y me motiva a seguirme superando.

A mi esposa **Yamile Monserrat Castañón Corzo**, quien siempre ha estado a mi lado motivándome para lograr la culminación de mis estudios.

A mis hijos **Héctor y David**, quienes son fuente de inspiración y motivación para seguirme superando, y que a través de mi ejemplo, ellos logren su superación personal.

AGRADECIMIENTO

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento económico otorgado para realizar y culminar los estudios de Maestría.

A la Universidad Autónoma de Chiapas por aceptarme dentro de su programa de Maestría, a los docentes e investigadores por compartir sus conocimientos y contribuir en mi formación profesional.

Al Campo Experimental Centro de Chiapas del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP); a los investigadores y trabajadores por las facilidades otorgadas durante la realización de los experimentos.

Al personal del Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), por las facilidades otorgadas para realizar los ensayos en sus respectivos laboratorios de Calidad de Maíz.

Al Dr. Bulmaro de Jesús Coutiño Estrada, director de tesis, quien es mi mentor en la vida profesional, por el impulso continuo, su apoyo incondicional, amistad, consejos y motivación para la realización del posgrado y culminación de éste.

AL Dr. Víctor Antonio Vidal Martínez, por aceptar ser codirector de tesis, por su aportación en cada uno de los procesos en la elaboración del proyecto y por su puntual y acertada revisión para la culminación de esta tesis.

A la Dra. María Gricelda Vázquez Carrillo, asesora de tesis, por su orientación y consejos durante la realización del trabajo de laboratorio, así como su puntual revisión del escrito de tesis y la culminación de este.

Al Dr. Francisco Javier Cruz Chávez, asesor de tesis, por su amistad, orientación y puntual revisión para la culminación de la tesis.

Al Dr. Humberto León Velasco, por su puntual y minuciosa revisión del escrito para la culminación de la tesis.

A la Dra. Natalia Palacios Rojas, por aceptar la realización de mi estancia profesional en el Laboratorio de Calidad Nutricional de Maíz “Evangelina Villegas” del CIMMYT.

En general, a cada una de las personas que de una u otra manera contribuyeron en la realización y culminación del posgrado.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS



Esta tesis titulada **“RENDIMIENTO Y CALIDAD DE GRANO DE HÍBRIDOS Y VARIEDADES DE MAÍZ AMARILLO (*Zea mays* L.) EN CHIAPAS”**, forma parte del proyecto de investigación **“SELECCIÓN DE HÍBRIDOS Y VARIEDADES MEJORADAS DE MAÍZ AMARILLO PARA EL TRÓPICO DE CHIAPAS”**, financiado con recursos fiscales del **INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRÍCOLAS Y PECUARIAS (INIFAP)**, con número de registro 1337134492, en el Sistema Institucional de Registro de Investigación del INIFAP, bajo la dirección del Dr. Bulmaro de Jesús Coutiño Estrada.

Se incluye en la Línea de Generación y Aplicación del Conocimiento (LGAC): **Caracterización de Recursos Fitogenéticos, del CUERPO ACADÉMICO RECURSOS FITOGENÉTICOS TROPICALES.**

Así como en la Línea de Generación y Aplicación del Conocimiento: **CARACTERIZACIÓN Y CONSERVACIÓN DE RECURSOS GENÉTICOS**, del Programa de Maestría en Ciencias en Producción Agropecuaria Tropical.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN
AGROPECUARIA TROPICAL



Esta tesis titulada "RENDIMIENTO Y CALIDAD DE GRANO DE HÍBRIDOS Y VARIEDADES DE MAÍZ AMARILLO (*Zea mays* L.) EN CHIAPAS", bajo la dirección y asesoría del Comité Tutorial indicado, ha sido aprobada como requisito parcial para obtener el grado de MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA TROPICAL.

COMITÉ TUTORIAL

DIRECTOR

DR. BULMARO DE JESÚS COUTIÑO ESTRADA

CODIRECTOR

DR. VÍCTOR ANTONIO VIDAL MARTÍNEZ
(INIFAP)

ASESORES

DR. MARÍA GRICELDA VÁZQUEZ CARRILLO (INIFAP)

DR. FRANCISCO JAVIER CRUZ CHÁVEZ



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN
AGROPECUARIA TROPICAL



Esta tesis titulada "RENDIMIENTO Y CALIDAD DE GRANO DE HÍBRIDOS Y VARIETADES DE MAÍZ AMARILLO (*Zea mays* L.) EN CHIAPAS", ha sido aprobada por la Comisión Revisora como requisito parcial para obtener el grado de MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA TROPICAL.

COMISIÓN REVISORA

DR. BULMARO DE JESÚS COUTIÑO ESTRADA

DR. VÍCTOR ANTONIO VIDAL MARTÍNEZ

DR. HUMBERTO LEÓN VELASCO

CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
RESUMEN	xv
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo general	2
1.2 Objetivos particulares	2
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Importancia y producción de maíz en el mundo	3
2.2 Importancia y producción del maíz en México	4
2.3 Rendimientos de híbridos y variedades amarillas.....	7
2.4 Elaboración de tortillas.....	8
2.4.1 Componentes físicos del grano para la elaboración de tortillas.....	9
2.5 Calidad nutricional del maíz amarillo	10
2.5.1 Carotenos en maíz amarillo.....	10
2.5.2 Contenido de almidón, aceite y proteína en maíz amarillo	11
3. MATERIALES Y MÉTODOS	13
3.1 Evaluación agronómica de híbridos y variedades.....	13
3.1.1 Localidades de prueba	13
3.1.1.1 Precipitación pluvial en las localidades de prueba.....	13
3.1.1.2 Características físicas y químicas de los suelos de evaluación.....	14
3.1.2 Material genético	16
3.1.3 Diseño experimental.....	16
3.1.4 Preparación del terreno y siembra.....	17
3.1.5 Cuidados culturales	18
3.1.6 Caracteres medidos.....	19
3.1.7 Análisis estadístico	21
3.2 Evaluación de la calidad física y química de grano.....	21
3.2.1 Localización del área de estudio	21

3.2.2 Material genético	21
3.2.3 Evaluación de las características físicas del grano	22
3.2.4 Evaluación de la calidad de tortilla.....	23
3.2.5 Determinación del contenido de aceite, proteína y almidón en grano	27
3.2.6 Determinación del contenido de carotenoides totales, lisina y triptófano en grano	28
3.2.7 Perfil de carotenos en grano y tortilla	29
3.2.8 Análisis estadísticos	32
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
4.1 Comparación de los caracteres de planta de los genotipos evaluados	33
4.2 Comparación de los caracteres de mazorca y rendimiento de grano	37
4.3 Correlación y regresión múltiple entre el rendimiento de grano y los caracteres de planta y mazorca	46
4.4 Características físicas del grano	48
4.5 Calidad del nixtamal, masa y tortilla de maíces amarillos.....	51
4.6 Comparación de las características químicas de grano.....	56
4.7 Contenido de carotenos en tortillas de maíz amarillo	62
4.8 Retención de carotenos en tortilla con respecto al grano	64
4.9 Correlación entre los caracteres físicos y químicos de grano y tortilla.....	67
5. CONCLUSIONES	71
6. LITERATURA CITADA.....	72
7. ANEXOS.....	82

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Relación de material genético de híbridos, variedades mejoradas y variedades nativas evaluadas en tres localidades de Chiapas	16
Cuadro 2. Cuadrados medios de los caracteres de planta de los genotipos evaluados en P.V. 2018 y 2019.....	33
Cuadro 3. Medias de caracteres de plantas por año de cada localidad.....	34
Cuadro 4. Medias de los caracteres de planta de los genotipos evaluados en P.V. 2018 y 2019.....	35
Cuadro 5. Cuadrados medios de los caracteres de mazorca y rendimiento de grano de los genotipos evaluados en P.V. 2018 y 2019.....	38
Cuadro 6. Comparación de medias entre localidades de los caracteres de mazorca de los genotipos evaluados en P.V. 2018 y 2019.....	39
Cuadro 7. Comparación de medias de los caracteres de mazorca de los genotipos.....	40
Cuadro 8. Comparación de medias de los híbridos y variedades amarillas en los dos años de evaluación	44
Cuadro 9. Coeficiente de correlación entre rendimiento de grano y caracteres de planta y mazorca	47
Cuadro 10. Análisis de regresión múltiple entre rendimiento y algunos caracteres de planta y mazorca	47
Cuadro 11. Cuadrados medios y significancia de las características físicas de grano de 10 genotipos evaluados en P.V. 2019.....	49
Cuadro 12. Comparación de medias de las características físicas de grano de los genotipos evaluados en tres localidades de Chiapas en P.V. 2019	50
Cuadro 13. Comparación de medias de las características físicas de grano de los genotipos evaluados en tres localidades de Chiapas. P.V. 2019	51
Cuadro 14. Cuadrados medios de las características de nixtamal, masa y tortilla de 10 genotipos evaluados en P.V. 2019	52
Cuadro 15. Comparación de medias entre localidades de las características de nixtamal, masa y tortilla de los genotipos de maíz amarillos evaluados en tres localidades de Chiapas. P.V. 2019.....	55
Cuadro 16. Comparación de medias de las características de nixtamal, masa y tortilla entre genotipos de maíz amarillo evaluados en tres localidades de Chiapas. P.V. 2019.....	55
Cuadro 17. Cuadrados medios de las características químicas de maíces amarillos producidos en tres localidades de Chiapas en P.V. 2019	56
Cuadro 18. Comparación de medias entre localidades de componentes químicos en maíces amarillos de Chiapas, producidos en P.V. 2019	57
Cuadro 19. Comparación de medias de las características químicas de grano de los genotipos evaluados agrónomicamente en P.V. 2019	58

Cuadro 20. Cuadrados medios y significancia del contenido de carotenoides en grano de cuatro genotipos de maíz amarillo evaluados agronómicamente en P.V. 2019	59
Cuadro 21. Comparación de medias del contenido de carotenoides y provitamina A en grano entre localidades de los genotipos evaluados agronómicamente en P.V. 2019.....	60
Cuadro 22. Comparación de medias en el contenido de carotenoides en grano de los cuatro genotipos de maíz amarillo evaluados agronómicamente en P.V. 2019	61
Cuadro 23. Cuadrados medios y significancia del contenido de carotenos en tortillas de cuatro genotipos evaluados agronómicamente en P.V. 2019	62
Cuadro 24. Comparación de medias del contenido de carotenos en tortillas por localidad de los cuatro genotipos evaluados agronómicamente en P.V. 2019	63
Cuadro 25. Comparación de medias del contenido de carotenos en tortillas de cuatro genotipos amarillos evaluados en tres localidades en P.V. 2019.....	64
Cuadro 26. Correlación de los caracteres físicos y químicos de grano y caracteres físicos de tortilla de los genotipos amarillos evaluados en P.V. 2019	69
Cuadro 27. Correlación entre color de grano y tortilla con respecto a carotenos en grano y tortilla.....	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Muestras de suelo de las tres localidades: de izquierda a derecha Jiquipilas, Villaflores y Ocozocoautla	15
Figura 2. Diseño Látice triple rectangular 7 x 3 para el ensayo de híbridos y variedades.....	17
Figura 3. Siembra de los experimentos: a) Trazado de las fajas y puntos de siembra, b) distribución de sobre con semillas y c) distribución de semillas en los puntos de siembra.....	18
Figura 4. Cosecha de experimentos. a y b) Conteo y selección de mazorcas sanas y c) pesado de mazorcas en campo	19
Figura 5. Capturando fechas de floración femenina y masculina.....	19
Figura 6. Midiendo caracteres: a) longitud de mazorca, b) diámetro de mazorca, y c) humedad de grano	20
Figura 7. Equipo para medir caracteres físicos de grano: a) Determinador de humedad marca Steinlite, b) balanza de densidad, c) prueba de índice de flotación con nitrato de sodio, d) peso de 100 granos y e) color de grano con el equipo MiniScan XE Plus	23
Figura 8. a) Lavado de nixtamal, b) molienda del nixtamal, c) masa acondicionada y d) elaboración de tortilla	24
Figura 9. Equipo utilizado para determinar humedad en nixtamal, masa y tortilla, porcentaje de sólidos perdidos y peso de tortillas: a y e) balanza analítica, b) horno de secado, c) probetas y vasos de precipitado y d) desecador.....	25
Figura 10. Prueba de fuerza de ruptura en tortilla con el texturómetro Brookfield® modelo CT3.....	27
Figura 11. Evaluación de color en tortilla con el colorímetro Hunter Lab	27
Figura 12. Equipo Infratec 1241	28
Figura 13. Equipo Nirsystems FOSS	28
Figura 14. a) Equipo de liofilización LABCONCO, b) molino MM400 Retsch y c) muestras de tortillas liofilizadas para ser molidas	29
Figura 15. a) Molino de discos modelo Falling Number tipo 3303 y c) refinando la harina en el molino ciclónico modelo FOSS Tecator Cyclotec 1093	30
Figura 16. a) Baño maría (digital) marca Polyscience, b) Centrífuga marca Beckman Coulter, Allegra X-12, c) Proceso de extracción de exano, d) Evaporador con nitrógeno gaseoso e y f) cromatógrafo marca Waters, Acquity UPLC..	31
Figura 17. Comparación del rendimiento de grano entre localidades de los genotipos evaluados en P.V. 2018 y 2019.....	42
Figura 18. Efecto de la nixtamalización sobre las mayores fracciones de xantofilas en grano y tortillas de maíces amarillos evaluados en P.V. 2019	65

Figura 19. Efecto de la nixtamalización en las fracciones de carotenos precursores de provitamina A, en grano y tortillas de maíces amarillos evaluados en P.V. 2019	66
Figura 20. Efecto de la nixtamalización en las concentraciones de provitamina A, en grano y tortillas de maíces amarillos evaluados en P.V. 2019	67

RESUMEN

En México se importan anualmente más de 13 millones de toneladas de maíz amarillo, principalmente del país vecino Estados Unidos. El principal destino de este grano es para el sector pecuario (76 %), las industrias de almidones (18 %), autoconsumo (2 %), así como para las industrias de cereales (2 %) y botanas (2 %), por lo que el Gobierno mexicano ha implementado estrategias para disminuir la importación, siendo una de ellas el incrementar la producción nacional a través de sus diferentes programas de gobierno.

En Chiapas, a pesar de que el estado ocupa el tercer lugar contribuyendo con el 14 % de la producción nacional de maíz amarillo, se vive igual que a nivel nacional la carencia de este tipo de grano, por lo que, el objetivo de la presente investigación fue evaluar en los ciclos agrícolas de temporal de los años 2018 y 2019 y en tres localidades del centro del estado de Chiapas, diferentes híbridos y variedades mejoradas formadas en los Campos Experimentales del INIFAP de los estados de Tamaulipas, Jalisco, Estado de México, Veracruz y Chiapas, así como cuatro variedades nativas de maíz Olotillo, para detectar al menos un híbrido una variedad mejorada y una variedad nativa que tengan buenos rendimientos y buenas características de mazorca, y al mismo tiempo, identificar la calidad de grano y tortilla en los genotipos sobresalientes.

Los experimentos se establecieron utilizando el diseño Ládice triple 7x3, la unidad experimental se formó de dos surcos de cinco metros de longitud, a una separación de 0.75 m entre surcos y 20 cm de distancia entre plantas, el rendimiento de grano (Rend) en $t\ ha^{-1}$ se ajustó al 14 % de humedad. En el laboratorio de calidad de maíz de CEVAMEX-INIFAP se realizaron los análisis de calidad física de granos y de tortilla, y en el laboratorio de calidad nutricional de maíz del CIMMYT se realizaron las evaluaciones químicas en grano (proteína, almidón, aceite, proteína, lisina y triptófano) y de tortilla (contenido de carotenoides).

El rendimiento promedio en las tres localidades durante los dos ciclos de evaluación fue de $3.6\ t\ ha^{-1}$, estadísticamente, los mejores rendimientos se obtuvieron en Villaflores y Jiquipilas en el ciclo agrícola de temporal de 2018 con 4.187 y $3.802\ t\ ha^{-1}$, respectivamente. Se identificaron los híbridos H-443A y REMACO-15A con rendimientos promedio de 5.7 y $5.5\ t\ ha^{-1}$, respectivamente, igualando estadísticamente a los híbridos comerciales Castaño y 24-Kilates. La Pob.Am.C1 fue la variedad mejorada que tuvo rendimiento promedio por arriba de las $4\ t\ ha^{-1}$, manteniéndose por arriba de las otras variedades mejoradas. Dentro de los maíces nativos evaluados, la población Olotillo-A1 fue estadísticamente superior con rendimiento promedio de $2.992\ t\ ha^{-1}$.

Los genotipos H-443A, Pob.Am.C1 y Olotillo-A1 sobresalientes en rendimiento de grano y la variedad experimental Pob.Am.C3, la cual se incluyó en el análisis de grano, tienen características físicas de grano con rangos de 79.5 – 74.5 kg hL⁻¹ de peso hectolítrico y 6.0 – 50.5 de índice de flotación, en tortilla rindieron 1.6 – 1.5 kg por kilogramo de maíz procesado. Todos los genotipos cumplieron los requerimientos mínimos establecidos por la Norma Mexicana NMX-FF-034/1-2002 para su uso en la industria de la masa y la tortilla.

El contenido de carotenoides totales en grano fue de 7.34 µg g⁻¹ de materia seca, siendo Pob.Am.C1 y Olotillo-A1 los sobresalientes con 9.65 y 7.93 µg g⁻¹, respectivamente. El contenido de aceite fue de 4.44 %, siendo la variedad Pob.Am.C1 la sobresaliente con 4.7 %. El promedio de proteína fue de 10.55 %, sobresaliendo la variedad nativa Olotillo-A1 con 11.8 %.

El contenido de β-criptoxantina, β-caroteno y provitamina A en grano de los genotipos Olotillo-A1 (3.07, 1.2, 3.7 µg g⁻¹), Pob.Am.C3 (2.82, 1.13, 3.44 µg g⁻¹), Pob.Am.C1 (2.73, 1.09, 3.33 µg g⁻¹) y H-433A (2.64, 0.95, 3.09 µg g⁻¹) fue el característico de maíces normales, donde la variedad nativa mostró ser estadísticamente superior a las variedades mejoradas y al híbrido. Aunque en tortilla, la variedad Pob.Am.C3 fue estadísticamente superior, reteniendo el 100 % de los carotenos precursores de provitamina A.

Se identificó al híbrido H-443 A con rendimientos arriba de 5 t ha⁻¹, a la Pob.Am.C1 con rendimientos arriba de 4 t ha⁻¹ y una variedad nativa con rendimientos de hasta 3 t ha⁻¹, los cuales mostraron estabilidad en el rendimiento de grano en las tres localidades de prueba y que con buena distribución de las lluvias tienen la capacidad de incrementarlos. Estos materiales tienen las características deseables para la industria de la masa y la tortilla y con cantidades de carotenoides, aceite y proteína propios de un maíz amarillo normal.

Palabras clave: maíz, rendimiento, tortilla, carotenos.

1. INTRODUCCIÓN

Millones de agricultores mexicanos producen diversos genotipos o cultivares de maíz (*Zea mays* L.) bajo diversos sistemas de producción y condiciones agroclimáticas que varían en competitividad y eficiencia en diferentes regiones de México. El grano de maíz es la principal fuente de calorías en la dieta mexicana, se considera el patrimonio agrario y seguridad alimentaria, por lo que es el cultivo más importante de México desde el punto de vista económico, nutricional, social y político.

En México se produce anualmente un promedio de 23 millones de toneladas de maíz en aproximadamente 8.5 millones de hectáreas, de las cuales el 82 % proviene de variedades de grano blanco y el 18 % de variedades de grano amarillo. La producción nacional de maíz de grano blanco logra satisfacer el 99 % de las necesidades para el consumo humano, mientras que la producción de maíz de grano amarillo cubre el 29.5% de las necesidades nacionales, ya que se necesitan aproximadamente 14 millones de toneladas, destinadas principalmente para el procesamiento industrial y la alimentación animal. Debido al desabasto de maíz amarillo, México se ha visto en la necesidad de importar maíz de grano amarillo, principalmente del país vecino Estados Unidos, llegando a importar anualmente hasta 13 millones de toneladas, donde la industria de alimentos para ganado ocupa el 71 % de las importaciones, la industria para el almidón el 24 % y la industria para la elaboración de cereales y botanas ocupan alrededor del 4 % (SAGARPA, 2017; TIERRAFERTIL, 2017).

En Chiapas, actualmente se destinan alrededor de 704 mil hectáreas para la producción de maíz en grano, obteniéndose una producción promedio de 1.2 millones de toneladas, donde el 85 % de la producción es de grano blanco y el 14 % de grano amarillo, ocupando el estado el cuarto lugar en la producción nacional de maíz amarillo; el 87.6 % de la superficie sembrada se cubre con semilla de genotipos blancos y el 9.1 % con semilla amarilla, de las cuales el 74.4 % se siembra con semillas de variedades nativas y el 25.5 % con semilla de híbridos y variedades mejoradas de generaciones avanzadas. En el estado, y principalmente en la Depresión Central, la mayoría de los productores de maíz amarillo que utilizan semilla nativa y semilla mejorada de generaciones avanzadas para la producción, manifiestan que el precio de la semilla mejorada incrementa demasiado sus costos de producción; por lo general, entre los factores más importantes que explican el nivel de aceptación de semilla mejorada se pueden mencionar el tamaño del predio, el ingreso del productor, el precio de la semilla y el precio de otros insumos como los fertilizantes y plaguicidas. Las principales causas por las cuales el agricultor usa semillas nativas son la adaptación de éstas a las condiciones climáticas, el factor económico, así como la confianza y fe que los agricultores tienen en ellas (SIAP, 2010).

Por otro lado, las personas de las comunidades urbanas están acostumbradas a consumir tortillas de grano blanco por tradición y por influencia de las industrias de la harina nixtamalizada, quienes con su publicidad de “mientras más blanca la tortilla, es mejor”, han ocasionado que se estigmatice al maíz amarillo para consumo humano sin darse cuenta que se consumen en otros subproductos como son las tostadas, botanas, jarabes de maíz, etcétera. Las tortillas amarillas se consumen principalmente en las comunidades rurales donde el productor siembra sus variedades nativas para autoconsumo, porque consideran que las tortillas amarillas son más suaves y tienen mejor sabor que las de grano blanco. Se espera que en un futuro la tortilla de maíz amarillo vaya teniendo más aceptación entre las personas de las zonas urbanas.

El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) ha formado híbridos y variedades mejoradas para cultivarse en regiones tropicales, subtropicales y templadas del país, con objeto de ayudar a incrementar la producción de grano de maíz amarillo (Coutiño, 2018). Es por eso que en la presente investigación se evaluaron 21 genotipos de maíz amarillo, entre ellos, cuatro poblaciones de maíz de la raza Olotillo, cuatro híbridos de tres casas comerciales y 13 materiales entre híbridos y variedades mejoradas que han sido producidos por el INIFAP en sus diferentes campos experimentales ubicados en el país. En campo, se evaluaron durante dos ciclos agrícolas de temporal para conocer sus rendimientos de grano y sus principales caracteres de planta y mazorca, y en laboratorio se analizó el contenido nutricional y la calidad para la elaboración de tortillas de los mejores materiales con los objetivos siguientes:

1.1 Objetivo general

Evaluar diferentes híbridos, variedades mejoradas y variedades nativas de maíz amarillo para conocer su adaptabilidad y rendimiento en la región Central de Chiapas.

1.2 Objetivos particulares

- a) Identificar al menos un híbrido comercial, una variedad mejorada y una variedad nativa con mayor potencial de rendimiento.
- b) Conocer la calidad física y química de grano del híbrido, la variedad mejorada y la variedad nativa que resulten sobresalientes agrónomicamente.
- c) Conocer si los materiales sobresalientes en rendimiento de grano son aptos para su uso en la industria de la masa y la tortilla.
- d) Identificar el contenido de carotenoides totales en genotipos sobresalientes y el perfil de carotenos en grano y tortillas.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Importancia y producción de maíz en el mundo

El maíz ocupa el primer lugar de importancia a nivel mundial; tanto en volumen como en superficie producida, seguido del trigo y el arroz, debido a que actualmente existe una creciente tendencia en la diversificación de su uso, ya que se puede utilizar para consumo humano y pecuario, especialmente para la producción de pollo y cerdo; por otro lado, también se utiliza en la industria textil, química, de cosméticos y alimentos, en la elaboración de almidón, glucosa, dextrosa, fructosa, aceites, etanol, bebidas alcohólicas y botanas. También se obtienen otros productos utilizados como materia prima en la industria minera y electrónica (FAO, 1993; Acosta, 2009; Figueroa *et al.*, 2013; SIAP, 2012).

A nivel mundial se produce alrededor de 959.1 millones de toneladas, y ha venido incrementándose la producción a 1.134 millones de toneladas con datos obtenidos de ASERCA y CIMA (2019), donde los principales países productores de maíz son los Estados Unidos de América (EE.UU.), el cual contribuye aproximadamente con el 37 a 40 % de la producción, seguido por China, que aporta entre el 19 y el 21 %, Brasil entre el 6 y el 8 %, México entre el 3 y 4 % y Argentina con el 2.5 %; esta producción depende tanto de la superficie destinada a dicho cultivo, como de sus rendimientos. EE.UU. es el país que más superficie destina a este cultivo y cuenta con uno de los rendimientos nacionales más elevados del mundo (9.6 t ha^{-1}), razón por la cual es el primer productor de dicho grano, China destina casi la misma superficie a este cultivo, pero con menores rendimientos (5.3 t ha^{-1}), cuya producción es casi 50 % inferior a la de EE.UU. (Secretaría de Economía, 2012; FIRA, 2016). Los mayores rendimientos obtenidos en los últimos años por estos países se explican por el uso de cultivares de alto rendimiento y de tecnología de primera generación (Jurado *et al.*, 2013; González y Ávila, 2014; SAGARPA, 2017b; SIAP, 2019).

El maíz amarillo es el principal grano producido internacionalmente; entre 2004 y 2005, la producción mundial de maíz blanco promedió alrededor de 75.3 millones de toneladas. México es el principal productor de maíz blanco con 26 % del total mundial, seguido en importancia por Egipto, Nigeria y Sudáfrica con el 6 % cada uno. Aunque México es el principal productor, la oferta exportable en el ámbito mundial está dominada por Estados Unidos y Sudáfrica. El maíz blanco se cultiva casi exclusivamente para el consumo humano y tiene una enorme trascendencia para la nutrición y la seguridad alimentaria de países en desarrollo, especialmente en África y México. Por su parte, la mayor parte del maíz amarillo producido en el mundo es destinado a la alimentación animal y en menor medida al procesamiento industrial con fines de obtención de diferentes subproductos e insumos para diversas industrias. Recientemente el uso del maíz para la obtención de etanol ha tenido una gran

demanda principalmente en el mercado estadounidense. La producción de maíz blanco en Estados Unidos se realiza con miras en el mercado internacional, principalmente de acuerdo a las expectativas de producción en México, que es el destino de alrededor de 75 % de la producción de maíz blanco estadounidense (Polanco y Flores, 2008).

2.2 Importancia y producción del maíz en México

El maíz es un cultivo que se ha adaptado a una amplia diversidad de condiciones de explotación topográfica y climática; es considerada la principal especie cultivada en México desde tiempos ancestrales, considerando así, a México como centro de origen de esta extraordinaria planta (Acosta, 2009; Kato *et al.*, 2009; Serratos, 2009). Sus usos son tan diversos que van desde la elaboración de tortilla, como materia prima en la industria farmacéutica, en la química, en la aeronáutica, hasta en los más sofisticados procesos industriales, interviniendo así, de alguna manera en la elaboración de más de 2000 productos.

Millones de agricultores mexicanos producen diversos tipos de genotipos o cultivares en diversos sistemas de producción que varían en competitividad y eficiencia en diferentes regiones de México (García y Skaggs, 2015). En más del 75 % de la superficie agrícola se utilizan semillas de variedades locales, las cuales, además de estar adaptadas a las condiciones climáticas y tecnológicas de los productores, poseen características que les permiten responder a sus gustos y preferencias alimenticias, las cuales se identifican por ser producidas por los productores tradicionales, quienes las van transmitiendo de una generación a otra (Montes *et al.*, 2014), mismas que pueden tener sus orígenes a partir de materiales mejorados, sintéticos, híbridos, productos de la asociación “genotipo-ambiente”, ocasionando que evolucionen localmente, dando origen a modificaciones adaptadas de manera especial a las condiciones de esa zona (Fernández *et al.*, 2013).

El 25 % de la superficie agrícola del país destinada al cultivo de maíz se cubre con genotipos híbridos y variedades mejoradas, en su mayoría de materiales de grano blanco, muy utilizados en las industrias para la producción de harina para tortillas por sus características en la uniformidad del tamaño de grano, el color blanco cristalino y la sanidad. Por otro lado, no hay datos precisos para el área plantada con híbridos y variedades de polinización libre, por lo que no es posible estimar o predecir la adopción de semilla híbrida o variedades de polinización libre (García y Ramírez, 2014).

Desde la implementación del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) a finales de la década de los 80's (en el gobierno de 1988–1994) la producción de grano de maíz a nivel nacional fue decayendo porque los productores se han visto superados por los elevados costos de producción, donde los precios de los insumos, el uso de tecnología, los subsidios y el asesoramiento técnico están fuera

del alcance de la mayoría de los campesinos mexicanos, aunado a ello, el cambio climático que año con año presenta precipitaciones pluviales cada vez más escasas ocasionando sequías cada vez más prolongadas en las regiones tropicales y subtropicales del país. Son varios factores que ocasionan que la participación de los productores mexicanos en el mercado nacional de maíz vaya disminuyendo, mientras que la participación de los productores extranjeros vaya aumentando en el mercado nacional, lo que lleva al incremento de importación de maíz especialmente de grano amarillo (Bellon y Hellin, 2011; González y Ávila, 2014; Cadena, *et al.*, 2018).

Entre los años 2008 y 2010 se produjeron en promedio 22.5 millones de toneladas de grano de maíz cosechadas en 8.5 millones de hectáreas, donde el 92.6 % de la producción fue de grano blanco y el 7.4 % de grano amarillo (Ramírez *et al.*, 2017). En esos años la producción nacional de grano blanco logró satisfacer el 99 % del consumo nacional que fue de 21 millones de toneladas aproximadamente, mientras que la producción nacional de grano amarillo solamente logró satisfacer el 17 % del consumo nacional que fue 9.7 millones de toneladas, aproximadamente (García *et al.*, 2016). México ha venido incrementando sus importaciones, convirtiéndolo en uno de los mayores importadores a nivel mundial, comprando al exterior 8.15 millones de toneladas en 2012; 7 millones en 2013; más de 10 millones de toneladas en 2014; 8.15 millones de toneladas en 2015 y 12.7 millones de toneladas en 2016 (SAGARPA, 2017a; TIERRA FERTIL, 2017). El 76 % del maíz amarillo que México importa se utiliza principalmente en el sector pecuario para la elaboración de alimentos, entre 18 y 24 % se utiliza para la elaboración de almidón y sus derivados, para el autoconsumo se utiliza aproximadamente el 2 % y finalmente en los sectores de cereales y botanas se ocupan aproximadamente el 4 % (Tadeo *et al.*, 2012).

En el 2017 el consumo nacional de maíz amarillo se incrementó a más de 14 millones de toneladas y, aunque la producción de este grano se incrementó a 3.5 millones de toneladas, no se logró cubrir la demanda nacional, y se estima que para el 2030 el consumo nacional se incrementará de 14 a 23 millones de toneladas; también se pronostica que la producción nacional se incrementará de 3.5 a 4.9 millones de toneladas. Este incremento en la producción no alcanzará a cubrir la demanda de la población, por lo que es necesario trabajar en el incremento en la producción nacional para reducir las importaciones (SAGARPA, 2017a).

Una de las causas de la baja producción de maíz amarillo a nivel nacional es que apenas se siembra el 5 % del territorio nacional utilizando semilla mejorada y criolla; no se tienen datos sobre qué cantidad es sembrada con semillas mejoradas, pero se sabe que en el periodo de 2008-2010 se importaron 9600 toneladas de semilla de maíz amarillo, donde el 68.4 % se importó de Estados Unidos y de Brasil el 21.1 %. Es necesario aumentar la producción de maíz de grano amarillo para subsanar la demanda y reducir la importación, por lo que, el uso de semilla mejorada es un

elemento clave para alcanzar niveles competitivos en la producción, pues las condiciones ambientales afectan menos a los cultivares mejorados adaptados para una región dada, ya que la semilla mejorada aporta hasta 60 % del rendimiento final, por lo que es un insumo fundamental (Martínez *et al.*, 2017b).

Los estados líderes en producción de maíz amarillo y que contribuyen con el 88.5 % de la producción nacional son: Chihuahua (39.5 %), Jalisco (16.5 %), Tamaulipas (18 %) y Chiapas (14.5 %). La producción de este grano en Chiapas no es alentadora con respecto a la producción del resto del país, ya que de 1.2 millones de toneladas de maíz que se producen en las 704 mil hectáreas que se destinan a esta explotación, el 85.5 % es de grano blanco y el 14.5 % restante es de grano amarillo (García *et al.*, 2016). El 87.6 % de la superficie sembrada se cubre con semilla de genotipos blancos y el 9.1 % con semilla amarilla, de las cuales el 74.4 % se siembra con semillas de variedades nativas y el 25.5 % con semilla mejorada. Flores y García (2016) mencionaron que la tasa de adopción de semilla mejorada depende de factores económicos, sociales y geográficos; entre los factores más importantes que explican la tasa de adopción de semilla mejorada se pueden mencionar el tamaño del predio, el ingreso del productor, el precio de la semilla y el precio de otros insumos como los fertilizantes y los pesticidas. Delgado *et al.* (2018) afirman que las principales causas por las cuales el agricultor usa semillas nativas son la adaptación de éstas a las condiciones climáticas, su rendimiento, el factor económico, así como la confianza y fe que los agricultores tienen en ellas.

Actualmente, en el estado de Chiapas son pocas o nulas las empresas o Sociedades de producción dedicadas a la producción de semilla de grano amarillo adaptada a las condiciones climáticas del estado, en especial a las condiciones climáticas de la Depresión Central de Chiapas; esta región está constituida por 17 municipios, entre ellos, las localidades de Villaflores, Ocozocoautla y Jiquipilas, municipios donde los productores siembran principalmente semillas híbridas de grano blanco para comercializar con la empresa GRUMA, quien acaparaba esta producción hasta el 2016, año en que cerró las compras directas a los productores. En esta zona también se dedican a la ganadería, donde se destinaba la producción de grano de maíz que la empresa GRUMA les rechazaba por no pasar las normas de calidad que establecía. Muchos productores han cambiado la siembra de maíz blanco por el de grano amarillo para consumo pecuario y autoconsumo, pero están optando por sembrar variedades nativas o de variedades de generaciones avanzadas, porque las semillas de híbridos amarillos que ofertan las empresas transnacionales no han dado los rendimientos que prometen, aparte que tienen un costo elevado de adquisición, el cual está fuera del alcance del bolsillo del productor.

2.3 Rendimientos de híbridos y variedades amarillas

El mejoramiento genético formal de maíz en México se inició con la creación en 1907 del Departamento de Campos Experimentales, basándose en sus inicios en variedades criollas sobresalientes; en las décadas de los 50's, 60's y parte de los 70's en colectas, mezclas de colectas y de variedades superiores. En la década de los 70's se probaron más de 1000 colectas y con las sobresalientes se formaron poblaciones de amplia base genética, las cuales han sido desde entonces base del mejoramiento. En la actualidad éstas se enriquecen sistemáticamente con nuevos genes para características deseables, principalmente enfocados en incrementar el rendimiento de grano, mediante la ingeniería genética y recombinación natural en INIFAP, en el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), en el Colegio de Postgraduados (CP), en la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), entre otras universidades (Luna y Gutiérrez, 1998; Márquez, 2008).

Actualmente se tienen importantes avances en el mejoramiento genético en maíz y se han liberado un número importante de híbridos y variedades de polinización libre, principalmente de grano blanco, debido a que es el color de grano que se utiliza en la industria de la masa y la tortilla y de la harina nixtamalizada, porque la población de las zonas urbanas están acostumbradas a consumir ese tipo de grano, mientras que el maíz amarillo es utilizado para consumo humano principalmente en las zonas rurales, se espera que el consumo de tortilla de grano amarillo en las zonas urbanas vaya incrementando debido a que este tipo de grano ha mostrado tener propiedades nutricionales que favorecen en la nutrición, principalmente en niños y mujeres embarazadas con problemas de deficiencia de provitamina A (Rosales *et al.*, 2016).

En los últimos años se han generado híbridos y variedades amarillas, las cuales se han probado en diferentes regiones agronómicas con el fin de obtener materiales que se adapten y manifiesten caracteres de plantas y mazorcas deseables y un alto rendimiento, el cual a través de diversos estudios del INIFAP, se ha demostrado que el potencial de rendimiento de dichos maíces amarillos es genéticamente inferior al de los maíces blancos; por tal razón se han formado maíces amarillos a partir de patrones heteróticos de grano blanco para incrementar dicho potencial de rendimiento (Ramírez *et al.*, 2007). Reyes *et al.* (2009) evaluaron en diferentes localidades de Tamaulipas y Coahuila el híbrido H-443 A, el cual es un híbrido trilineal, cuyas líneas progenitoras manifestaron ser tolerantes a aflatoxinas (*Aspergillus flavus*) y lograron obtener en riego rendimientos promedio de 7 t ha⁻¹.

Coutiño *et al.* (2004) realizaron colectas de variedades nativas en la Meseta Comiteca, evaluaron y recombinaron genéticamente las mejores colectas en un ciclo de selección

de familias de medios hermanos maternos, logrando incrementar hasta 27 % el rendimiento de grano y liberaron la nueva variedad V-231A. Por otro lado, Coutiño *et al.* (2013) reportaron rendimientos de grano superiores a las 7 t ha⁻¹ en variedades formadas por Selección Combinada de la población Comiteca Amarilla, evaluadas en la Meseta Comiteca de Chiapas.

Coutiño *et al.* (2015a) presentaron como sobresalientes a tres híbridos experimentales de maíz amarillo que produjeron más de 10 t ha⁻¹ en Ocozocoautla, en siembras de temporal, y uno que rindió 9.5 t ha⁻¹ en Villaflores, durante el mismo ciclo agrícola.

Cabrera (2018) publicó que hay variedades criollas de grano color amarillo cultivadas en Ocozocoautla, las cuales tienen rendimientos que varían de 2.5 a 6.9 t ha⁻¹, por lo que recomienda el cultivo de la variedad Amarillo 4 por su mejor rendimiento de 6.9 t ha⁻¹.

Ramírez *et al.* (2017) reportaron rendimientos superiores a las 7 t ha⁻¹ del híbrido trilineal H-386A en temporal y superiores a las 9 t ha⁻¹ en riego, en trece localidades del país; en 2009 en la localidad de Ocozocoautla tuvo rendimientos de 9 t ha⁻¹ en temporal, también manifestó tener buena conversión de 1.4 – 2.0 kg de tortilla por cada kilogramo de grano empleado.

2.4 Elaboración de tortillas

Se considera al maíz como la principal fuente de calorías en la dieta mexicana, donde la tortilla es la forma más común y representa el 38.8 % de las proteínas, 45.2 % de las calorías y 49.1 % del calcio en el alimento diario de la población mexicana; en las zonas rurales provee aproximadamente el 70 % de las calorías y 50 % de las proteínas ingeridas diariamente por la población (Gómez, 2011; Retes *et al.*, 2014).

En México se tiene un consumo *per cápita* de 256 kg de maíz al año en diferentes formas, se consideran más de 300 productos alimenticios comúnmente consumidos, derivados de la nixtamalización del maíz, pero principalmente en forma de tortillas (Rosales *et al.*, 2016). La tortilla es un alimento de forma circular aplanada de 15 a 30 cm de diámetro y 0.2 a 0.6 cm de grosor, se elabora a partir de distintos tipos de maíz cocido con hidróxido de calcio, proceso conocido como nixtamalización. Este proceso implica cocinar los granos de maíz durante un tiempo de 35 a 50 minutos a temperaturas que varían de 80 a 95 °C, dejando reposar el nixtamal con el agua de cocción o nejayote durante 14 horas aproximadamente a temperatura ambiente. El proceso de cocción se rige por la calidad y cantidad de hidróxido de calcio (entre 0.5 a 3 % de Ca(OH)₂, la temperatura de cocción y la cantidad de agua (Vázquez *et al.*, 2012; González *et al.*, 2016).

2.4.1 Componentes físicos del grano para la elaboración de tortillas

Las industrias de la masa y la tortilla así como de harina nixtamalizada son cada vez más exigentes en la demanda de materia prima; necesitan que sea de calidad diferenciada y acorde con sus procesos. La industria de la harina nixtamalizada demanda maíces de granos de tamaño mediano a grande (peso de 100 granos 'PCG' > 33 g) que sea retenido en 90 % en la criba de 6/64", con índice de flotación (IF) menor a 20, proporción de endospermo córneo superior a 48 % y color de harina nativa superior a 77 de reflectancia, en tanto que la industria de la masa y la tortilla demanda maíces con un índice de flotación entre 13 y 62 que corresponde a granos duros a intermedios, con un peso hectolítrico mayor o igual a 74 kg hL⁻¹, pérdida de sólidos durante la nixtamalización menor a 5 % y rendimiento de tortilla mayor o igual a 1.5 kg por kilogramo de maíz procesado (Vázquez *et al.*, 2012; López *et al.*, 2017).

La Norma Mexicana NMX-FF-034/1-2002 establece las características de calidad comercial que debe reunir el maíz de consumo humano, para la elaboración de tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado, como son:

1. Humedad. Es importante evaluar la humedad en el grano de maíz para determinar la calidad del grano con fines de comercialización. En general, el costo del maíz se determina tomando como referencia un contenido de humedad de 14%. El manejo de granos con mayor contenido de humedad es más costoso porque debe secarse al aire o al horno, de lo contrario, se deteriorará rápidamente. También contendrá menos sólidos y, por lo tanto, producirá menos masa y menos tortillas.

2. Densidad (peso hectolítrico). El peso hectolítrico está asociado con la densidad aparente real del grano y, por lo tanto, con la textura (dureza) del endospermo y su salud. Los granos que han sido dañados por los insectos tienen valores de peso hectolítrico más bajos que los granos sanos, mientras que los granos con endospermo duro tienen una mayor densidad aparente. Los lotes de granos con mayor humedad del grano tienen menor peso hectolítrico. La forma y el tamaño del grano son importantes al determinar el peso hectolítrico porque influyen en la forma en que los granos se depositan en el recipiente de prueba. Otro factor importante es la densidad intrínseca, que depende de la estructura física y la composición química del grano, además de su humedad. En la elaboración de tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado de calidad comercial, se considera que el grano deberá tener una densidad mínima de 74 kg hL⁻¹ (Palacios *et al.*, 2016; Vázquez *et al.*, 2012).

3. Dureza del grano. Éste parámetro determina la capacidad del grano para absorber y retener agua durante las diferentes etapas del proceso de nixtamalización y remojo del grano. Los granos blandos se hidratan más rápidamente y absorben más agua en comparación con los maíces duros. La dureza del endospermo de maíz es quizá la

característica más importante, tanto para la molienda en seco, como para la molienda en húmedo. También es crucial para la durabilidad del grano durante el almacenamiento, el transporte y la comercialización del grano (Palacios *et al.*, 2016).

Se han desarrollado diferentes métodos para determinar la dureza del grano, tanto para la elaboración de tortillas como para el manejo, conservación y comercialización del grano de maíz. Se han detectado dos factores importantes que contribuyen en la precisión al momento de determinar la dureza del grano: la humedad es uno de ellos; mientras más alto sea el porcentaje de humedad del grano el endospermo es más suave, y la homogeneidad de la muestra; cuanto mayor sea la heterogeneidad de la muestra, menor es la precisión de los datos (*Op cit.*).

El índice de flotación es uno de los métodos utilizados para determinar la dureza del grano, se basa en el número de granos que flotan en una solución de referencia, esto depende de la densidad del grano frente a la densidad del nitrato de sodio (NaNO_3), por lo que, cuanto más duro es el grano, menor es su valor de índice de flotación. Dado que la humedad del grano influye mucho en el resultado, es recomendable que todas las muestras tengan el mismo porcentaje de humedad (Palacios *et al.*, 2016; Salinas y Vázquez, 2006).

Los maíces con índice de flotación de 0 a 12 se consideran maíces muy duros (MD), de 13 a 37 son maíces duros (D), de 38 a 62 son intermedios (I), de 63 a 87 suaves (S) y de 88 a 100 muy suaves (MS). Para la elaboración de tortillas se necesitan maíces con índice de flotación de 40 máximos, que corresponden a maíces con dureza intermedia (*Op cit.*).

4. Pérdida de sólidos. En el proceso de nixtamalización se pierden sólidos de los granos, los cuales quedan en el agua de cocción o nejayote, el porcentaje de sólidos determina la cantidad que se pierde (sean solubilizados o desprendidos durante la etapa de cocción) y la cantidad de agua absorbida tiene influencia en el rendimiento de tortillas; el porcentaje máximo permitido en la pérdida de sólidos es de 5 % (Cruz, *et al.*, 2013).

2.5 Calidad nutricional del maíz amarillo

2.5.1 Carotenos en maíz amarillo

Actualmente se están realizando investigaciones para encontrar genotipos mejorados de maíz amarillo que contengan altos contenidos de carotenos, los cuales algunos se conocen como carotenos precursores de la vitamina A (retinol) y otros retinoides relacionados que juegan un papel importante en el ciclo visual y en la regulación de genes vinculados a muchos procesos fisiológicos y del desarrollo (Bonet *et al.*, 2017;

Mellado y Hornero, 2017). La deficiencia de vitamina A es responsable de una amplia gama de mortalidad, morbilidad, ceguera nocturna, xeroftalmia, problemas de glándulas lagrimales, piel escamosa o de sapo, trastornos inmunes y vulnerabilidad a enfermedades infecciosas (Bonet *et al.*, 2017). Maqbool *et al.* (2017) y Suwarno *et al.* (2019) mencionaron que la vitamina A de origen vegetal se llama caroteno de provitamina A, compuesto de α -caroteno, β -caroteno y β -criptoxantina. Estos carotenos de provitamina A están comúnmente presentes en diferentes frutas, verduras, legumbres y cultivos de cereales. Entre estos cultivos, el maíz es el más apropiado para el objetivo de biofortificación de provitamina A, debido a la mayor variabilidad genética potencial de los carotenos de provitamina A, mayor biodisponibilidad, menor relación de bioconversión y fácil de incorporar en la dieta diaria en las comunidades con alto nivel de marginación.

Manjeru *et al.* (2019) evaluaron 30 híbridos amarillos en diferentes condiciones ambientales y bajo diferentes niveles de estrés con el objetivo de conocer cómo afecta la interacción genotipo-ambiente la concentración de carotenos en el grano; observaron diferencias altamente significativas entre híbridos, localidades y en la interacción híbridos por localidades para β -caroteno, donde los 30 híbridos evaluados variaron de 4.29 a 12.55 $\mu\text{g g}^{-1}$ en condiciones óptimas, de 2.24 a 4.18 $\mu\text{g g}^{-1}$ en condiciones de sequía y de 1.85 a 4.40 $\mu\text{g g}^{-1}$ en condiciones de bajo nitrógeno.

Muzhingi *et al.* (2016) publicaron variaciones de β -criptoxantina (BCX) y β -caroteno (BC) de 3 a 7.1 $\mu\text{g g}^{-1}$ y 2.1 a 7.2 $\mu\text{g g}^{-1}$, respectivamente y mencionaron que el contenido de BCX y BC en el maíz amarillo normal oscila de 0.3 a 5.5 $\mu\text{g g}^{-1}$ y de 0.3 a 4.7 $\mu\text{g g}^{-1}$, respectivamente. Por otro lado, Maqbool *et al.* (2017) afirman que los maíces con cantidades de 4 a 8 $\mu\text{g g}^{-1}$ de provitamina A (PVA) son considerados como biofortificados de primera generación.

2.5.2 Contenido de almidón, aceite y proteína en maíz amarillo

El grano de maíz contiene de 67.8 a 74.0 % de almidón, de 8.1 a 11.5 % de proteína y de 3.9 a 5.8 % de aceite o grasa, distribuidos en el endospermo, embrión, pericarpio y pedicelo; el endospermo contiene alrededor de 88 % de almidón, 1 % de aceite y 8 % de proteína, mientras que el embrión tiene 8 % de almidón, 33 % de aceite y 18 % de la proteína del grano. De ellos se obtiene una gran variedad de productos destinados a la alimentación humana y animal, así como para las industrias de aceite (como grasas comestibles), farmacéuticos, cosméticos, adhesivos, textil, plásticos biodegradables, alcohol, licores, cerveza y diferentes tipos de almidón para usos específicos, los cuales son obtenidos a través del proceso industrial de molienda húmeda o seca. Actualmente, el mejoramiento genético está enfocado en incrementar el contenido de estos componentes del grano para utilizarlos en la nutrición humana y en el uso pecuario (FAO, 1993; Torres *et al.*, 2010).

Coutiño *et al.* (2008a) realizaron dos ciclos de selección recurrente de familias de medios hermanos en la variedad de maíz "Teopisca A" encontrando cambios significativos en caracteres de mazorca y grano, al incrementar la longitud, el peso y el número total de granos por mazorca, además, lograron ganancias en peso de grano y en contenido de aceite (4.9 %), asociados con reducciones en contenido de proteína. Por otro lado, Torres *et al.* (2010) en tres ciclos de selección recurrente en la población Teopisca Amarillo lograron incrementar en un 9.3 % el contenido de aceite a través de los ciclos de selección mostrando correlación positiva con el porcentaje de germen y negativa con la proporción de endospermo; el porcentaje de endospermo fue de 83.8 % de la variedad original y 83.3 % en el ciclo 3 de selección.

Vázquez *et al.* (2014) evaluaron la composición química del grano de maíces con diferentes contenidos de aceite y su relación con la calidad y textura de las tortillas recién elaboradas y almacenadas en maíces con endospermo normal, alto contenido de aceite y alta calidad proteica, encontrando que de los maíces con alto contenido de aceite se obtenían las tortillas con mayor contenido de aceite y proteína, así como las más suaves y con mayor elongación. Mencionan que el aceite se encuentra principalmente en el germen y cuando su tamaño incrementa, también aumenta el contenido de aceite y mejora la calidad de la proteína, debido a que está constituido principalmente por albúmina y globulina con un balance adecuado de aminoácidos.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Evaluación agronómica de híbridos y variedades

3.1.1 Localidades de prueba

Este ensayo se estableció en los ciclos agrícolas de temporal (P.V.) de 2018 y 2019 en las localidades de Villaflores, Ocozocoautla y Jiquipilas, Chiapas; específicamente en el Campo Experimental San Ramón de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la UNACH, en el Campo Experimental Centro de Chiapas del INIFAP y en el Campo Experimental de la Escuela Preparatoria Agropecuaria de Jiquipilas.

Estos tres municipios se ubican fisiográficamente dentro de la Depresión Central de Chiapas. El Campo Experimental San Ramón está ubicado a 5 km de Villaflores, con coordenadas entre los 16° 25' 88" de latitud Norte y los 93° 26' 21.86" de longitud Oeste, con una altitud de 560 m; el Campo Experimental del INIFAP se ubica en las coordenadas 16° 78' 34.01" latitud Norte y 93° 40' 32.72" longitud Oeste, a una altitud de 781 m y el Campo Experimental de la Preparatoria de Jiquipilas se ubica en las coordenadas 16° 68' 12.28" latitud Norte y 93° 65' 98.15" longitud Oeste a 544 m de altitud. El clima que predomina en esta zona es de tipo cálido subhúmedo con lluvias en verano (García, 2004; INEGI, 2017).

3.1.1.1 Precipitación pluvial en las localidades de prueba

La precipitación pluvial acumulada desde el 1 de junio al 31 de octubre de 2018 fue de 992 mm en Villaflores, 821 mm en Jiquipilas y 556 mm en Ocozocoautla, para el año 2019 en ese mismo periodo fueron de 959, 634 y 557 mm, respectivamente. En la localidad de Ocozocoautla se registraron tres periodos secos durante el 2018: del 29 de junio al 26 de julio se registró sólo 9.9 mm; que fueron los 21 días más secos, del tres al 16 de agosto, fueron 14 días donde solo se registró 8 mm de agua, y del 28 de septiembre al 11 de octubre se registró 1.3 mm, mientras que, las máximas precipitaciones registradas en esta localidad se distribuyeron en seis semanas en rangos de 55 a 69 mm. Para el ciclo de 2019, los periodos más secos fueron del 22 de junio al 5 de julio con 19 mm, del 13 de julio al dos de agosto con 5.1 mm y del 10 al 23 de agosto con 21.9 mm. Del 31 de agosto al 25 de octubre las máximas precipitaciones registradas fueron de 30.5 mm en la semana del 28 de septiembre al 4 de octubre y de 31.9 mm del 12 al 18 de octubre (Cuadro 1A) (CONAGUA, 2019).

En la localidad de Villaflores, los periodos más secos fueron del 29 de junio al 19 de julio con 65.5 mm y del 20 de julio al 2 de agosto no se registraron precipitaciones, del 14 al 20 de septiembre se registraron 21 mm y del 21 de septiembre al 11 de octubre no se presentaron precipitaciones. En 2019 los periodos con menos de 30 mm de

precipitación fueron la semana del 29 de junio al 5 de julio (15.5 mm), del 13 al 19 de julio (18 mm), del 20 al 26 de julio (25.2 mm), del 27 de julio al 2 de agosto (7.5 mm), del 24 al 30 de agosto (29 mm), del 31 al 6 de septiembre (16 mm), del 21 al 27 de septiembre (19 mm), del 28 al 4 de octubre (16 mm) y del 5 al 30 de octubre no se presentaron precipitaciones (Cuadro 1A) (*Op Cit.*)

Para la localidad de Jiquipilas en el año 2018, en las semanas donde se presentaron precipitaciones por arriba de los 50 mm fueron del 8 al 14 de junio (65.9 mm), del 22 al 28 de junio (93.9 mm), del 24 al 30 de agosto (79.1 mm), del 7 al 13 de septiembre (13.1 mm), del 12 al 18 de octubre (101.1 mm) y del 19 al 25 de octubre (63 mm). En 2019, en esa misma localidad, las precipitaciones por arriba de los 50 mm semanales fueron del 8 al 14 de junio (56.7 mm), del 6 al 12 de julio (117.80 mm), del 3 al 9 de agosto (64.5 mm), del 28 de septiembre al 4 de octubre (78 mm) y del 12 al 18 de octubre (55.5 mm) (Cuadro 1A) (*Op Cit.*)

Las precipitaciones en los dos años de evaluación no estuvieron homogéneamente distribuidas, ya que, aunque en el Cuadro 1A se muestran semanas con buenas precipitaciones, en muchos casos esos datos son de solo un día de lluvia, como en el caso de Jiquipilas en el 2018, donde la mayoría de las floraciones se presentaron entre el 28 de agosto y el 19 de septiembre y aunque se presentan semanas con precipitaciones por arriba de los 70 mm, más del 50 % se precipitó en un solo día, y las condiciones de temperatura, evaporación y lixiviación hacen que no toda el agua sea aprovechada por la planta.

En Ocozocoautla en 2018, la floración masculina y femenina de la mayoría de los genotipos se presentó entre el 20 de septiembre y el 8 de octubre, fechas en que las precipitaciones fueron las más bajas, y en 2019, las la floración masculina y femenina fue del 1 al 27 de septiembre, semanas donde las precipitaciones no superaron los 37 mm por semana.

En Villaflores, aunque las precipitaciones fueron mayores en comparación a las otras dos localidades, también presentó bajas precipitaciones durante los días de floración y es probable que la textura del suelo, que fue de tipo arcillo arenoso, ayudó a la poca retención del agua para las plantas.

3.1.1.2 Características físicas y químicas de los suelos de evaluación

Se realizó muestreo de suelo de los terrenos de prueba de los tres sitios experimentales antes de la siembra del año 2019. El método de muestreo fue en zigzag propuesto por Garrido (1994), tratando de realizar el mayor número de muestreos en toda el área del terreno (Figura 1). La profundidad de muestreo fue de 0 -30 cm para

obtener al final una muestra compuesta de 1 kg por sitio experimental. Las muestras se etiquetaron y se enviaron al laboratorio de la empresa Fertilab, de Celaya, Guanajuato, y los resultados se presentan a continuación.

El suelo del Campo Experimental de Ocozocoautla es de textura franco arcillosa, con capacidad de campo de 28.9 % (considerado alto), pH de 7.24 (moderadamente alcalino), punto de marchitez permanente de 17.2 % (alto), conductividad hidráulica de 2.5 cm h^{-1} (moderadamente bajo), densidad aparente de 1.18 g cm^3 , la materia orgánica fue moderadamente alta (2.56 %), moderadamente alto de nitrato (31.8 ppm), contenido medio de fósforo disponible (12.2 ppm) y Potasio en cantidades medias (208 ppm) (Cuadro 2A).

El suelo del Campo Experimental de Villaflores es de una textura franco arenosa, con capacidad de campo (13.7 %) moderadamente bajo, pH (6.16) moderadamente ácido, punto de marchitez permanente (8.15 %) moderadamente bajo, conductividad hidráulica (8.9 cm h^{-1}) muy alto, densidad aparente de 1.41 g cm^3 , la materia orgánica fue alto (2.32 %), contenido medio de nitrato (14.9 ppm), bajo en fósforo disponible (7.82 ppm) y bajo en potasio (109 ppm) (Cuadro 2A).

El suelo del Campo Experimental de Jiquipilas es de una textura franco arcillosa, con capacidad de campo alto (29.4 %), pH (8.03) alcalino, punto de marchitez permanente alto (17.5 %), conductividad hidráulica (2.0 cm h^{-1}) bajo, densidad aparente de 1.20 g cm^3 , la materia orgánica fue moderadamente alta (2.34 %), moderadamente bajo en nitrato (9.51 ppm), bajo en fósforo disponible (5.84 ppm) y moderadamente alto en potasio (343 ppm) (Cuadro 2A).



Figura 1. Muestras de suelo de las tres localidades: de izquierda a derecha Jiquipilas, Villaflores y Ocozocoautla.

3.1.2 Material genético

El material genético utilizado fueron híbridos comerciales formados con líneas endogámicas, híbridos varietales y variedades mejoradas formadas en los diferentes campos experimentales del INIFAP ubicados en los estados de Jalisco, Tamaulipas, Estado de México y Chiapas. Se utilizaron cuatro variedades nativas que proporcionaron productores de las localidades de Ocozocoautla y Jiquipilas, además, se utilizaron híbridos de tres casas comerciales que sirvieron como testigos. El nombre de los materiales y el origen de la semilla utilizada se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Relación de material genético de híbridos, variedades mejoradas y variedades nativas evaluadas en tres localidades de Chiapas.

No.	Genotipo	Origen	Lugar de origen*
1	H-386A	Jal 2016-2017	C.E. Centro-Altos, Jal.
2	REMACO-15A	Jal 2016-2017	C.E. Centro-Altos, Jal.
3	H-443A	RB Tamps 2016 B	C.E. Río Bravo, Tam.
4	HV-59A	Mex SL 2016	C.E. Valle de México.
5	HV-60A1	Mex SL 2016 A	C.E. Valle de México.
6	HV-60A2	Mex SL 2018	C.E. Valle de México.
7	H-UNAM	Mex UNAM	C.E. Fac. Cuautitlán, Méx.
8	V-556A	Semillas Proceso	C.E. Cotaxtla, Ver.
9	V-238AC	Chis Ocoz 2017 B	C.E. Centro de Chis.
10	Pob. Am.C0	CMB 2016 A	C.E. Centro de Chis.
11	Pob. Am.C1	CMB 2017 A	C.E. Centro de Chis.
12	Pob. Am.C2	CMB 2018 A	C.E. Centro de Chis.
13	Olotillo-A1	Cuahu, Ocoz 2017	C.E. Centro de Chis.
14	Olotillo-A2	Absalón, Jiq 2017	C.E. Centro de Chis.
15	Olotillo-A3	Ocoz. 2016	C.E. Centro de Chis.
16	Thaiska	Paraje Ciénega, Ocoz	C.E. Centro de Chis.
17	NA-35	Novasem	Acatlán de Juárez, Jal.
18	Castaño	Surmex	Surmex, Villaf., Chis.
19	Sur-42	Surmex	Surmex, Villaf., Chis.
20	SP-528A	Proceso	Semillas Proceso, Col.
21	24-Kilates	Proceso	Semillas Proceso, Col.

* C. E. = Campo Experimental

3.1.3 Diseño experimental

El diseño experimental utilizado para la evaluación de estos materiales fue Látxice triple rectangular 7 x 3. La parcela experimental fue de dos surcos de 5 m de largo, a una

distancia entre surcos de 75 cm y una planta cada 20 cm, para tener una densidad de población aproximada de 66,000 plantas ha⁻¹ (Figura 2).

DISEÑO EXPERIMENTAL: Látice triple rectangular 7 x 3

GRUPO X	GRUPO Y	GRUPO Z																																																																								
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="border: none; padding-right: 5px;">1</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">1</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">2</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">3</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">4</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">5</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">6</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">7</td></tr> <tr><td style="border: none; padding-right: 5px;">2</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">8</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">9</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">10</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">11</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">12</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">13</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">14</td></tr> <tr><td style="border: none; padding-right: 5px;">3</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">15</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">16</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">17</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">18</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">19</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">20</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">21</td></tr> </table>	1	1	2	3	4	5	6	7	2	8	9	10	11	12	13	14	3	15	16	17	18	19	20	21	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="border: none; padding-right: 5px;">1</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">1</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">4</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">7</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">10</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">13</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">16</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">19</td></tr> <tr><td style="border: none; padding-right: 5px;">2</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">2</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">5</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">8</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">11</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">14</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">17</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">20</td></tr> <tr><td style="border: none; padding-right: 5px;">3</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">3</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">6</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">9</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">12</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">15</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">18</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">21</td></tr> </table>	1	1	4	7	10	13	16	19	2	2	5	8	11	14	17	20	3	3	6	9	12	15	18	21	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="border: none; padding-right: 5px;">1</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">1</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">5</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">9</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">10</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">14</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">18</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">19</td></tr> <tr><td style="border: none; padding-right: 5px;">2</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">2</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">6</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">7</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">11</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">15</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">16</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">20</td></tr> <tr><td style="border: none; padding-right: 5px;">3</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">3</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">4</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">8</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">12</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">13</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">17</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">21</td></tr> </table>	1	1	5	9	10	14	18	19	2	2	6	7	11	15	16	20	3	3	4	8	12	13	17	21
1	1	2	3	4	5	6	7																																																																			
2	8	9	10	11	12	13	14																																																																			
3	15	16	17	18	19	20	21																																																																			
1	1	4	7	10	13	16	19																																																																			
2	2	5	8	11	14	17	20																																																																			
3	3	6	9	12	15	18	21																																																																			
1	1	5	9	10	14	18	19																																																																			
2	2	6	7	11	15	16	20																																																																			
3	3	4	8	12	13	17	21																																																																			

Números en negro son los genotipos y números en rojo son las unidades experimentales

GRUPO X SORTEADO	GRUPO Y SORTEADO	GRUPO Z SORTEADO																																																																								
Block	Block	Block																																																																								
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="border: none; padding-right: 5px;">3</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">15</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">16</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">17</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">18</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">19</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">20</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">21</td></tr> <tr><td style="border: none; padding-right: 5px;">2</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">14</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">13</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">12</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">11</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">10</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">9</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">8</td></tr> <tr><td style="border: none; padding-right: 5px;">1</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">1</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">2</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">3</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">4</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">5</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">6</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">7</td></tr> </table>	3	15	16	17	18	19	20	21	2	14	13	12	11	10	9	8	1	1	2	3	4	5	6	7	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="border: none; padding-right: 5px;">1</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">36</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">37</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">38</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">39</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">40</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">41</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">42</td></tr> <tr><td style="border: none; padding-right: 5px;">2</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">35</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">34</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">33</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">32</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">31</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">30</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">29</td></tr> <tr><td style="border: none; padding-right: 5px;">3</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">22</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">23</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">24</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">25</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">26</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">27</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">28</td></tr> </table>	1	36	37	38	39	40	41	42	2	35	34	33	32	31	30	29	3	22	23	24	25	26	27	28	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="border: none; padding-right: 5px;">1</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">57</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">58</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">59</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">60</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">61</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">62</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">63</td></tr> <tr><td style="border: none; padding-right: 5px;">3</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">56</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">55</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">54</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">53</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">52</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">51</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">50</td></tr> <tr><td style="border: none; padding-right: 5px;">2</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">21</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">12</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">13</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">4</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">8</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">17</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">3</td></tr> </table>	1	57	58	59	60	61	62	63	3	56	55	54	53	52	51	50	2	21	12	13	4	8	17	3
3	15	16	17	18	19	20	21																																																																			
2	14	13	12	11	10	9	8																																																																			
1	1	2	3	4	5	6	7																																																																			
1	36	37	38	39	40	41	42																																																																			
2	35	34	33	32	31	30	29																																																																			
3	22	23	24	25	26	27	28																																																																			
1	57	58	59	60	61	62	63																																																																			
3	56	55	54	53	52	51	50																																																																			
2	21	12	13	4	8	17	3																																																																			

Figura 2. Diseño Látice triple rectangular 7 x 3 para el ensayo de híbridos y variedades.

3.1.4 Preparación del terreno y siembra

La preparación del terreno se realizó de acuerdo a lo acostumbrado en cada región, la siembra se efectuó en el momento que el terreno presentaba suficiente humedad para asegurar la germinación y emergencia de las plantas.

En la localidad de Villaflores la preparación del terreno consistió en dos pasos de rastra; la fecha de siembra en el ciclo agrícola de temporal de 2018 fue el 6 de julio y para el ciclo de temporal de 2019 se realizó el 29 de junio. En la localidad de Ocozocoautla se preparó el terreno con un paso de arado y uno de rastra; la fecha de siembra en el primer ciclo de prueba se realizó el 26 de julio de 2018 y en el segundo ciclo se realizó el 10 de julio de 2019. Para la localidad de Jiquipilas se preparó el terreno de siembra con un paso de arado, uno de rastra y surcado; la siembra en el

primer ciclo de prueba se efectuó el 5 de julio de 2018 y para el segundo ciclo se realizó el 16 de julio de 2019.

La siembra en suelo húmedo se realizó a espeque depositando dos semillas por punto de siembra y eliminando la plántula más débil o pequeña a los 15 días después de la siembra (Figura 3).



Figura 3. Siembra de los experimentos: a) Trazado de las fajas y puntos de siembra, b) distribución de sobres con semillas y c) distribución de semillas en los puntos de siembra.

3.1.5 Cuidados culturales

El manejo de los experimentos de maíz se realizó de acuerdo al paquete tecnológico para el cultivo de maíz de temporal del Campo Experimental Centro de Chiapas del INIFAP, para las regiones de clima cálido de Chiapas (SAGARPA, 2017b).

En todos los ensayos se utilizó la misma dosis de fertilización, la cual fue la 140-60-00. Como fuente de nitrógeno se utilizó el fertilizante comercial Urea y como fósforo se aplicó el fertilizante Fosfato diamónico (DAP). A los 20 días después de la siembra se aplicó todo el fósforo y el 50 % de nitrógeno y a los 40 días después de la siembra se aplicó el resto del nitrógeno.

Al momento de la siembra se aplicó el herbicida Glifosato a dosis de 2.5 L ha⁻¹ para eliminar las malezas presentes y Atrazina a dosis de 2.5 L ha⁻¹, como pre-emergente. En cada punto de siembra y antes de tapar los puntos de siembra se aplicó el insecticida Permetrina al 0.4 % a dosis de 12 kg ha⁻¹ para controlar gallina ciega (*Phillophaga* sp.). A los 40 días después de la siembra se eliminó la maleza de hoja ancha realizando una aplicación de 2,4 D Amina a dosis de 2 L ha⁻¹. A los 5 días después de emergida la planta se realizó una aplicación de insecticida Cipermetrina a dosis de 250 mL ha⁻¹ para combatir los daños por diabrótica (*Diabrotica* sp.) y el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*). A los 15 días siguientes se aplicó Spinetoram j + spinetoram L a dosis de 700 mL ha⁻¹ y a los 15 días posteriores se repitió la aplicación con *Spinetoram*.

La cosecha se realizó en los meses de noviembre y diciembre, cuando las plantas ya tenían más de 140 días desde la siembra y cuando el grano tenía aproximadamente 15 % de humedad; se efectuó a mano, depositando las mazorcas de todas las plantas al pie de la parcela, las cuales se pesaron utilizando una báscula electrónica (Torrey, modelo EQB 50/100), se tomaron datos de sanidad de mazorcas y se les otorgó una calificación fenotípica (Figura 4).



Figura 4. Cosecha de experimentos. a y b) Conteo y selección de mazorcas sanas y c) pesaje de mazorcas en campo.

3.1.6 Caracteres medidos

1. Días a floración (masculina y femenina): Indicado por el número de días desde la siembra hasta que el 50 % de las plantas de la unidad experimental estuvieron derramando polen (DFM) y con los estigmas del jilote visibles (DFF) (Figura 5).



Figura 5. Capturando fechas de floración femenina y masculina.

2. Altura de planta y mazorca: la altura de planta (AP) se realizó midiendo la distancia promedio (en cm) de 10 plantas desde la superficie del suelo hasta la punta de las

espigas, para la altura de mazorca (AMz) se midió (en cm) de la superficie del suelo hasta el nudo de la mazorca superior.

3. Caracteres de mazorca: al momento de la cosecha se asignó una calificación fenotípica a las mazorcas de la parcela de acuerdo a su sanidad y aspecto físico que fue de 1 a 5, donde 1 es el valor de las mazorcas completamente sanas y 5 las mazorcas enfermas, pequeñas y mal granadas. En el Campo Experimental del INIFAP, y de una muestra de cinco mazorcas, se midieron las siguientes variables: con una regla la longitud de la mazorca (en cm) (LMz), con un vernier se obtuvo el diámetro de la mazorca (en cm) (GMz), se contó el número de hileras (HMz), el número de granos por hilera (GHMz), el número de granos por mazorca (GMz) y se midió el diámetro de olote (DO) (en cm) (Figura 6).



Figura 6. Midiendo caracteres: a) longitud de mazorca, b) diámetro de mazorca, y c) humedad de grano.

4. Rendimiento de grano (Rend). Posteriormente, se desgranaron las cinco mazorcas para obtener el desgrane, se tomó la humedad de grano (dos lecturas) con un determinador portátil Dickey-John (Figura 6c) y se capturaron todos los datos de las variables medidas en una hoja de Excel. Finalmente, se estimó el rendimiento de grano en $t\ ha^{-1}$ corregido al 14 % de humedad utilizando la fórmula siguiente (Tadeo *et al.*, 2015):

$$Rend = (PC \times MS \times G \times FC)/0.86$$

donde:

PC = Peso de campo de todas las mazorcas cosechadas por parcela útil expresada en kilogramos.

MS = Proporción de materia seca de la muestra de grano de cinco mazorcas recién cosechadas.

G = Proporción de grano o desgrane que se obtiene de la división del peso de grano de cinco mazorcas entre el peso de cinco mazorcas

FC = Factor de conversión para obtener el rendimiento por hectárea, que se obtiene al dividir 10 000 m² entre el tamaño de la parcela útil (en m²).

0.86 = Valor constante que permite estimar el rendimiento de grano con una humedad al 14 %, que se usa en forma comercial.

3.1.7 Análisis estadístico

A los caracteres medidos se les realizó el análisis de varianza utilizando el software Statistical Analysis System (SAS) versión 9.3, mediante el procedimiento GLM para detectar si hay diferencias significativas entre genotipos, y se realizó la prueba múltiple de medias de la Diferencia Honesta Significativa (Tukey_{0.05}) para detectar estadísticamente los mejores híbridos y variedades.

Por medio del SAS y con los procedimientos CORR y REG se realizó el análisis de correlación y de regresión múltiple del rendimiento de grano con los caracteres morfológicos de planta y mazorca para conocer cuáles caracteres de planta y mazorca están relacionados e influyen en el rendimiento de grano.

3.2 Evaluación de la calidad física y química de grano

3.2.1 Localización del área de estudio

Las evaluaciones se realizaron en el Laboratorio de Maíz del Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX) del INIFAP, ubicado en el km 13.5, Carretera Texcoco-Los Reyes, Coatlinchán, Texcoco, México, y en el Laboratorio de Calidad Nutricional de Maíz del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), ubicado en el km 45, Carretera México-Veracruz, El Batán, Texcoco, México.

3.2.2 Material genético

Para la realización de estas evaluaciones se utilizaron granos de nueve genotipos evaluados en P.V. 2019: cinco híbridos (H443A, Remaco-15A, H-386A, Castaño y 24-Kilates), dos variedades mejoradas (Pob.Am.C1 y V-556A) y dos variedades nativas (Olotillo-A1 y Thaiska), además, en esta evaluación se sumó la variedad experimental Pob.Am.C3 obtenida del tercer ciclo de Selección Recurrente de Familias de Medios Hermanos en el ciclo de riego Otoño-Invierno (O.I.) 2019 y que fue evaluada en las mismas localidades y condiciones que los híbridos y variedades en P.V. 2019. Se

utilizó una muestra de 1.5 kg por localidad de cada uno de los genotipos para tener un total de 30 muestras.

3.2.3 Evaluación de las características físicas del grano

Para la determinación de cada uno de los caracteres físicos de grano se siguieron los métodos propuestos por Salinas y Vázquez (2006). Todas las evaluaciones se realizaron por duplicado.

1. Humedad del grano (HG). Se pesaron 250 g de grano limpio utilizando una balanza granataria y se depositó la muestra en el determinador de humedad Steinlite (método 44-11, AACC, 1976) para tomar las lecturas, las cuales se expresaron en porcentaje (Figura 7).

2. Peso hectolítrico (PH). Se analizó el peso hectolítrico (método 84-10.AACC, 1976), utilizando la balanza de peso hectolítrico y un recipiente de 1 L. Se ajustó a cero la balanza junto con la taza donde se depositó el grano. La cantidad de muestra por lectura fue de 1 kg, la lectura de los datos se expresó en kg hL⁻¹ (Figura 7).

3. Índice de flotación (IF). Es un método indirecto para medir la dureza del grano, se seleccionaron de manera aleatoria 100 granos sin daños y se depositaron en un vaso de precipitado con 500 mL de solución de nitrato de sodio (cuya densidad fue ajustada a 1.25 g mL⁻¹). Se agitó levemente y se consideró como IF al número de granos que flotaron en la superficie (Figura 7).

4. Peso de 100 granos (PCG). Es una medida indirecta del tamaño de grano. Se seleccionaron 100 granos sanos de cada muestra, se pesaron utilizando una balanza granataria y el peso se registró en gramos (Figura 7).

5. Color de grano. Se determinó el color de grano utilizando el colorímetro Hunter Lab MiniScan XE Plus modelo 45/0-L®. En el colorímetro Hunter Lab se obtienen los valores de luminosidad (L), a* y b*; los de a* y b* sirven para determinar el ángulo de tono "Hue"(°) y la pureza de color "croma" (C), variables que ubican el color del material en el plano dentro de las diferentes tonalidades del color rojo, amarillo, verde y azul (Salinas *et al.*, 2005; Mendoza *et al.*, 2017). Se colocó la muestra en el recipiente metálico que acompaña al aparato y se efectuó la lectura. Para expresar el tono °Hue y Croma se utilizaron las fórmulas (Figura 7):

$$\text{Hue}(\text{°}) = \tan^{-1} \left(\frac{b}{a} \right) \quad \text{Croma} = \sqrt{a^2 + b^2}$$



Figura 7. Equipo para medir caracteres físicos de grano: a) Determinador de humedad marca Steinlite, b) balanza de densidad, c) prueba de índice de flotación con nitrato de sodio, d) peso de 100 granos y e) color de grano con el equipo MiniScan XE Plus.

3.2.4 Evaluación de la calidad de tortilla

Siguiendo el protocolo propuesto por Salinas y Vázquez (2006), se pesaron 300 g de grano de cada muestra de maíz, se le adicionaron 3.0 g de óxido de calcio (CaO_3) más 600 mL de agua; de acuerdo a la dureza del grano, el cual se determinó con la prueba de IF fueron los minutos que se les dio de hervor una vez iniciada la ebullición franca. Una vez terminado el tiempo de nixtamalización se dejó reposar aproximadamente 14 horas, luego se separó el agua de cocimiento (nejayote) y se enjuagó el nixtamal con 200 mL de agua destilada, la masa obtenida de la molienda se pesó y se acondicionó adicionándole agua hasta obtener una consistencia apropiada, para que no fuera quebradiza ni pegajosa a la hora de pasar en los rodillos de la tortilladora. La elaboración y cocción de las tortillas se realizó utilizando una tortilladora mecánica de gas LP de comales de discos de tres niveles, en donde las temperaturas fueron de 270, 310 y 300 °C (Figura 8). La tortilla permaneció 20 segundos en cada comal.



Figura 8. a) Lavado de nixtamal, b) molienda del nixtamal, c) masa acondicionada y d) elaboración de tortilla.

Las variables evaluadas fueron:

1. Humedad de nixtamal (HN). En el caso del nixtamal, una vez enjuagado, se partieron 10 granos longitudinalmente y de estos se pesaron 2 g (± 1 mg) en una cápsula de aluminio, puestas previamente a peso constante. Se colocaron las cápsulas en la estufa durante 1 hora a 130 °C, pasado ese tiempo se retiraron las cápsulas de la estufa y se enfriaron en el desecador a temperatura ambiente (Figura 9), y se pesaron las muestras ya secas para obtener el porcentaje de humedad de acuerdo a la fórmula:

$$HN = \left(\frac{PCMH - PCMS}{PM} \right) 100$$

donde: HN = humedad del nixtamal expresado en porcentaje

PCMH = peso de la caja más muestra húmeda

PCMS = peso de la caja más muestra seca

PM = peso de la muestra

2. Humedad de masa acondicionada (HM). Una vez obtenida la masa y acondicionada manualmente, se pesaron 2 g (± 1 mg) en una cápsula de aluminio, puestas previamente a peso constante. Se colocaron las cápsulas en la estufa durante 1 hora a 130 °C, se retiraron las cápsulas de la estufa y se enfriaron en el desecador a temperatura ambiente (Figura 9). Se pesaron las muestras ya secas y a peso constante para obtener el porcentaje de humedad de acuerdo a la fórmula descrita para humedad de nixtamal.

3. Humedad de tortilla (HT). Las humedades de tortillas se tomaron a las 2, 24 y 48 h después de elaboradas. En cuanto se pesaron las tortillas frías, se embolsaron y se guardaron en el refrigerador para realizar las pruebas de humedad de 24 y 48 h; antes de realizar dichas pruebas de humedad se pusieron las muestras a temperatura ambiente durante 2 h, pasando ese tiempo, se realizó la prueba de humedad siguiendo los pasos descritos para la humedad de nixtamal y masa (Figura 9).



Figura 9. Equipo utilizado para determinar humedad en nixtamal, masa y tortilla, porcentaje de sólidos perdidos y peso de tortillas: a y e) balanza analítica, b) horno de secado, c) probetas y vasos de precipitado y d) desecador.

4. Porcentaje de sólidos perdidos (SP). Para obtener el porcentaje de sólidos que se perdieron en el proceso de cocción y lavado de nixtamal, se midió el nejayote más los

200 mL de agua que se utilizó para el lavado del nixtamal utilizando una probeta de 1000 mL, se tomaron muestras de 50 mL perfectamente homogeneizadas en vasos precipitados de 125 mL que estaban a peso constante. Se sometieron a evaporación total en la estufa a 60 °C, terminada la evaporación y a peso constante se pesaron las muestras (Figura 9). Para el cálculo de sólidos se utilizó la fórmula respectiva:

$$SP = \left(\frac{PVS - PVV}{PM} \right)$$

donde: PVS= peso del vaso más sólidos

PVV= peso del vaso vacío

PM = peso muestra

5. Rendimiento de tortilla (RendT). Se cuantificó el rendimiento de tortilla como la cantidad de tortilla (en kg) obtenida por cada kilogramo de maíz procesado. Se calculó de acuerdo a la fórmula:

$$RendT = \left(\frac{\left(\frac{PG * (100 - HG) * S}{100 - HT} \right)}{PG} \right)$$

donde: PG = peso del grano

HG = humedad del grano

S = porcentaje de sólidos

HT = humedad de la tortilla

6. Textura de tortilla (FR). En las tortillas recién elaboradas (2 h), y almacenadas durante 24 y 48 h a 4 °C se midió la fuerza de ruptura con el texturómetro Brookfield® modelo CT3. EL aditamento utilizado para medir la fuerza de ruptura fue la sonda terminada en forma de esfera (TA8). El brazo del texturómetro se desplaza de arriba hacia abajo a una velocidad de 1 mm s⁻¹. Un fragmento circular de la tortilla fue sujetado entre dos placas de acero inoxidable con una perforación circular que es por donde atravesó el punzón del equipo. Al momento de entrar en contacto la esfera con la tortilla, empezó a medir la fuerza y la distancia hasta el momento que rompe la tortilla (Figura 10); fue así que se evaluó la fuerza requerida para romperla. Los resultados se expresaron en gramos fuerza (gr) (Vázquez *et al.*, 2012).

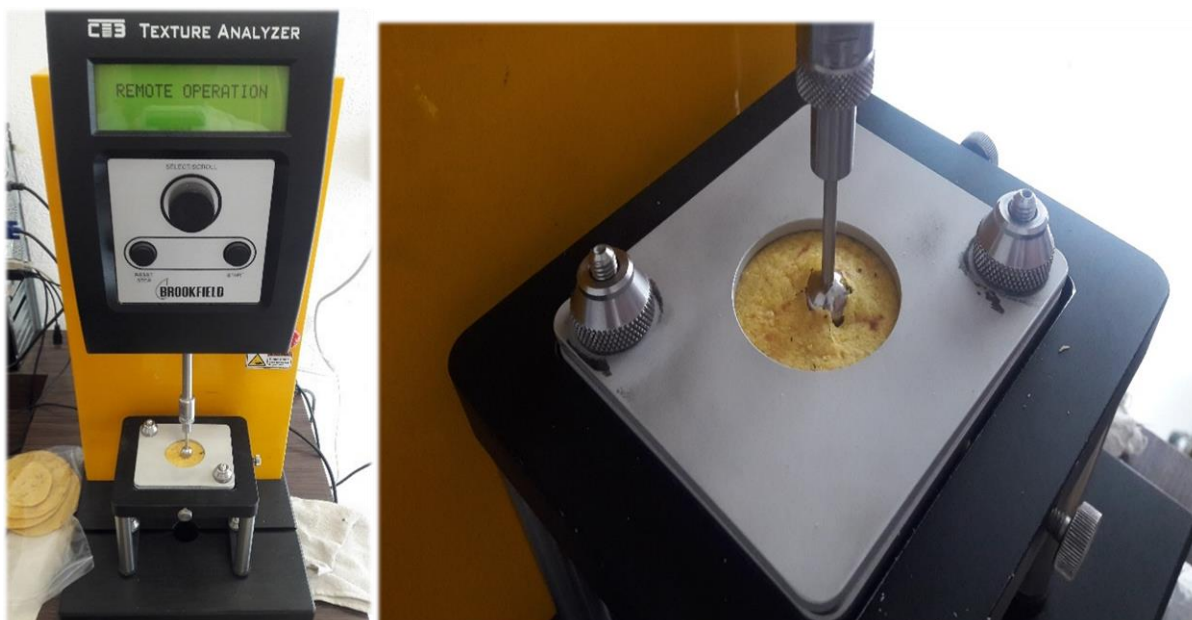


Figura 10. Prueba de fuerza de ruptura en tortilla con el texturómetro Brookfield® modelo CT3.

7. Color en tortillas. Esta variable se determinó colocando un fragmento circular de la tortilla sobre la plataforma liza que acompaña al aparato Hunter Lab (Figura 11). Los datos se tomaron a las 2, 24 y 48 h después de elaboradas las tortillas. Los resultados se expresaron de la misma forma que en color de granos.



Figura 11. Evaluación de color en tortilla con el colorímetro Hunter Lab.

3.2.5 Determinación del contenido de aceite, proteína y almidón en grano

Se determinó el porcentaje de proteína, almidón, y aceites en grano utilizando la espectroscopia en el infrarrojo cercano, la cual es una técnica no destructiva que permite estimar el contenido de compuestos en materiales biológicos utilizando el analizador de grano INFRATEC 1241 (Figura 12). Los resultados se expresaron en porcentaje (Palacios, 2018).



Figura 12. Equipo Infratec 1241.

3.2.6 Determinación del contenido de carotenoides totales, lisina y triptófano en grano

Se determinó el contenido de carotenoides totales, lisina y triptófano en harina de maíz, utilizando el espectroscopio de infrarrojo cercano Nirsystems 6500 FOSS™ (Figura 13), de acuerdo a Galicia *et al.*, (2012). Se molieron 10 g de maíz de cada una de las muestras utilizando el molino de discos modelo Falling Number tipo 3303 para obtener una molienda de tamaño de partículas de 1.0 mm aproximadamente, terminada la molienda, las muestras se molieron por segunda vez en un molino ciclónico modelo FOSS Tecator Cyclotec 1093 para obtener el tamaño de partícula de 0.5 mm aproximadamente. Obtenida la muestra con el grosor de harina deseada se depositaron las muestras en celdas circulares, las cuales, una cara del círculo era de cristal donde traspasaron los rayos Nirs, y se analizaron las muestras en el equipo Nirsystem. Las lecturas se hicieron por duplicado y los resultados se describieron en porcentaje.



Figura 13. Equipo Nirsystems FOSS.

3.2.7 Perfil de carotenos en grano y tortilla

Se realizó el perfil de carotenos en granos y tortillas de los maíces sobresalientes en rendimiento de grano, estos fueron: H-443A, Olotillo-A1, la Pob.Am.C1, así como la variedad Pob.Am.C3, que se incluyó por su intenso color amarillo. Se analizaron las muestras de las localidades de Villaflores y Ocozocoautla del P.V. 2019. El elevado costo de estas determinaciones, limitó el número de muestras que se analizaron.

Siguiendo la metodología propuesta por Palacios (2018) se metieron muestras de tortillas a refrigeración para su conservación a $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante una semana. Posteriormente se liofilizaron utilizando el equipo LABCONCO modelo 7755041 hasta extraerle a las muestras toda la humedad. Las muestras liofilizadas se molieron utilizando el molino mezclador MM400 Retsch™ para obtener la harina con un tamaño de partícula de 0.5 mm (Figura 14).

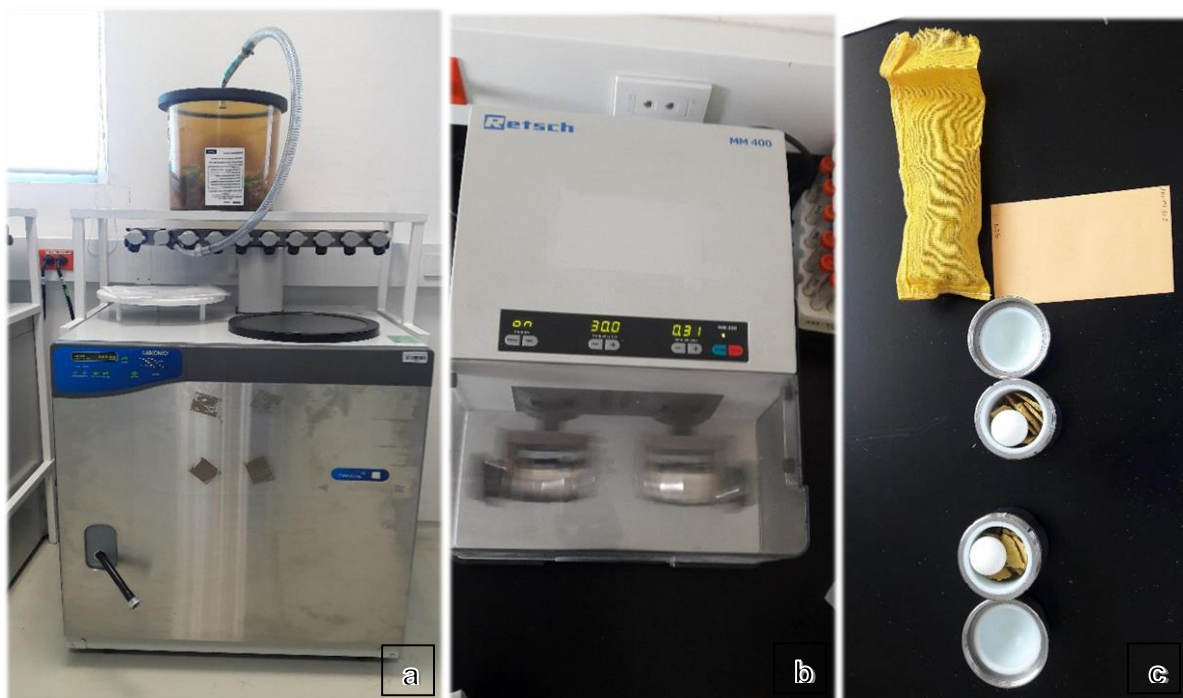


Figura 14. a) Equipo de liofilización LABCONCO, b) molino MM400 Retsch y c) muestras de tortillas liofilizadas para ser molidas.

Se molieron 5 g de maíz utilizando el molino de discos modelo Falling Number tipo 3303 para obtener una molienda de tamaño de partículas de 1.0 mm aproximadamente. Las muestras se molieron por segunda vez en un molino ciclónico modelo FOSS Tecator Cyclotec 1093 para obtener la harina con tamaño de partícula de 0.5 mm aproximadamente (Figura 15).

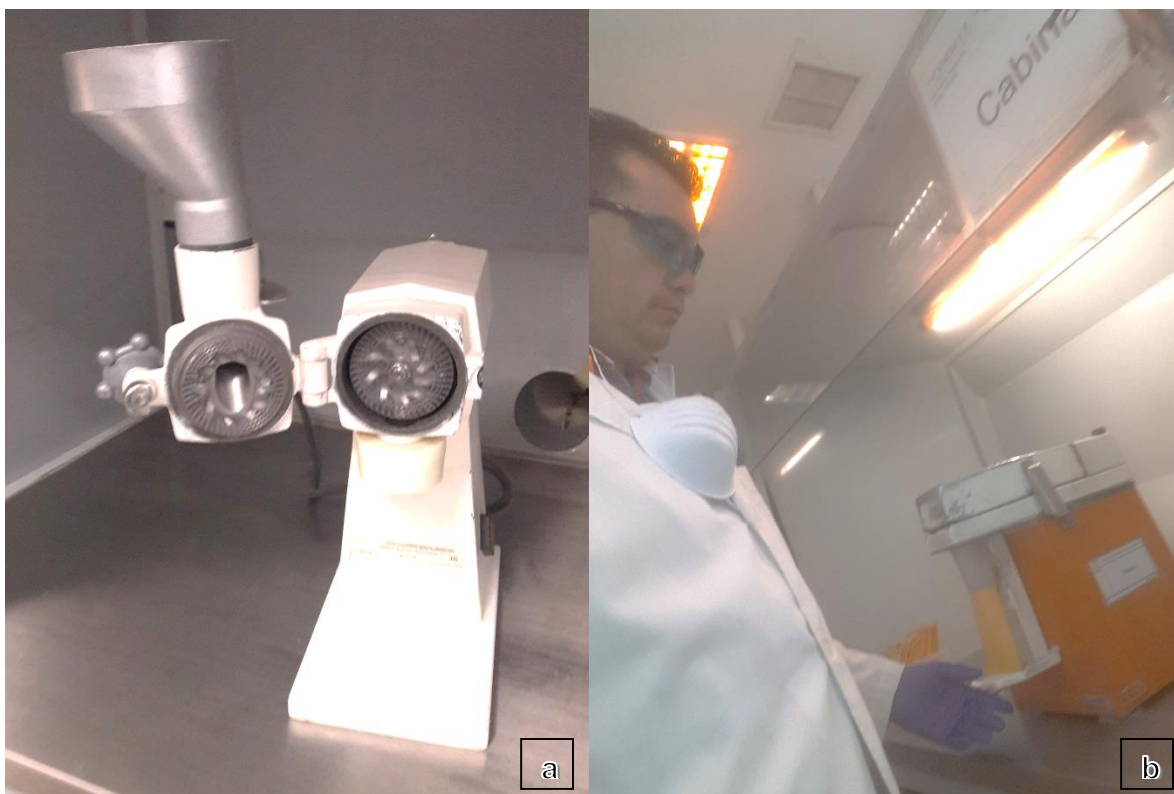


Figura 15. a) Molino de discos modelo Falling Number tipo 3303 y c) refinando la harina en el molino ciclónico modelo FOSS Tecator Cyclotec 1093.

La metodología empleada para obtener el perfil de carotenos en harina de maíz y tortilla fue la descrita por Palacios (2018), que consistió en: a) pesar 600 μg de harina y depositarla en un tubo de vidrio de 15 mL con tapón de rosca; b) se adicionó 6 mL de etanol con 0.1 % de butil hidroxitolueno (BHT) como antioxidante y se agitó en vórtex; c) se incubaron las muestras a 85 °C durante 5 minutos en baño maría (Figura 16a), se adicionó 500 μL de hidróxido de potasio al 80 % y se agitó en vórtex para incubar los tubos nuevamente durante 10 minutos a 85 °C; transcurridos los primeros 5 minutos se retiraron los tubos para agitarlos en el vórtex y se introdujeron de nueva cuenta en el baño maría hasta completar los 10 minutos de incubación; pasados los 10 minutos se pusieron los tubos en un recipiente con hielo triturado; d) se adicionó a cada tubo 3 mL de agua desionizada fría y se agitó en vórtex; e) en campana de extracción, se agregó 3 mL de hexano a los tubos y se agitó en vórtex hasta diluir completamente el grumo de harina (Figura 16c), se centrifugaron las muestras a 3000 rpm durante 3 minutos (Figura 16b), para transferir el sobrenadante (con el uso de una pipeta Pasteur) a un tubo limpio y etiquetado (repetiendo esta fase tres veces); f) se evaporó el sobrenadante utilizando el evaporador con nitrógeno gaseoso (Figura 16d) (aproximadamente 50 minutos a 35 °C y presión de vacío de 2.5 psi); y g) se reconstruyeron las muestras evaporadas adicionándoles 500 μL de metanol:1,2-dicloroetano (50:50), se filtraron las muestras con acrodiscos de 0.22 μm para

recibirlos en viales para su inyección al UPLC (Ultra Performance Liquid Chromatography) (Figura 16e y f) y realizar el análisis.



Figura 16. a) Baño maría (digital) marca Polyscience, b) Centrífuga marca Beckman Coulter, Allegra X-12, c) Proceso de extracción de exano, d) Evaporador con nitrógeno gaseoso e y f) cromatógrafo marca Waters, Acuity UPLC.

Al concluir el análisis en el cromatógrafo, se integró cada uno de los picos de interés obtenidos en la cromatografía para determinar el área bajo la curva. Se realizaron los cálculos con base a la ecuación obtenida a partir de la curva de calibración para obtener la concentración obtenida. Los resultados se expresaron en $\mu\text{g g}^{-1}$ de materia seca.

El contenido de provitamina A por genotipo se calculó sumando el 50 % de β -criptoxantina más todo el β -caroteno (13-cis- βC + 9-cis- βC + β -caroteno). Los resultados se expresaron en $\mu\text{g g}^{-1}$ de materia seca.

3.2.8 Análisis estadísticos

Todos los datos obtenidos de las evaluaciones realizadas se capturaron en una hoja de Excel y se les realizó el análisis de varianza como un diseño experimental Completamente al Azar con dos repeticiones, utilizando el SAS versión 9.3, para detectar diferencias significativas entre híbridos y variedades y se realizó la prueba múltiple de medias de la Diferencia Honesta Significativa ($\alpha = 0.05$) para detectar estadísticamente el o los mejores híbridos y variedades. Con el mismo programa de SAS se realizó el análisis de correlación de Pearson para detectar la existencia de alguna correlación entre los caracteres evaluados. Y además un análisis de regresión.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Comparación de los caracteres de planta de los genotipos evaluados

La floración femenina presentó diferencias significativas ($P=0.05$) entre localidades, repeticiones, repetición dentro de localidades, y diferencias altamente significativas al ($P=0.01$) entre variedades y en la interacción localidad x variedad, mientras que la floración masculina mostró diferencias significativas ($P=0.05$) en repetición dentro de localidad y altamente significativa ($P=0.01$) entre localidades, entre variedades y en la interacción localidad x variedad. La altura de planta tuvo alta variabilidad ($P=0.01$) entre localidades, entre variedades y en la interacción localidades x variedades, por otro lado, el carácter altura de mazorca tuvo variabilidad ($P=0.05$) entre repeticiones y alta variabilidad ($P=0.01$) entre las localidades de prueba y entre las variedades. EL coeficiente de variación para días a floración femenina (4.06 %), días a floración masculina (4.06 %), altura de planta (8.59 %) y altura de mazorca (15.5 %) fueron relativamente bajos, lo que indica la confiabilidad de los resultados obtenidos en los experimentos (Cuadro 2).

Cuadro 2. Cuadrados medios de los caracteres de planta de los genotipos evaluados en P.V. 2018 y 2019.

F.V.	DFF	DFM	AP	AMz
Localidades	120.69 *	159.27 **	27619.80 **	9976.57 **
Repeticiones	20.25 *	10.38 ns	750.20 ns	1481.42 *
Rep (Loc)	13.59 *	13.87 *	767.02 ns	329.19 ns
Variedades	970.60 **	909.87 **	24834.62 **	22645.48 **
Loc*Var	31.47 **	30.15 **	948.00 **	427.88 ns
Error	6.09	5.74	498.18	349.08
C.V. %	4.06	4.06	8.59	15.50

F.V. = Fuente de variación; Rep(Loc) = Repetición dentro de localidad; Loc*Var = Interacción localidad por variedad.

* = Significancia al 0.05; ** = Significancia al 0.01; ns = no significativo.

DFF = Días a floración femenina; DFM = Días a floración masculina; AP = Altura de planta; AMz = Altura de mazorca

La variación de la floración femenina y la altura de la mazorca en las repeticiones debe estar influenciada por la variabilidad del suelo y por la alta variabilidad genética de las variedades nativas y a las variedades mejoradas experimentales, ya que estas últimas vienen de la recombinación genética de variedades nativas con la F_2 de híbridos comerciales.

Es probable que las condiciones bióticas y abióticas durante los dos ciclos de evaluación en las localidades de prueba influyeron en la diferencia entre las localidades y en la interacción localidad x variedad en la floración y la altura de planta,

ya que las precipitaciones pluviales fueron variables durante los dos ciclos en cada localidad de prueba, así como la textura y topografía de los terrenos; en Ocozocoautla y Jiquipilas los suelos fueron de textura franco arcillosa, mientras que en Villaflores el suelo presentó un suelo franco arenoso.

La significancia de 5 % en repeticiones dentro de localidad para días a floración masculina y femenina se debe a la amplia variabilidad genética de los maíces nativos, los cuales fueron más tardíos, donde la floración, desde el inicio hasta alcanzar el 50 %, transcurrió más de 8 días de manera dispereja, en las variedades mejoradas fue entre 6 y 8 días y en los híbridos de 4 a 5 días y homogénea. La alta significancia entre variedades es debido a la diversidad entre las poblaciones evaluadas, ya que se compararon híbridos, variedades mejoradas y variedades nativas.

Silva *et al.* (2009) mencionaron que el crecimiento y desarrollo de las plantas dependen de sus constituciones genéticas, además de las condiciones de suelo y clima donde se ha establecido el cultivo.

En la localidad de Ocozocoautla la floración masculina y femenina se adelantó 4 días en 2019 en comparación a 2018; se estima que esta variación se debe a las fechas de siembra y la distribución de las lluvias. En Villaflores se presentaron estables los materiales con respecto a la floración femenina y masculina, mientras que en Jiquipilas fueron estadísticamente diferentes, siendo 2 días más precoces en el segundo ciclo de evaluación (Cuadro 3).

Cuadro 3. Medias de caracteres de plantas por año de cada localidad

Localidad	Año	DFF	DFM	AP (cm)	AMz (cm)
Ocozocoautla	2018	63 a	61 a	279 ab	121 bc
Ocozocoautla	2019	59 d	57 c	244 c	127 ab
Villaflores	2018	61 b	60 ab	285 a	133 a
Villaflores	2019	62 ab	60 ab	269 b	129 ab
Jiquipilas	2018	61 bc	59 b	232 d	99 d
Jiquipilas	2019	59 cd	57 c	251 c	114 c
Promedio		61	59	260	120
Máximo		63	61	285	133
Mínimo		59	57	232	99

DFF = Días a floración femenina; DFM = Días a floración masculina; AP = Altura de planta; AMz = Altura de mazorca +
Cantidades con letras iguales son estadísticamente iguales.

Respecto a la altura de planta, las más altas se tuvieron en Villaflores en P.V. 2018, siendo 6.7 y 53 cm más altas que en Ocozocoautla y Jiquipilas, respectivamente en ese mismo año, de igual manera, en P.V. 2019 las plantas fueron 24.6 y 17.2 cm más altas en Villaflores en comparación a las de Ocozocoautla y Jiquipilas. Respecto a la altura de mazorca, en Villaflores en el ciclo P.V. 2018 se tuvieron las mayores alturas

en comparación con Ocozocoautla y Jiquipilas por 12.4 y 34.4 cm, respectivamente, mientras que en el ciclo P.V. 2019 en la localidad de Jiquipilas se tuvieron los promedios estadísticamente más bajos en comparación a los de Villaflores y Ocozocoautla por 14.6 y 6.3 cm, respectivamente (Cuadro 3).

El híbrido H-UNAM presentó la mayor precocidad en la floración femenina con 50 días; un día de diferencia en comparación con los híbridos varietales HV-59A, HV-60A1 y HV-60A2 (todos de germoplasma subtropical), los híbridos H-386A, Remaco-15A y el testigo NA-35 presentaron el 50 % de floración femenina a los 58 días, el híbrido H-443A y los testigos Castaño y Sur-42 lo presentaron un día después, mientras que el híbrido SP-528A, las variedades Pob.Am.C1, V-556A, Pob.Am.C2, Pob.Am.C0, la variedad nativa Thaiska y la variedad Comiteca V-238AC estuvieron entre los 61 y 68 días de floración femenina, y las variedades nativas Olotillo A1, A2 y A3 fueron las más tardías con 72, 74 y 76 días, respectivamente (Cuadro 4).

Cuadro 4. Medias de los caracteres de planta de los genotipos evaluados en P.V. 2018 y 2019.

Genotipos	DFF	DFM	AP (cm)	AMz (cm)
Olotillo-A3	76 a	74 a	325 ab	182 a
Olotillo-A2	74 b	71 ab	320 ab	181 a
Olotillo-A1	72 b	69 b	330 a	191 a
V-238AC	68 c	66 c	286 cd	156 b
Thaiska	65 cd	63 cd	302 bc	155 bc
Pob.Am.C0	63 de	61 de	291 cd	141 bc
Pob.Am.C2	62 e	61 def	271 d	133 c
V-556A	62 ef	60 efg	272 d	134 bc
Pob.Am.C1	62 efg	60 efgh	285 cd	139 bc
SP-528A	61 efgh	60 efghi	239 ef	89 ed
Sur-42	59 fghi	58 fghij	236 ef	99 ed
Castaño	59 ghi	57 ghij	241 e	92 ed
H-443A	59 hi	57 ij	222 ef	92 ed
NA-35	58 i	57 hij	221 ef	82 ed
H-386A	58 i	57 j	240 e	96 ed
Remaco-15A	58 i	56 j	238 ef	92 ed
24-Kilates	58 i	56 j	230 ef	94 ed
HV-60A2	51 j	49 k	213 f	87 ed
HV-59A	51 j	49 k	240 ef	105 ed
HV-60A1	51 j	49 k	226 ef	97 ed
H-UNAM	50 j	48 k	231 ef	94 ed
Promedio:	61	59	260.0	120.5
Máximo:	76	74	330.0	190.6
Mínimo:	50	48	213.3	81.7

DFF = Días a floración femenina; DFM = Días a floración masculina; AP = Altura de planta; AMz = Altura de mazorca

* Cantidades con letras diferentes son estadísticamente diferentes

En el carácter días a floración masculina, los híbridos varietales fueron más precoces con 49 días; los híbridos Remaco-15A y 24-Kilates presentaron la floración a los 56 días; los híbridos H-443A, H-386A y los testigos Castaño y NA-35 a los 57 días, mientras que el testigo Sur-42 a los 58 días; el testigo SP-528A, y las variedades V-556A y Pob.Am.C1 a los 60 días; las variedades Pob.Am.C0 y Pob.Am.C2 a los 61 días; las variedades nativas Olotillo A1, A2 y A3 fueron las más tardías con 69, 71 y 74 días, respectivamente (Cuadro 4).

El HV-60A2 presentó el porte más bajo con 213 cm, H-443A, H-386A, Remaco-15A, HV-59A, HV-60A1, H-UNAM, y los testigos SP-528A, Sur-42, Castaño, NA-35 y 24-Kilates fueron estadísticamente iguales con 241 cm el máximo y 221 cm el mínimo (Cuadro 4). Las variedades Pob.Am.C0 (291 cm), V-238AC (286 cm), Pob.Am.C1 (285 cm), V-556A (272 cm), Pob.Am.C2 (271 cm) fueron estadísticamente iguales, la variedad Thaiska tuvo una altura de 302 cm, mientras que las plantas estadísticamente más altas fueron las de Olotillo-A1(330 cm), Olotillo-A3 (325 cm) y Olotillo-A2 (320 cm) (Cuadro 4).

Los híbridos varietales HV-59A, HV-60A1, HV-60A2 y H-UNAM, los híbridos convencionales H-386A, H-443A, Remaco-15A, y los testigos SP528A, Sur-42, Castaño, NA-35 y 24-Kilates tuvieron estadísticamente la misma altura de mazorca, con altura máxima de 105 cm y mínima de 82 cm. Las variedades mejoradas junto con la variedad Thaiska presentaron igualdad estadística para altura de mazorca, mientras que Olotillo-A1 (191 cm), Olotillo-A2 (181 cm) y Olotillo-A3 (182 cm) tuvieron estadísticamente las mazorcas más altas.

Ramírez *et al.* (2017) evaluaron el híbrido H-386A en la localidad de Ocozocoautla en el ciclo agrícola de temporal del 2009, observando que los días a floración femenina y masculina se presentaban a los 59 y 58 días y la altura de planta y mazorca fueron de 199 y 86 cm, respectivamente. Los resultados obtenidos en el actual trabajo son diferentes en un día con respecto a los días a floración, mientras que las plantas y mazorcas fueron más altas en el presente trabajo por 41 y 10 cm, respectivamente.

Reyes *et al.* (2009) evaluaron el híbrido H-443A en tres ciclos de riego de otoño-invierno de 2005 a 2008 en localidades de los estados de Chihuahua y Tamaulipas con altitudes por debajo de los 1,000 msnm; reportaron que la floración femenina y masculina se registró a los 78 y 77 días, la altura de la planta osciló entre los 191 y 220 cm. Al evaluar este híbrido en las tres localidades de Chiapas se encontró que las plantas fueron 19 y 20 días más precoces y la planta tuvo una altura similar a las publicadas por estos investigadores.

Los híbridos varietales HV-59A, HV-60A1 y HV60A2 y el híbrido H-UNAM fueron formados mediante el cruzamiento de progenitores de variedades mejoradas con

líneas o híbridos de cruza simples, los cuales tienen germoplasma subtropical y han sido formadas para altitudes arriba de los 2000 m, y han presentado en esas zonas floraciones por arriba de los 70 días (Tadeo *et al.*, 2015). En la presente investigación, estos híbridos presentaron fenotipos indeseables para la explotación comercial, con los tallos demasiado delgados susceptibles a enfermedades y de muy baja germinación, por lo que no son adaptables al clima cálido subhúmedo de la Depresión Central de Chiapas.

Coutiño *et al.* (2015b) establecieron experimentos en Ocozocoautla y Villaflores, utilizando diferentes poblaciones nativas para calidad elotera, y observaron que la floración femenina se presentó a los 64 días y la altura de mazorca estuvo de 131 cm para Olotillo amarillo. Martínez *et al.* (2017a) caracterizaron variedades nativas en Ocozocoautla, y encontraron para Olotillo: floración masculina de 61 a 68 días y floración femenina de 62 a 70 días; alturas de planta de 200.6 a 260.6 cm y alturas de mazorca de 87.9 a 136.9 cm. Las poblaciones de Olotillo amarillo evaluadas en la presente investigación superaron los valores de los autores citados, ya que los valores obtenidos se relacionan más con los descritos por Wellhausen *et al.* (1951). Sólo la variedad Thaiska presentó la floración masculina y femenina dentro de los promedios reportados por Martínez *et al.* (2017a).

4.2 Comparación de los caracteres de mazorca y rendimiento de grano

Los caracteres longitud de mazorca, diámetro de mazorca, número de hileras, número de granos por hilera, número de granos por mazorca, diámetro de olote y rendimiento de grano presentaron variaciones altamente significativas ($P \leq 0.01$) entre las localidades, debido a las condiciones ambientales de cada una. La longitud de mazorca fue el único carácter que mostró diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre repeticiones; se infiere que las condiciones del suelo influyeron significativamente en este carácter, por otro lado, para la interacción repeticiones dentro de localidades fue altamente significativa ($P \leq 0.01$) para longitud de mazorca, número de granos por hilera, número de granos por mazorca y rendimiento de grano, también, entre variedades hubieron diferencias altamente significativas para todos los caracteres de mazorca (Cuadro 5).

En la interacción localidad x variedad hubo diferencias significativas ($P \leq 0.05$) para longitud de mazorca, número de granos por hileras, número de granos por mazorca y diámetro de olote, mientras que en el rendimiento de grano las diferencias fueron altamente significativas ($P \leq 0.01$). La alta variabilidad del rendimiento de grano entre localidades, en la interacción repetición dentro de localidades, entre variedades y la interacción localidades x variedades se explica por el uso de genotipos de diferentes genealogías, por las diferentes fechas de siembra, así como las condiciones climáticas y características de suelo de las localidades.

Cuadro 5. Cuadrados medios de los caracteres de mazorca y rendimiento de grano de los genotipos evaluados en P.V. 2018 y 2019.

F.V.	LMz	DMz	NH	NGH	NGMz	DO	Rend
Localidades	40.9 **	0.8 **	10.0 **	184.5 **	46440.7 **	0.5 **	12.5 **
Repeticiones	8.1 *	0.2 NS	0.1 NS	31.5 NS	5591.1 NS	0.1 NS	0.9 NS
Rep (Loc)	6.5 **	0.2 NS	1.4 *	40.6 **	7381.2 **	1.4 NS	2.7 **
Variedades	42.3 **	2.1 **	92.9 **	150.8 **	112849.6 **	29.7 **	52.2 **
Loc*Var	1.9 *	0.2 NS	0.9 NS	11.6 *	3477.8 *	1.4 *	1.9 **
Error	1.2	0.2	0.7	8.9	2324.4	0.04	0.8
C.V.	7.6	9.9	6.5	9.4	11.8	8.9	25.8

F.V. = Fuente de variación; Rep(Loc) = Interacción repetición dentro de localidad; Loc*Var = Interacción localidad por variedad; C.V. = Coeficiente de variación.

* = Significancia al 0.05; ** = Significancia al 0.01; ns = no significativo.

LMz = Longitud de mazorca; DMz = Diámetro de mazorca; NH = Número de hileras; NGH = Número de granos por hilera;

NGMz = Número de granos por mazorca; DO = Diámetro de olote; Rend = Rendimiento de grano.

El coeficiente de variación más alto fue para el rendimiento de grano (25.8 %), y de manera descendente el número de granos por mazorca (11.8 %), diámetro de mazorca (9.9 %), número de granos por hilera (9.4 %), diámetro de olote (8.9 %), longitud de mazorca (7.6 %) y número de hileras por mazorca (6.5 %); se puede decir que el coeficiente de variación depende de la variable, las condiciones ambientales presentes y el manejo del experimento, por lo que, en términos generales los valores fueron relativamente bajos, lo que da confianza en los resultados obtenidos.

El carácter longitud de mazorca tuvo un promedio de 14.5 cm; las localidades donde estadísticamente se tuvieron los promedios más altos fue en Villaflores en P.V. 2018 y Ocozocoautla en P.V. 2019 con 15.4 y 15.2 cm, respectivamente, mientras que en la localidad de Jiquipilas se obtuvo las mazorcas más cortas con 13.6 cm en P.V. 2019 y 13.5 cm en P.V. 2018 (Cuadro 6). Las variedades nativas presentaron estadísticamente las mazorcas más largas con 16.9 cm para Olotillo-A1 y Olotillo-A2 y 16.8 cm para Olotillo-A3, por otro lado, las variedades mejoradas V-238AC (15.7 cm), Pob.Am.C0 (15.5 cm), Pob.Am.C1 (15.4 cm), Pob.Am.C2 (15.3 cm) y V-556A (14.8 cm) tuvieron igualdad estadística con los híbridos Castaño (15 cm), H-443A (14.6 cm), SP-528A (14.6 cm), H-386A (14.5 cm), Sur-42 (14.5 cm) y 24-Kilates (14.4cm), y los híbridos varietales HV-59A, HV-60A1, H-UNAM, HV-60A2 tuvieron las mazorcas más cortas con 12.7, 12.3, 12.1 y 11.6 cm, respectivamente (Cuadro 7).

El diámetro de mazorca tuvo un promedio de 4.1 cm, mostrando igualdad estadística entre localidades, excepto en Jiquipilas en P.V. 2018, donde el promedio fue de 3.9 cm (Cuadro 6). Las mazorcas más gruesas las tuvieron los híbridos NA-35 (4.6 cm), Remaco-15A (4.5 cm), H-443A (4.4 cm) y la variedad V-556A (4.4 cm), mientras que

la variedad Comiteca V-238AC y la variedad nativa Olotillo-A3 tuvieron las mazorcas más delgadas con 3.5 y 3.4 cm, respectivamente (Cuadro 6).

Cuadro 6. Comparación de medias entre localidades de los caracteres de mazorca de los genotipos evaluados en P.V. 2018 y 2019.

Localidad	P.V.	LMz (cm)	DMz (cm)	NH	NGH	NGMz	DO (cm)
Ocozocoautla	2018	14.3 b	4.0 ab	12 bc	33 a	414 a	2.2 bc
Ocozocoautla	2019	15.2 a	4.1 a	13 a	32 ab	424 a	2.3 ab
Villaflores	2018	15.4 a	4.1 a	13 a	33 a	432 a	2.4 a
Villaflores	2019	14.9 ab	4.2 a	13 a	33 a	428 a	2.2 bc
Jiquipilas	2018	13.5 c	3.9 b	12 c	31 b	372 b	2.2 bc
Jiquipilas	2019	13.6 c	4.1 a	13 a	29 c	375 b	2.1 c
Promedio:		14.5	4.1	13	32	407	2.2
Máximo:		15.4	4.2	13	33	432	2.4
Mínimo:		13.5	3.9	12	29	372	2.1

* Valores medios con las mismas letras son estadísticamente iguales.

P.V. = Ciclo agrícola de temporal primavera-verano; LMz = Longitud de mazorca; DMz = Diámetro de mazorca; NH = Número de hileras; NGH = Número de granos por hilera; NGMz = Número de granos por mazorca; DO = Diámetro de olote.

Para el carácter número de hileras se tuvo un promedio de 12 a 14 hileras por mazorca, donde, las localidades Ocozocoautla en 2019, Villaflores en 2018 y 2019 y Jiquipilas en 2019 fueron estadísticamente iguales (Cuadro 6). Las mazorcas con el mayor número de hileras se presentaron en el híbrido NA-35 con 17 hileras en promedio, y las mazorcas con el menor número de hileras se tuvieron en Thaiska (10 NH), Olotillo-A1 (9 NH), Olotillo-A2 (9 NH) y Olotillo-A3 (8 NH) (Cuadro 6).

El carácter número de granos por hilera tuvo un promedio de 32 granos por hilera, donde la localidad de Villaflores en P.V. 2018 y 2019 y la localidad Ocozocoautla en P.V. 2018 presentaron estadísticamente el mayor número de granos por hilera (Cuadro 6). Las variedades que tuvieron estadísticamente el mayor número de granos por hilera fueron las nativas Olotillo-A2 (36), Olotillo-A1 (35) y el híbrido testigo SP528A (35), mientras que los híbridos varietales HV-60A1 (27), HV-60A2 (27) y H-UNAM (26) tuvieron menos granos por hileras (Cuadro 7).

El carácter número de granos por mazorca presentó igualdad estadística entre las localidades Ocozocoautla y Villaflores en los dos ciclos de evaluación, aunque la localidad de Jiquipilas fue estadísticamente inferior para este carácter en los dos ciclos (Cuadro 6). El promedio fue de 407 granos por mazorca, donde el híbrido testigo NA-35 tuvo el máximo número con 568 granos por mazorca, mientras que Olotillo-A3 tuvo el mínimo con 257 granos (Cuadro 7). Los híbridos tropicales y las variedades mejoradas tuvieron amplitud de 488 a 432 granos por mazorca, las variedades nativas

presentaron de 326 a 257 granos por mazorca, y los híbridos varietales tuvieron entre 383 a 336 granos por mazorca (Cuadro 7).

Cuadro 7. Comparación de medias de los caracteres de mazorca de los genotipos.

Genotipo	LMz (cm)	DMz (cm)	NH	NGH	NGMz	DO (cm)
Castaño	15.0 cd	4.3 abc	14 b	34 ab	488 b	2.4 abcde
24-Kilates	14.4 cd	4.4 ab	14 b	33 ab	469 bc	2.4 abcd
H-443A	14.6 cd	4.4 a	14 b	33 ab	461 bc	2.5 ab
Remaco-15A	13.8 de	4.5 a	14 b	33 ab	476 b	2.6 a
Sur-42	14.5 cd	4.3 abc	14 b	32 ab	471 bc	2.4 abc
SP-528A	14.6 cd	4.1 abcd	14 b	35 a	477 b	2.3 bcde
H-386A	14.5 cd	4.3 abc	13 bcd	31 bc	414 cd	2.5 a
NA-35	12.9 ef	4.6 a	17 a	33 ab	568 a	2.4 Abc
Pob.Am.C1	15.4 bc	4.3 abc	13 d	33 ab	434 bcd	2.4 abc
Pob.Am.C2	15.3 c	4.3 abc	13 cd	33 ab	446 bc	2.4 ab
V-556A	14.8 cd	4.4 a	14 b	32 ab	459 bc	2.6 a
Pob.Am.C0	15.5 bc	4.3 abcd	13 d	33 ab	432 bcd	2.4 abc
Olotillo-A1	16.9 a	3.7 ef	9 g	35 a	306 fg	1.8 g
Thaiska	14.4 cd	3.9 cdef	10 ef	34 ab	327 ef	1.9 fg
Olotillo-A2	16.9 a	4.1 abcde	9 fg	36 a	326 ef	1.8 g
Olotillo-A3	16.8 ab	3.4 f	8 g	32 ab	257 g	1.7 g
HV-60A1	12.3 f	3.8 ef	13 d	27 d	346 ef	2.2 def
HV-59A	12.7 ef	3.9 bcdef	14 b	28 cd	383 de	2.2 cde
HV-60A2	11.6 f	3.8 def	14 b	27 d	382 de	2.2 cde
H-UNAM	12.1 f	3.7 ef	13 d	26 d	336 ef	2.1 ef
V-238AC	15.7 abc	3.5 f	11 e	28 cd	302 fg	2.1 ef
Promedio:	14.5	4.1	13	32	407	2.2
Máximo:	16.9	4.6	17	36	568	2.6
Mínimo:	11.6	3.4	8	26	257	1.7

+ Cantidades con letras diferentes son estadísticamente diferentes.

LMz = Longitud de mazorca; DMz = Diámetro de mazorca; NH = Número de hileras; NGH = Número de granos por hilera; NGMz = Número de granos por mazorca; DO = Diámetro de olote.

El diámetro del olote tuvo una variación de 0.1 cm entre los dos ciclos de evaluación en las localidades de Ocozocoautla y Jiquipilas, entre tanto, en Villaflores hubo una variación de 0.2 cm entre los dos ciclos de evaluación; variación que marcó diferencia significativa entre ciclos de evaluación para esta localidad (Cuadro 6). El híbrido Remaco-15A (2.6 cm), la variedad V-556A (2.6 cm) y el híbrido H-386A (2.5 cm) fueron los que tuvieron el mayor diámetro de olote estadísticamente, a la vez que, Olotillo-A1 (1.8 cm), Olotillo-A2 (1.8 cm) y Olotillo-A3 (1.7 cm) presentaron los olotes con el menor diámetro (Cuadro 7).

Reyes *et al.* (2009) reportaron que el híbrido H-443A tiene mazorcas de forma cónica con 14 a 16 hileras y de 31 a 40 granos por hileras. Por otro lado, Ramírez *et al.* (2017) describieron 12 hileras por mazorca para el híbrido H-386A. Los datos publicados por estos autores coinciden con los promedios obtenidos en la presente evaluación.

Wellhausen *et al.* (1951) documentaron a las mazorcas de la raza Olotillo como: largas, cilíndricas de 3.6 a 3.9 cm de diámetro, de olote flexible de 2.1 a 2.4 cm de diámetro, con 8 a 10 hileras, granos anchos muy anchos, endospermo generalmente suave y blando. Por otro lado, Navarro *et al.* (2012) caracterizaron a las mazorcas con: 15.51 cm de longitud, 10.41 hileras, 33.51 granos por hilera, 349 granos por mazorca y 2.18 cm de diámetro de olote; descripciones que concuerdan con los promedios obtenidos de las variedades nativas evaluadas. Coutiño *et al.* (2019) describieron características de 45 variedades de la raza Olotillo, colectadas en Nayarit, Guerrero, Oaxaca y Chiapas, indicando que las mazorcas de esta raza son de 18.3 cm de longitud, 4.1 cm de diámetro, 10 hileras con 45 granos, 2.1 cm de diámetro de olote y desgrane de 0.90.

Coutiño y Vázquez (2018) describieron a la mazorca de la variedad V-238AC de forma cónica con 20 cm de largo y 4 cm de diámetro, con 12 a 16 hileras y en cada hilera entre 40 y 45 granos. Se estima que las condiciones climáticas de las localidades de prueba influyeron en los caracteres de mazorca ya que las mazorcas tuvieron 4.3 cm menos de largo, de diámetro tuvieron 0.5 cm menos, presentaron 11 hileras en promedio y los granos por hilera se redujeron hasta en 17 granos menos.

De acuerdo al análisis de varianza, donde se demostró que hubo variabilidad altamente significativa entre localidades, se realizó la prueba de medias con la prueba de Tukey al 5 % para saber en qué localidades hubo diferencias entre los dos ciclos de evaluación, se observó que el rendimiento en la localidad de Ocozocoautla fue estadísticamente igual en los dos ciclos de evaluación con rendimientos de 3.364 t ha⁻¹ en P.V. 2018 y 3.673 t ha⁻¹ en P.V. 2019, por otro lado, en la localidad de Jiquipilas los rendimientos fueron estadísticamente diferentes por 935 kg entre los dos ciclos de evaluación, ya que en P.V. 2018 se tuvo un rendimiento de 3.802 t ha⁻¹ y decayendo por 935 kg en P.V. 2019; se estima que los factores ambientales influyeron en la disminución del rendimiento, ya que cuando las plantas estaban entre V4 y V6 se presentó una fuerte precipitación pluvial acompañada con fuertes vientos, lo que ocasionó el acame de aproximadamente el 50 % de las plantas de todas las unidades experimentales, también se tuvieron daños en planta y mazorca ocasionados por la fauna. En la localidad de Villaflores se tuvo un rendimiento de 4.187 t ha⁻¹ en P.V. 2018, siendo estadísticamente superior en 12.9 % al rendimiento obtenido en P.V. 2019, también fue 24.5 y 13.9 % superior a los rendimientos obtenidos en Ocozocoautla en 2018 y 2019 respectivamente, también superó en 10 y 46 % a los rendimientos de Jiquipilas en P.V. 2018 y 2019, respectivamente (Figura 17).

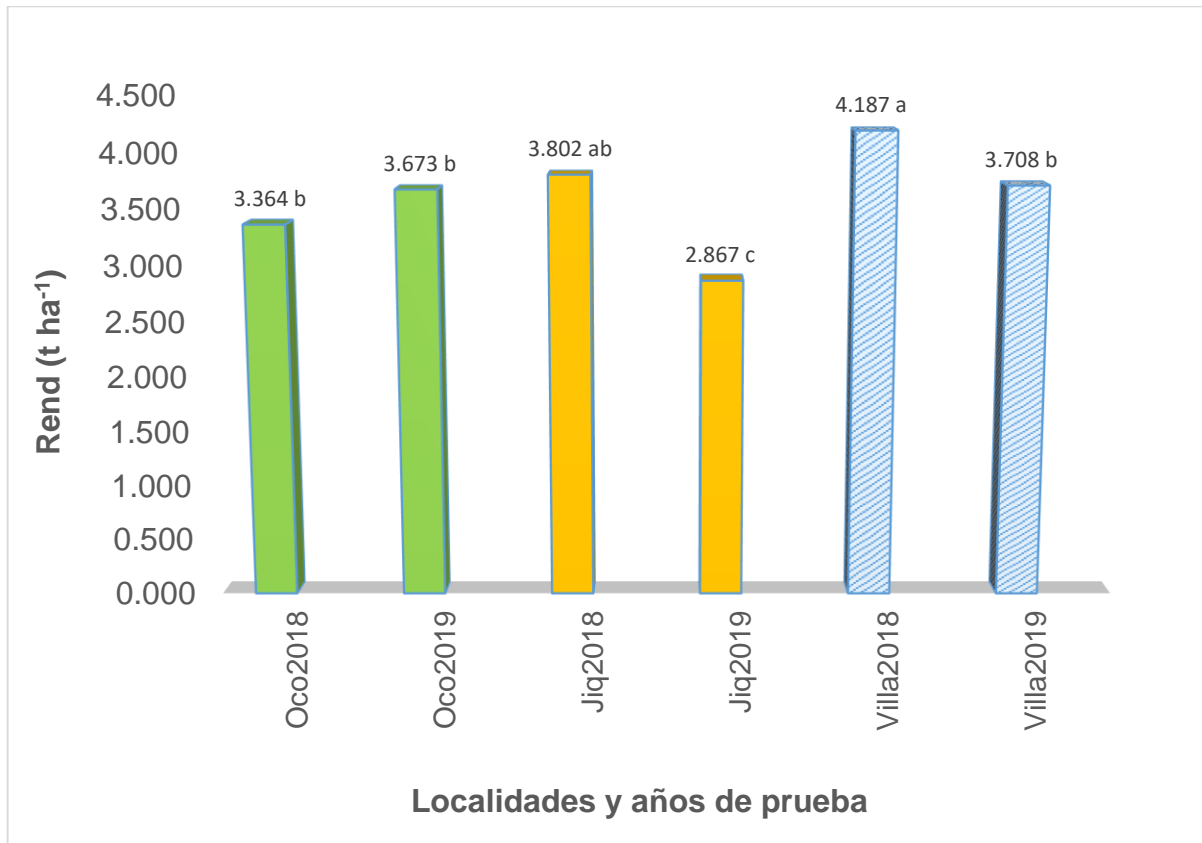


Figura 17. Comparación del rendimiento de grano entre localidades de los genotipos evaluados en P.V. 2018 y 2019.

Se estima que el mayor rendimiento de grano obtenido en Villaflores en 2018 se debe a la mayor cantidad y distribución del agua precipitada en ese año, en comparación a las observadas en Ocozocoautla y Jiquipilas en los dos años de evaluación y a la de la misma localidad en el año 2019 (Cuadro 1A), adicionalmente, al comparar los análisis de suelos realizados en los tres sitios de evaluación se encontró que las localidades de Ocozocoautla y Jiquipilas presentaron mejores condiciones de textura y pH de suelo, así como mayores contenidos de nitrato y fósforo disponible en Ocozocoautla y de potasio tanto en Ocozocoautla como en Jiquipilas, aunque la relación calcio/potasio, magnesio/potasio y calcio+magnesio/potasio fue más baja en Villaflores en comparación a las otras dos localidades (Cuadro 2A).

Paliwal *et al.* (2001) mencionaron que las sequías reducen los rendimientos del maíz cerca del 15 % en las tierras bajas tropicales y subtropicales, que el maíz cultivado en las tierras bajas necesita al menos 500 mm de lluvia bien distribuida a lo largo de todo el ciclo del cultivo, y que el impacto de un periodo de restricción en la disponibilidad de agua sobre el crecimiento del cultivo es influenciado por numerosos factores, tales como la etapa de crecimiento del cultivo, el área foliar, el volumen de las raíces, el déficit de la presión de vapor atmosférico, la temperatura y la radiación solar.

Los genotipos sobresalientes en todas las localidades de evaluación fueron los híbridos, donde el testigo Castaño fue el de mayor rendimiento: 6.193 t ha⁻¹, igualándolo estadísticamente en orden descendente los híbridos 24-Kilates, H-443A, Remaco-15A y Sur-42 con 5.757, 5.691, 5.493 y 5.413 t ha⁻¹ (Cuadro 8). El híbrido Castaño expresó el máximo rendimiento de 6.920 t ha⁻¹ en Jiquipilas en P.V. 2018 y el mínimo rendimiento de 4.902 t ha⁻¹ en Ocozocoautla en el mismo ciclo de evaluación (Cuadro 3A), el híbrido 24-Kilates expresó su máximo rendimiento (6.5 t ha⁻¹) en Villaflores en P.V. 2019 y el mínimo (4.836 t ha⁻¹) en Jiquipilas en ese mismo año (Cuadro 8).

El híbrido H-443A mantuvo su rendimiento arriba de las 5.4 t ha⁻¹ expresando su máximo rendimiento de 6.006 t ha⁻¹ en Jiquipilas en P.V. 2018, y el híbrido Remaco-15A tuvo su máximo rendimiento de 6.399 t ha⁻¹ en Jiquipilas en P.V. 2018, decayendo a 3.873 t ha⁻¹ en P.V. 2019 en esa misma localidad (Cuadro 3A). En ninguna de las localidades se alcanzó el rendimiento mínimo de 6.8 t ha⁻¹ reportado por Reyes *et al.* (2009), quienes afirman que este híbrido tiene un potencial de rendimiento de 7.1 t ha⁻¹ utilizando la dosis de fertilización 140N-40P-00K, y con densidad de plantas de 60 a 65 mil plantas por hectárea.

El híbrido testigo Sur-42 expresó los mejores rendimientos en P.V. 2019 con 6.192 t ha⁻¹ (Cuadro 8), alcanzando el máximo rendimiento en Villaflores con 7.184 t ha⁻¹, mientras que en P.V. 2018 el máximo rendimiento obtenido de este híbrido fue de 5.809 t ha⁻¹ en Jiquipilas y el más bajo fue de 3.980 t ha⁻¹ en Ocozocoautla (Cuadro 3A). El híbrido testigo SP-528A mantuvo su rendimiento en los dos ciclos de evaluación con rendimientos de 4.85 y 5.24 t ha⁻¹ en los ciclos agrícolas P.V. 2018 y 2019, respectivamente (Cuadro 8).

EL híbrido H-386A estuvo entre los genotipos sobresalientes en P.V. 2018, con rendimiento promedio de 5.802 t ha⁻¹ (Cuadro 8), logrando el máximo rendimiento de 6.024 t ha⁻¹ en Ocozocoautla, y de 5.607 t ha⁻¹ en Jiquipilas, mostrando adaptación a los suelos franco-arcillosos y con bajas precipitaciones en el caso de la localidad de Ocozocoautla. En P.V. 2019, se terminó la semilla que había proporcionado el Campo Experimental Centro-Altos de Jalisco para efectuar la siembra de ese año, por lo que se pidió más semilla, pero no hubo, por lo que se adquirió semilla de una empresa semillera de Michoacán que vende este material. Se estima que el origen de la semilla tuvo que ver en el rendimiento obtenido en ese ciclo, ya que bajó significativamente en 43.5 % su rendimiento obtenido en Ocozocoautla con 6.114 t ha⁻¹ (Cuadro 3A). Ramírez *et al.* (2017) reportaron rendimientos de 9.2 t ha⁻¹ de este híbrido H-386A en la localidad de Ocozocoautla con buen temporal en el ciclo agrícola P.V. de 2009.

Cuadro 8. Comparación de medias de los híbridos y variedades amarillas en los dos años de evaluación.

Genotipos	Rendimiento de grano (t ha ⁻¹)		
	P.V. 2018	P.V. 2019	Promedio
Castaño	6.114 a	6.271 a	6.193 a
24-Kilates	5.997 ab	5.516 a	5.757 ab
H-443A	5.757 abc	5.625 ab	5.691 ab
Remaco-15A	5.723 abc	5.261 abc	5.493 abc
Sur-42	4.634 abcde	6.192 a	5.413 abc
SP-528A	4.853 abcd	5.246 abc	5.050 bcd
H-386A	5.802 abc	3.277 def	4.539 cde
NA-35	4.466 bcdef	4.340 bdc	4.403 cde
Pob.Am.C1	4.856 abcd	3.485 de	4.171 de
Pob.Am.C2	4.381 bcdef	3.857 cde	4.119 de
V-556A	4.289 cdef	3.583 de	3.936 def
Pob.Am.C0	4.045 defg	3.805 cde	3.925 ef
Olotillo-A1	3.135 efgh	2.849 defg	2.992 fg
Thaiska	2.965 fghi	2.777 efg	2.871 fgh
Olotillo-A2	2.498 ghij	2.420 efgh	2.459 ghi
Olotillo-A3	1.866 hij	1.836 fghi	1.851 hij
HV-60A1	1.993 hij	1.368 ghi	1.681 ij
HV-59A	2.035 hij	1.152 hi	1.593 ij
HV-60A2	1.497 ji	1.107 hi	1.302 j
H-UNAM	1.403 ji	0.974 hi	1.188 j
V-238AC	1.161 j	0.790 i	0.976 j
Promedio:	3.784	3.416	3.600
Máximo:	6.114	6.271	6.193
Mínimo:	1.161	0.790	0.976

* Cantidades con letras diferentes son estadísticamente diferentes.

P.V. = Ciclo agrícola primavera-verano de temporal.

La variedad experimental Pob.Am.C1 rindió en promedio 4.171 t ha⁻¹, expresando sus mejores rendimientos en P.V. 2018 con 4.856 t ha⁻¹ (Cuadro 8), y el rendimiento más alto se obtuvo en Villaflores con 5.985 t ha⁻¹. En P.V. 2019 su rendimiento bajó a 3.485 t ha⁻¹; presentando el máximo rendimiento de 3.786 t ha⁻¹ en Jiquipilas, a pesar de las condiciones bióticas y abióticas del lugar en comparación con las otras dos localidades (Cuadro 3A). De manera similar, la variedad experimental Pob.Am.C2 tuvo un rendimiento promedio de 4.119 t ha⁻¹, destacando sus mejores rendimientos en el ciclo agrícola P.V. de 2018 (Cuadro 8), ya que en Villaflores y Ocozocoautla se obtuvieron los rendimientos más altos con 5.276 y 4.890 t ha⁻¹, respectivamente (Cuadro 3A).

El rendimiento promedio de la variedad experimental Pob.Am.C0 y del testigo V-556A fue de 3.9 t ha⁻¹, teniendo sus mejores rendimientos en P.V. 2018 con 4.045 y 4.289 t ha⁻¹, respectivamente (Cuadro 8); en ese ciclo agrícola, la variedad V-556A tuvo su rendimiento más alto en Villaflores con 5.180 t ha⁻¹, mientras que la variedad Pob.Am.C0 el rendimiento más alto lo expresó en Jiquipilas con 4.755 t ha⁻¹ (Cuadro 3A).

El rendimiento promedio de Olotillo-A1, Thaiska, Olotillo-A2 y Olotillo-A3 fue de 2.992, 2.871, 2.459 y 1.859 t ha⁻¹, respectivamente; las variedades Olotillo-A1 y Thaiska manifestaron rendimientos por arriba de las 3 t ha⁻¹. La variedad Olotillo-A1 manifestó rendimientos de 3.677 y 3.442 t ha⁻¹ en las localidades de Ocozocoautla y Villaflores en P.V. 2018 y 3.220 t ha⁻¹ en la localidad de Jiquipilas en P.V. 2019; por lo que se estima que la variedad Olotillo-A1 presentó mejor adaptación a las diferentes condiciones edáficas y climáticas de las localidades. La variedad Thaiska manifestó rendimientos de 3.682 t ha⁻¹ en Villaflores en P.V. 2018 y 3.9 t ha⁻¹ en la misma localidad en 2019 (Cuadro 3A); esta variedad fue la segunda mejor, después de Olotillo-A1, presenta una alta variabilidad en el color del grano y olote, con mazorcas rojas, amarillas, cremas o mazorcas variegadas.

En investigaciones anteriores se han observado variedades nativas con buenos rendimientos. Coutiño *et al.* (2015b) en el año 2009 registraron rendimientos de 5.437 t ha⁻¹ en Olotillo amarillo en las localidades de Villaflores y Ocozocoautla utilizando las dosis de fertilización 150N-60P-00K y 120N-40P-00K, respectivamente en cada localidad. Cabrera (2018) encontró que hay variedades criollas de grano color amarillo cultivadas en Ocozocoautla que tienen rendimientos que varían de 6.9 a 2.5 t ha⁻¹, por lo que recomienda el cultivo de la variedad Amarillo 4 por su mejor rendimiento de 6.9 t ha⁻¹.

La variedad V-238AC tuvo el rendimiento de grano más bajo de todo el grupo evaluado con 0.967 t ha⁻¹; el máximo rendimiento obtenido por este material fue de 1.467 t ha⁻¹ en Villaflores en P.V. 2018 (Cuadro 3A). Esta variedad es un maíz con alta calidad de proteína (QPM), la cual fue formada para regiones con altitudes entre 1200 a 1800 m y clima semicálido subhúmedo, su floración masculina es a los 101 días aproximadamente, es de ciclo largo (200 días a cosecha) y con rendimiento de hasta 5.2 t ha⁻¹ (Coutiño y Vázquez, 2018). Al evaluar esta variedad en las tres localidades de la Depresión Central, las cuales son de clima cálido subhúmedo y altitudes entre los 500 y 800 msnm, la planta tuvo un crecimiento más rápido y redujo su floración 33 días aproximadamente, por lo que se estima que hicieron falta las condiciones climáticas para reunir los fotosintatos necesarios para expresar un buen rendimiento.

De las variedades experimentales, los híbridos H-443A y Remaco-15A mostraron estadísticamente los mejores rendimientos y estabilidad en todos los ambientes

evaluados. La variedad Pob.Am.C1 fue la de mayor rendimiento y mejor estabilidad de entre todas las variedades mejoradas evaluadas, y la variedad nativa Olotillo-A1 se adaptó mejor a los ambientes de prueba con respecto al rendimiento de grano.

Hallauer y Miranda (1981) mencionaron que el rendimiento de grano es el resultado de la expresión total del genotipo, desde que la semilla se siembra hasta la cosecha, por lo tanto, el rendimiento es la expresión combinada del genotipo y el ambiente a lo largo de todo el periodo de crecimiento y desarrollo.

Barrales *et al.* (1984), citado por López *et al.* (2017) afirmaron que el rendimiento de grano está asociado no sólo con la cantidad, sino también con la distribución de agua durante el periodo de floración femenina, etapa muy sensible al déficit de humedad, ya que al estar húmedo y expuesto el jilote, es más probable que el polen se quede ahí, aumentando así el rendimiento. Por otro lado, Silva *et al.* (2009) al evaluar cinco líneas amarillas en cinco ambientes de prueba con diferentes fechas de siembra detectaron bajo el efecto ambiental por las fechas de siembra en las variables longitud de mazorca, diámetro de mazorca y número de hileras por mazorca, evidenciado por la alta heredabilidad (>80 %), también coincidieron los rendimientos más altos con los picos más altos de radiación solar captada por las plantas, por último, mencionaron que el crecimiento y desarrollo de las plantas dependen de su constitución genética, además de las condiciones de suelo y clima en donde se ha establecido el cultivo.

4.3 Correlación y regresión múltiple entre el rendimiento de grano y los caracteres de planta y mazorca

En el análisis de correlación de Pearson, se encontró que los caracteres floración masculina y femenina, así como la altura de planta mostraron una correlación negativa no significativa, mientras que la altura de mazorca tuvo una correlación negativa baja significativa al 1%; lo que da a entender que la altura de la mazorca intervino negativamente en el rendimiento, pero sin causar cambios en él. Por otro lado, la longitud de mazorca mostró una correlación baja positiva altamente significativa, mientras que diámetro de mazorca (0.53), número de hileras (0.41), número de granos por hilera (0.50), número de granos por mazorca (0.66) y diámetro de olote (0.47) mostraron una correlación media positiva altamente significativa (Cuadro 9).

Los caracteres de mazorca estuvieron correlacionados positivamente con el rendimiento de grano, como lo mencionan Borroel *et al.* (2018) y Wellhausen *et al.* (1951), quienes afirmaron que la capacidad biológica para el crecimiento y desarrollo funcional de mazorcas es una característica que es influenciada por la genética de la planta (variedad o híbrido), condiciones del cultivo y características ambientales. Dichos factores inciden en las características que determinan los componentes de

producción, como lo es el diámetro y la longitud de mazorca, así como el número de granos por mazorca, los cuales están asociados al rendimiento de grano.

Cuadro 9. Coeficiente de correlación entre rendimiento de grano y caracteres de planta y mazorca.

Caracteres de planta y mazorca	Coeficiente de correlación con el rendimiento
Días a floración femenina	-0.087 NS
Días a floración masculina	-0.056 NS
Altura de planta	-0.062 NS
Altura de mazorca	-0.201 **
Longitud de mazorca	0.245 **
Diámetro de mazorca	0.535 **
Número de hileras	0.416 **
Número de granos por hilera	0.505 **
Número de granos por mazorca	0.660 **
Diámetro de olote	0.476 **

ns= no significativo; ** = altamente significativo

Al realizar el análisis de regresión para saber cuáles caracteres intervienen o afectan directamente el rendimiento de grano, se encontró que la altura de planta no representa alguna significancia en el rendimiento en el caso del presente estudio, dada la presencia de la alta variabilidad genética producto de los diversos orígenes de los maíces evaluados; en cambio, la longitud de mazorca, el número de granos por hilera y el diámetro de olote tienen una significancia de 5 % sobre el rendimiento, mientras que la altura de la mazorca, el diámetro de la mazorca y el número de granos por mazorca son altamente significativos para el rendimiento de grano (Cuadro 10).

Cuadro 10. Análisis de regresión múltiple entre rendimiento y algunos caracteres de planta y mazorca.

Caracteres de planta y mazorca	Coeficiente de regresión múltiple Stepwise
Altura de planta	0.621 NS
Altura de mazorca	0.607 **
Longitud de mazorca	0.600 *
Diámetro de mazorca	0.593 **
Número de granos por hilera	0.618 *
Número de granos por mazorca	0.435 **
Diámetro de olote	0.612 *

NS = no significativo; * = significativo al 0.05; ** = altamente significativo al 0.01.

4.4 Características físicas del grano

El análisis de las características físicas de grano de los genotipos analizados mostró diferencias altamente significativas ($P=0.01$) entre localidades para luminosidad (LG) y croma en grano (CrG). Entre variedades se encontró diferencias altamente significativas ($P=0.01$) en todas las variables físicas evaluadas. En la interacción localidad x variedad hubo diferencias altamente significativas ($P=0.01$) para todos los caracteres evaluados, excepto para humedad de grano, el cual mostró diferencias significativas ($P=0.05$). EL coeficiente de variación más alto se tuvo en el índice de flotación que fue de 24.11 %, mientras que en los demás caracteres se mantuvo por abajo del 5 %, lo que da confianza del buen manejo de los tratamientos (Cuadro 11).

Los caracteres diámetro de mazorca y número de hileras fueron estadísticamente iguales entre localidades en el P.V. 2019 (Cuadro 6), por lo tanto, el peso de 100 granos, peso hectolítrico e índice de flotación también fueron estadísticamente iguales entre las localidades. La igualdad estadística de estos caracteres se debió principalmente a la estabilidad de los genotipos más las condiciones ambientales de las localidades. La cantidad y distribución de las lluvias fue uno de los factores más influyentes porque, aunque la precipitación fue mayor en la localidad de Villaflores (959.70 mm) que en Ocozocoautla (577.20 mm) y Jiquipilas (634.70 mm), durante la floración y llenado de grano en Villaflores se tuvo 221.80 mm de agua; 25.2 mm más que en Ocozocoautla, y 5.8 mm menos que en Jiquipilas. La textura franca arcillosa del suelo de las localidades de Ocozocoautla y Jiquipilas fue un componente que contribuyó en la retención de agua por su menor conductividad hidráulica en comparación con el suelo franco arenoso de la localidad de Villaflores, el cual presentó mayor conductividad hidráulica.

Vázquez *et al.* (2012), al evaluar 21 genotipos en seis diferentes ambientes, reportaron que en el peso de 100 granos contribuían en 18.8 % los efectos del genotipo, en 54.7 % los efectos ambientales y en 14.1 % la interacción genotipo-ambiente, el PCG es un indicador del tamaño de grano, y entre mayor sea el PCG mayor será el tamaño del grano. En el peso hectolítrico influyó más el genotipo (35.9 %) que el efecto ambiental (21.3 %) y que la interacción genotipo-ambiente (24.8 %), mientras que en el índice de flotación, el cual es un método indirecto para determinar la dureza del grano, contribuyó más el efecto ambiental (41.9 %) que el genotipo (26.5 %) y la interacción genotipo-ambiente (19.9 %).

Cuadro 11. Cuadrados medios y significancia de las características físicas de grano de 10 genotipos evaluados en P.V. 2019.

F.V.	HG	PH	PCG	IF	LG	°HueG	CrG
Loc	0.05 ^{NS}	0.18 ^{NS}	4.74 ^{NS}	99.05 ^{NS}	20.25 ^{**}	2.85 ^{NS}	111.51 ^{**}
Var	0.51 ^{**}	25.43 ^{**}	66.39 ^{**}	1170.03 ^{**}	29.02 ^{**}	53.47 ^{**}	73.59 ^{**}
Loc*Var	0.23 [*]	4.10 ^{**}	10.52 ^{**}	352.29 ^{**}	6.35 ^{**}	3.21 ^{**}	15.23 ^{**}
Error	0.11	0.12	1.95	27.38	0.23	1.14	3.60
C.V.	2.39	0.43	4.57	24.11	0.77	1.51	4.91

F.V. = Fuente de variación; Loc = Localidad; Var = Variedad; Loc*Var = Interacción localidad por variedad; C.V. = Coeficiente de variación.

NS = no significativo; * = significativo; ** = altamente significativo.

HG = humedad de grano; PH = Peso hectolítrico; PCG = Peso de 100 granos; IF = Índice de flotación; LG = Luminosidad en grano; °HueG = °Hue en grano; CrG = Tono Croma en grano.

La humedad de grano promedio fue de 13.8 %, y la humedad más alta fue de 14.1 % reflejada en el híbrido H-443A y en la variedad mejorada Pob.Am.C3. Todos los genotipos estuvieron dentro de los parámetros de humedad máxima que la Norma Mexicana NMX-FF-034/1-SCFI-2002 establece para la elaboración de tortillas y botanas (Cuadro 13).

El peso hectolítrico promedio de los genotipos fue de 78.4 kg hL⁻¹, los mayores valores correspondieron a los híbridos Remaco-15A y Castaño con 81.3 y 81.1 kg hL⁻¹, respectivamente, mientras que, el peso mínimo fue para la variedad nativa Olotillo-A1 con 74.5 kg hL⁻¹ (Cuadro 13). Todos los genotipos cumplieron con el peso hectolítrico mínimo (74 kg hL⁻¹) que la Norma Mexicana NMX-FF-034/1-SCFI-2002 establece para la industria de la masa y la tortilla.

Palacios *et al.* (2016) afirmaron que el peso hectolítrico del grano está asociado con la densidad real del grano y, por lo tanto, con la dureza del grano y su sanidad; los granos que han sido dañados por los insectos tienen valores de peso hectolítrico más bajos que los granos sanos. Por otra parte, los granos con endospermo duro tienen una mayor densidad aparente, los lotes de granos con mayor humedad de grano tienen menor peso hectolítrico. También la forma y el tamaño del grano son importantes al determinar el peso hectolítrico porque influyen en la forma en que los granos se depositan en el recipiente de prueba.

El peso de 100 granos promedio fue de 30.5 g, correspondiente a granos de tamaño pequeño, de acuerdo a la Norma Mexicana NMX-034/1-CSFI-2002, no obstante, la variedad nativa Olotillo-A1 tuvo un tamaño de grano grande y estadísticamente superior, con 38.5 g, mientras que el híbrido Remaco-15 tuvo los granos menos pesados con 26.2 g y por tanto, fueron los granos de tamaño pequeño (Cuadro 13). Palacios *et al.* (2016) mencionaron que el peso de 100 granos es una medida indirecta del tamaño de grano, y que es una prueba importante, porque el tamaño del grano

está relacionado principalmente con el rendimiento de la masa y la tortilla, ya que las industrias de la masa-tortilla y harina nixtamalizada prefieren granos de tamaño uniforme para una cocción uniforme.

El índice de flotación de los genotipos fue de 22 granos flotantes, que los califica como maíces duros (NMX-FF-034/1-2002). La variedad Pob.Am.C3, el híbrido Remaco-15A y el testigo Castaño tuvieron granos muy duros con 12, 6 y 5 granos flotantes, respectivamente, mientras que la variedad nativa Olotillo-A1 y el híbrido H-386A tuvieron granos con dureza intermedia con 50 y 38 de índice de flotación (Cuadro 13).

Con respecto al color del grano, los genotipos tuvieron un promedio de 62.2 de luminosidad, de acuerdo a la escala HunterLab, la cual señala, que rangos de 51 a 100 son menos opacos y de cero a 50 son más opacos (oscuros) (Mendoza *et al.*, 2017). La escala más alta de luminosidad se tuvo en la localidad de Ocozocoautla (63.31), menor en Jiquipilas (61.4) y Villaflores (61.8) (Cuadro 12), se estima que la menor precipitación de la localidad de Ocozocoautla con respecto a las otras dos localidades y las fechas de siembras atrasadas en esta localidad influyeron en la luminosidad del grano como lo afirman Salazar *et al.* (2015), quienes encontraron que los tratamientos del experimento afectaron el color del grano del híbrido Puma, ya que el estrés por agua y nitrógeno generaron en el grano mayor brillo.

Cuadro 12. Comparación de medias de las características físicas de grano de los genotipos evaluados en tres localidades de Chiapas en P.V. 2019.

Localidades	HG (%)	PH (kg hL ⁻¹)	PCG (g)	IF	LG	HueG	CrG
Ocozocoautla	13.8 a	78.5 a	30.0 a	23 a	63.3 a	71.4 a	35.9 b
Villaflores	13.8 a	78.3 a	31.0 a	23 a	61.8 b	70.9 a	40.4 a
Jiquipilas	13.8 a	78.4 a	30.6 a	19 a	61.4 c	70.7 a	39.6 a

HG = % de humedad en grano; PH = Peso hectolítrico; PCG = Peso de 100 granos; IF = Índice de flotación; LG = Luminosidad en grano; HueG = Tono de color Hue (°) en grano; CrG = Pureza de color Croma en grano.

+ Cantidades con las mismas letras con estadísticamente iguales.

Los granos de la variedad nativa Thaiska tuvieron un aspecto más brillante con 67.7 de luminosidad, cuyos granos fueron de color cremoso, mientras que el híbrido Remaco-15A presentó los maíces con menos luminosidad (59.6) (Cuadro 13).

El ángulo de tono Hue promedio fue de 71°, que corresponde a los tonos amarillo naranja. El ángulo más alto fue de 77.7° correspondiente al híbrido Castaño, mientras que el ángulo más bajo fue de 67.1° expresado por la variedad V-556A (Cuadro 13).

Cuadro 13. Comparación de medias de las características físicas de grano de los genotipos evaluados en tres localidades de Chiapas. P.V. 2019.

Genotipo	HG (%)	PH (kg hL ⁻¹)	PCG (g)	IF	LG	HueG (°)	CrG
Castaño	14.1 a	81.1 a	29.8 bc	5 e	63.0 b	77.7 a	38.5 bc
Pob.Am.C3	14.1 a	79.5 b	31.2 b	12 de	60.6 f	71.8 b	35.5 cd
24-Kilates	14.0 a	78.1 de	29.5 bc	21 cd	60.9 ef	69.3 cd	41.1 b
H-443A	14.0 a	78.0 ef	31.4 b	20 cd	61.7 cde	68.8 de	38.0 bc
Remaco-15A	14.0 a	81.3 a	26.2 d	6 e	59.6 g	71.3 bc	40.9 b
V-556A	13.9 ab	78.7 cd	27.3 cd	25 c	61.8 cd	67.1 e	36.1 cd
H-386A	13.6 ab	77.4 f	30.9 b	38 b	62.6 bc	72.0 b	38.7 bc
Thaiska	13.5 ab	76.0 g	31.7 b	23 c	67.7 a	72.8 b	32.7 d
Pob.Am.C1	13.5 ab	79.2 bc	29.1 bc	17 cd	61.1 def	70.9 bc	39.3 bc
Olotillo-A1	13.3 b	74.5 h	38.5 a	50 a	62.6 bc	68.4 de	45.6 a
Promedio:	13.8	78.4	30.5	22	62.2	71.0	38.6

HG = % de humedad en grano; PH = Peso hectolítrico; PCG = Peso de cien granos; IF = Índice de flotación; LG = Luminosidad en grano; HueG = Tono de color Hue (°) en grano; CrG = Pureza de color croma en grano.

+ Cantidades con las mismas letras con estadísticamente iguales.

La pureza del color croma promedio fue de 38.6, donde los genotipos de la localidad de Ocozocoautla tuvieron las saturaciones de color más bajas con 35.95, siendo los de menor pureza de color, 4.43 y 3.64 menos que los obtenidos en Villaflores y Jiquipilas, respectivamente (Cuadro 12). La variedad nativa Olotillo-A1 tuvo estadísticamente la saturación de color más alta con 45.6, mientras que la variedad nativa Thaiska presentó los valores más bajos con 32.7, esto debido a que la variedad Thaiska presentó diversidad de colores en mazorca (Cuadro 13).

El color del grano de maíz varía ampliamente entre genotipos, aunque no se considera una propiedad importante para el uso alimentario del mismo, influye considerablemente en la preferencia del consumidor (Antuna *et al.*, 2008). Por otro lado, las variaciones encontradas en el color entre los genotipos se deben a la variación genética entre ellos y a las condiciones ambientales en las que fueron evaluados.

4.5 Calidad del nixtamal, masa y tortilla de maíces amarillos

El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas ($P=0.01$) entre localidades en las características de luminosidad y el tono de color Hue en tortilla, entre variedades mostraron diferencias significativas ($P=0.05$) en humedad de masa acondicionada, y altamente significativa ($P=0.01$) en porcentaje de sólidos perdidos, textura de tortilla, luminosidad de tortilla, Hue en tortilla y croma en tortilla. En la interacción localidad x variedad se encontraron diferencias altamente significativas ($P=0.01$) para textura, luminosidad y Hue en tortilla y diferencia significativa ($P=0.05$)

para la pureza de color croma en tortilla (Cuadro 14). El coeficiente de variación más alto fue de 9.16 % para la variable fuerza de tensión en tortilla, lo que refleja confianza de los resultados obtenidos.

Cuadro 14. Cuadrados medios de las características de nixtamal, masa y tortilla de 10 genotipos evaluados en P.V. 2019.

F.V.	HN	HM	HT	RendT	SP	FR	LT	HueT	CrT
Loc	5.80 ^{NS}	13.14 ^{NS}	6.85 ^{NS}	0.005 ^{NS}	0.00 ^{NS}	1022 ^{NS}	11.44 ^{**}	3.38 ^{**}	0.96 ^{NS}
Var	8.74 ^{NS}	11.69 [*]	4.32 ^{NS}	0.003 ^{NS}	0.58 ^{**}	3233 ^{**}	11.38 ^{**}	17.78 ^{**}	85.83 ^{**}
Loc*Var	4.04 ^{NS}	4.96 ^{NS}	3.09 ^{NS}	0.003 ^{NS}	0.15 ^{NS}	2510 ^{**}	2.60 ^{**}	0.75 ^{**}	2.31 [*]
Error	5.22	4.01	6.90	0.01	0.09	922.2	0.55	0.25	1.19
C.V	5.27	3.42	5.95	4.77	8.99	9.16	1.12	0.63	2.70

Loc = Localidad; Var = Variedad; Loc*Var = Interacción localidad por variedad; C.V. = coeficiente de variación. HN = Humedad de nixtamal; HM = Humedad de masa acondicionada; HT = Humedad de tortilla; RendT = Rendimiento de tortilla; SP = Porcentaje de sólidos perdidos; FR = Fuerza de ruptura en tortilla; LT = Luminosidad de tortilla; HueT = Tono de color Hue en tortilla; CrT = Pureza de color croma en tortilla.

La humedad promedio de nixtamal fue de 43.3 %, 29.5 % arriba de la humedad de grano; humedad que absorbió durante el proceso de cocción y reposo. La humedad de la masa acondicionada incrementó 15.3 % en comparación a la humedad de nixtamal, debido al agua que se adicionó al momento de la molienda y para acondicionar la masa para la elaboración de las tortillas. La humedad de la tortilla fría fue de 44.2 %, 14.4 % por debajo de la humedad de la masa acondicionada, humedad que se perdió por el proceso de cocción (Cuadro 15).

Respecto a la humedad de masa acondicionada, el testigo Castaño tuvo la humedad más alta superando por 2.6 % al promedio, debido a que necesitó más agua para acondicionar la masa por las características fisicoquímicas del grano (Cuadro 16).

Antuna *et al.* (2008), al evaluar cinco tipos raciales de maíz, determinaron que la humedad del grano, masa y tortilla fluctuaron entre 10.0 – 11.6 %, 54.2 – 58.0 % y 42.3 – 44.28 %, respectivamente y concluyeron que, en una masa de maíz de buena calidad para elaboración de tortillas, la humedad debe oscilar entre 50 y 58 %. Seis de los 10 genotipos evaluados: H-443A, H-386A, Thaiska, Pob.Am.C3, Pob.Am.C1 y Olotillo-A1, estuvieron dentro de los parámetros de humedad de masa que Antuna y colaboradores mencionaron.

El rendimiento promedio de tortilla fría fue de 1.5 kg por cada kilogramo de maíz procesado, mostrando homogeneidad estadística entre todos los genotipos; por lo que, el rendimiento de tortillas obtenido por todos los genotipos se encuentra dentro de los rendimientos mínimos demandados por los industriales de la masa y la tortilla, el cual es de 1.5 kg de tortilla por cada kilogramo de maíz procesado (Vázquez *et al.*, 2012) (Cuadro 16).

El promedio de los sólidos que se desprendieron en el proceso de cocción fue de 3.3 %, siendo el testigo Castaño el que más sólidos perdió, sobresaliendo del promedio por 0.5 %. La Norma Mexicana NMX-FF-034/1-SCFI-2002 establece hasta el 5 % como máximo en la pérdida de materia seca, por lo que, los genotipos evaluados están dentro del parámetro permitido (Cuadro 16).

Las tortillas presentaron en promedio una luminosidad de 66.4, un ángulo de tono Hue de 79.6° y cromaticidad de 40.5, que de acuerdo a las coordenadas del sistema "CIELab" corresponde a tortillas de color amarillo intenso (naranja) (Almonacid, 2012). En la localidad de Ocozocoautla se tuvieron los más altos valores de luminosidad (67.1) y de ángulo de tono Hue (80°) (Cuadro 15), indicando que fueron las tortillas más brillantes y de tono de color menos amarillos.

La variedad nativa Thaiska presentó estadísticamente mayor luminosidad y Hue con 70.1 y 83.7°, también tuvo el menor valor croma con 31.3; visualmente las tortillas de la variedad Thaiska presentaron un color crema, mientras que el resto presentó un color amarillo anaranjado (Cuadro 16). El color de la tortilla a las 2, 24 y 48 horas después de elaboradas no presentó variación significativa, ya que el análisis de regresión simple arrojó un coeficiente de determinación (R^2) de 0.014, 0.0 y 0.007 para luminosidad, Hue y croma, respectivamente (Cuadro 4A).

Para la textura de las tortillas se presentan resultados de la fuerza de punción o ruptura (FR), que es la fuerza necesaria para romper una tortilla, lo que determina su dureza o suavidad. La fuerza promedio para romper una tortilla fue de 331.3 gr, el testigo V-556A fue estadísticamente superior al promedio por 53.4 gr, indicando que fueron las tortillas más duras, mientras que los híbridos H-443A, H-386A y la variedad nativa Thaiska requirieron menos fuerza para romperse con 318.7, 309 y 300 gr, respectivamente, resultando las de mayor suavidad (Cuadro 16).

Antuna *et al.* (2008) y Cruz *et al.* (2013) mencionaron que la fuerza de ruptura y resistencia al corte son propiedades de textura de las tortillas con las que se evalúan la plasticidad y el grado de dureza del producto; entre más suave y blanda sea una tortilla, requiere menos trabajo para su masticación y el producto será de mejor calidad, y aunque es necesario que las tortillas no sean demasiado duras, también se necesita que no sean demasiado suaves, y afirmaron que las tortillas con fuerza de ruptura de 300 a 400 gr son las ideales; las tortillas evaluadas en la presente investigación estuvieron dentro de los parámetros establecidos, lo que las hace ideales para su consumo.

El análisis de correlación para la fuerza de tensión en tortilla mostró un coeficiente de determinación bajo ($R^2=0.088$) altamente significativo, dando a entender que a través

de las mediciones hechas a las 2, 24 y 48 horas, las tortillas de manera general fueron mostrando cierta dureza (Cuadro 4A).

La fuerza de ruptura promedio a las 2 horas después de elaboradas fue de 331.3 gr, mostrando mayor resistencia a la 24 y 48 horas con 366.1 y 371.7 gr, lo que se traduce en resistencia de 10.5 y 12.5 %, respectivamente después de elaboradas. Las tortillas mostraron mayor resistencia al corte a las 24 horas en comparación a la reflejada a las 2 horas, excepto los genotipos Pob.Am.C1, 24-Kilates y V-556A, y a las 48 horas la variedad V-556A y el híbrido Castaño mostraron una resistencia al corte similar a las 2 horas, mostrando un incremento en la resistencia de 1 y 2 %, respectivamente (Cuadro 5A).

La variedad Thaiska tuvo las tortillas más suaves (300 gr) a las 2 horas de haberse elaboradas, mostrando estadísticamente mayor resistencia en un 23.1 % (435 gr) a las 48 horas, siendo las tortillas más duras. Las tortillas de Olotillo-A1 tuvieron una resistencia de 325.3 gr a las 2 horas de haberse elaborado, mostrando mayor resistencia en un 23.7 % (402.3 gr) a las 24 horas, aunque a las 48 horas su resistencia fue 9.3 % (355.7 gr) más en comparación a la presentada a las 2 horas (Cuadro 5A).

Cuadro 15. Comparación de medias entre localidades de las características de nixtamal, masa y tortilla de los genotipos de maíz amarillos evaluados en tres localidades de Chiapas. P.V. 2019.

Localidad	HN (%)	HM (%)	HT (%)	RendT (kg)	SP (%)	LT	HueT	CrT	FR (gr)
Ocozocoautla	42.8 a	58.7 a	44.3 a	1.6 a	3.3 a	67.1 a	80.0 a	40.4 a	323.0 a
Villaflores	43.9 a	57.7 a	43.6 a	1.5 a	3.3 a	65.6 b	79.2 c	40.4 a	335.6 a
Jiquipilas	43.4 a	59.3 a	44.7 a	1.6 a	3.3 a	66.7 a	79.6 b	40.8 a	335.2 a
Promedio:	43.3	58.6	44.2	1.5	3.3	66.4	79.6	40.5	331.3

HN = Humedad de nixtamal; HM = Humedad de masa acondicionada; HT = Humedad de tortilla; RendT = Rendimiento de tortilla; SP = Porcentaje de sólidos perdidos; LT = Luminosidad en tortilla; HueT = Tono de color Hue en tortilla; CrT = Cromaticidad en tortilla; FR = fuerza de ruptura en tortilla.

Cuadro 16. Comparación de medias de las características de nixtamal, masa y tortilla entre genotipos de maíz amarillo evaluados en tres localidades de Chiapas. P.V. 2019.

Variedad	HN (%)	HM (%)	HT (%)	RendT (kg)	SP (%)	LT	HueT (°)	CrT	FR (gr)
Castaño	43.4 a	61.2 a	44.8 a	1.6 a	3.8 a	65.5 c	78.7 cde	43.0 abc	342.7 ab
Pob.Am.C3	42.4 a	59.1 ab	43.8 a	1.5 a	3.6 ab	65.4 c	78.0 e	42.8 abc	333.3 ab
24-Kilates	43.3 a	58.7 ab	43.8 a	1.5 a	2.8 d	66.0 bc	79.4 c	37.9 f	343.7 ab
H-443A	44.7 a	58.4 ab	44.0 a	1.5 a	2.9 cd	66.3 bc	79.0 cd	39.4 ef	318.7 b
Remaco-15A	40.5 a	60.2 ab	46.0 a	1.6 a	3.5 abc	66.3 bc	78.3 de	43.4 ab	324.8 ab
V-556A	44.5 a	58.9 ab	44.5 a	1.6 a	3.2 bcd	66.1 bc	78.4 de	44.3 a	384.7 a
H-386A	44.0 a	56.6 b	44.4 a	1.6 a	3.2 bcd	65.5 c	80.4 b	39.9 def	309.0 b
Thaiska	43.9 a	57.1 b	43.5 a	1.5 a	3.4 abc	70.1 a	83.7 a	31.3 g	300.0 b
Pob.Am.C1	43.6 a	57.3 ab	43.9 a	1.5 a	3.4 abc	66.3 bc	79.0 cd	42.0 bcd	330.3 ab
Olotillo-A1	43.3 a	58.1 ab	42.9 a	1.5 a	3.4 abc	67.1 b	80.9 b	41.1 cde	325.3 ab

HN = Humedad de nixtamal; HM = Humedad de masa acondicionada; HT = Humedad de tortilla; RendT = Rendimiento de tortilla; SP = Porcentaje de sólidos perdidos; LT = Luminosidad en tortilla; HueT = Tono de color Hue (°) en tortilla; CrT = Cromaticidad en tortilla; FR= Fuerza de ruptura en tortilla.

4.6 Comparación de las características químicas de grano

Se observó diferencias altamente significativas ($P=0.01$) entre localidades para proteína y almidón, mientras que, para carotenoides totales, triptófano y lisina no se realizó el análisis de varianza para la fuente de variación “localidades”. Entre variedades se tuvieron diferencias significativas ($P=0.05$) en lisina y altamente significativas ($P=0.01$) en aceite proteína, almidón y carotenoides totales, en cambio, en la interacción localidad x variedad hubo significancia ($P=0.05$) en aceite y alta significancia ($P=0.01$) en proteína y almidón. El coeficiente de variación más alto fue de 17.62 % en carotenoides totales, siguiendo en forma descendente triptófano (8.4 %), lisina (4.78 %), aceite (4.16 %), proteína (0.9 %) y almidón (0.4 %) (Cuadro 17), que desde el punto de vista estadístico son aceptables y dan certeza del buen manejo de las muestras en laboratorio.

Cuadro 17. Cuadrados medios de las características químicas de maíces amarillos producidos en tres localidades de Chiapas en P.V. 2019.

F.V.	Aceite	Proteína	Almidón	Carotenoides Totales	Triptofano	Lisina
Loc	0.046 ^{NS}	9.668 ^{**}	3.637 ^{**}	-----	-----	-----
Var	0.815 ^{**}	4.488 ^{**}	6.560 ^{**}	29.98 ^{**}	0.00003 ^{NS}	0.0008 [*]
Loc*Var	0.076 [*]	0.305 ^{**}	0.277 ^{**}	-----	-----	-----
Error	0.04	0.01	0.09	1.63	0.00002	0.0003
C.V.	4.16	0.98	0.43	17.62	8.40	4.78

F.V. = Fuente de variación; Loc = Localidad; Var = Variedad; Loc*Var = Interacción localidad por variedad; C.V. = Coeficiente de variación.

NS = no significativo; * = significativo; ** = altamente significativo.

En la localidad de Ocozocoautla se tuvieron los mayores promedios de proteína, superando por 0.8 % al promedio general de 10.59 % (Cuadro 18), también se observó que los maíces registraron una menor síntesis de almidón, lo cual podría ser efecto de la sequía que se registró en esta localidad en la etapa de llenado de grano. Cinco genotipos superaron al promedio general del contenido de proteína, donde la variedad Thaiska fue superior estadísticamente con 12.17 %, la variedad Olotillo-A1 superó al promedio por 1.21 %, y a las variedades Pob.Am.C3 y Pob.Am.C1 por 0.23 %; el híbrido Remaco-15A fue el único híbrido que superó al promedio por 0.14 % (Cuadro 19).

Cuadro 18. Comparación de medias entre localidades de componentes químicos en maíces amarillos de Chiapas, producidos en P.V. 2019.

Localidad	Aceite (%)	Proteína (%)	Almidón (%)
Ocozocoautla	4.53 a	11.39 a	69.33 b
Villaflores	4.61 a	10.22 b	69.96 a
Jiquipilas	4.52 a	10.15 b	70.15 a
Promedio	4.56	10.59	69.82

DHS = 0.05

+ Valores medios con las mismas letras son estadísticamente diferentes.

La cantidad de aceite que tienen los maíces de los genotipos analizados presentó un promedio general de 4.56 %, donde siete genotipos superaron dicho promedio, destacando estadísticamente la variedad nativa Thaiska con 5.07 %, seguida de las variedades experimentales Pob.Am.C3 y Pob.Am.C1 con 4.8 y 4.7 %, respectivamente; por otro lado, los genotipos H-443A, V-556A y Remaco-15A estuvieron por debajo del promedio con 4.52, 4.42 y 3.63 % de aceite, respectivamente (Cuadro 19).

El promedio general de almidón fue de 69.82 %, donde el promedio más alto se registró en las localidades de Jiquipilas y Villaflores con 70.15 y 69.96 % cada uno (Cuadro 18). El híbrido Remaco-15A fue estadísticamente superior al promedio en 2.2 %; todos los híbridos y la V-556A superaron al promedio, mientras que las variedades nativas y las variedades experimentales Pob.Am.C1 y Pob.Am.C3 estuvieron por abajo del promedio (Cuadro 19).

Los genotipos tuvieron un promedio general de 7.25 $\mu\text{g g}^{-1}$ de carotenoides totales, donde V-556A, Pob.Am.C3, Pob.Am.C1 y Olotillo-A1 fueron estadísticamente superiores al promedio por 57.1, 44.9, 33.1 y 9.4 % cada uno; los híbridos se mantuvieron por abajo del promedio, siendo el híbrido Remaco-15A el único genotipo que igualó al promedio general. En la variedad Thaiska, el contenido de carotenoides totales fue de cero (Cuadro 19), lo cual, se atribuye al alto porcentaje de granos color cremoso, lo que también se reflejó en la alta luminosidad (67.7).

El promedio general del aminoácido triptófano fue de 0.056 % en grano entero, siendo todos los genotipos estadísticamente iguales. Por otro lado, el promedio general del aminoácido lisina fue de 0.34 % en grano entero, donde la variedad nativa Thaiska tuvo los valores más altos superando en 6.3 % al promedio general (Cuadro 19). Este genotipo nativo tuvo los más altos porcentajes de aceite, proteína y lisina, también Olotillo-A1 tuvo altos contenidos de proteína, razón por la cual, se les debe dar un valor agregado a la producción y comercialización de los maíces nativos, así como promover su conservación.

Cuadro 19. Comparación de medias de las características químicas de grano de los genotipos evaluados agrónomicamente en P.V. 2019.

Genotipos	Aceite (%)	Proteína (%)	Almidón (%)	Carotenoides Totales ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Triptofano (%)	Lisina (%)
Thaiska	5.07 a	12.17 a	67.87 e	0.00 e	0.058 a	0.370 a
Pob.Am.C3	4.80 ab	10.82 c	69.15 cd	10.51 ab	0.054 a	0.337 ab
Pob.Am.C1	4.70 abc	10.82 c	69.30 c	9.65 abc	0.054 a	0.343 ab
24-Kilates	4.62 bc	10.07 de	70.10 b	5.83 d	0.054 a	0.333 ab
Castaño	4.60 bc	10.05 de	70.48 b	6.33 cd	0.056 a	0.342 ab
H-386A	4.60 bc	9.42 f	70.28 b	6.55 cd	0.055 a	0.361 ab
Olotillo-A1	4.60 bc	11.80 b	68.67 d	7.93 abc	0.065 a	0.382 ab
H-443A	4.52 bc	9.87 e	70.38 b	7.05 bdc	0.051 a	0.335 ab
V-556A	4.42 c	10.15 d	70.55 b	11.39 a	0.055 a	0.338 ab
Remaco-15A	3.63 d	10.73 c	71.37 a	7.25 bcd	0.053 a	0.336 ab
Promedio:	4.56	10.59	69.82	7.25	0.056	0.348

DHS = 0.05

+ Valores medios con las mismas letras son estadísticamente iguales.

Vázquez *et al.* (2014) evaluaron genotipos con alto contenido de aceite (ACA), genotipos normales (HEN) y genotipos con alta calidad de proteína (ACP), y reportaron concentraciones entre 6.7 y 4.4 % de aceite, 13.1 y 9.4 % de proteína y 74.3 y 67.5 % de almidón: observaron que granos de maíces ACP mostraron contenido de proteína estadísticamente inferior al de los otros genotipos, también reportaron que los genotipos que presentaron estadísticamente los menores porcentajes de aceite y proteína, manifestaron los mayores porcentajes de almidón, y concluyeron que el contenido de aceite, proteína y almidón dependió en gran medida de la interacción genotipo-ambiente, tal como se pudo observar en los ambientes evaluados.

Respecto a la relación aceite-proteína-almidón, en el presente estudio hubo coincidencia con lo encontrado por Vázquez *et al.* (2014) en el híbrido Remaco-15A, que presentó bajos porcentajes de aceite y proteína, y altos porcentajes de almidón. Contrariamente, la variedad nativa Thaiska resultó con porcentajes superiores de aceite y proteína, pero con menores porcentajes de almidón (Cuadro 19).

Coutiño *et al.* (2008b) evaluaron granos de maíz de las variedades V-229 y V-231A para determinar sus propiedades físicas y químicas y su calidad para tortilla y botanas. Reportaron que la variedad V-229 produjo grano de tamaño mediano, de color crema, con dureza intermedia y alto porcentaje de proteína (11.2 %), con 3.9, 0.29 y 0.07 % de aceite, lisina y triptofano, respectivamente; la humedad de su nixtamal fue de 39.6 % y la de sus tortillas de 41 %, con pérdida de sólidos de 3.2 % y una retención de pericarpio de 42.5 %, lo que significa que estos granos son apropiados para las industrias de la masa y la tortilla. De igual manera, estos autores reportaron que la

variedad V-231A de granos grandes de color amarillo, tuvo un índice de flotación de 37 correspondiente a granos duros, con altos porcentajes de aceite (4.9 %) y proteína (11.9 %).

De acuerdo a los resultados obtenidos por Vázquez *et al.* (2014), Coutiño *et al.* (2008b) y a los de la presente investigación, las variedades nativas y las variedades mejoradas, formadas a partir de la recombinación genética de variedades nativas, presentan mejor calidad nutricional que los híbridos formados a través del mejoramiento tradicional.

El perfil de carotenos en grano mostró la presencia de: Luteína (LUT), Zeaxantina (ZEA), β -criptoxantina (β CX), β -caroteno (β C) y los isómeros de β -caroteno: 13-cis y 9-cis. El análisis de varianza mostró diferencias significativas ($P=0.05$) entre localidades para luteína y zeaxantina y altamente significativas ($P=0.01$) para β -criptoxantina, β -caroteno, el isómero 13-cis- β C y provitamina A; entre variedades se obtuvo diferencias altamente significativas ($P=0.01$) para los cuatro carotenos, el isómero 13-cis- β C y provitamina A; y en la interacción variedad x localidad se encontraron diferencias significativas ($P=0.05$) en luteína y 9-cis- β C, mientras que para zeaxantina β -criptoxantina, 13-cis- β C, β -caroteno y provitamina A fueron altamente significativas ($P=0.01$). El coeficiente de variación de todas las características estuvo abajo del 6 %, lo que garantiza la confiabilidad de los resultados obtenidos (Cuadro 20).

Cuadro 20. Cuadrados medios y significancia del contenido de carotenoides en grano de cuatro genotipos de maíz amarillo evaluados agrónomicamente en P.V. 2019.

F.V	Lut	Zea	β CX	13-cis- β C	9-cis- β C	β C	PVA
Loc	0.141 *	0.426 *	0.990 **	0.002 **	0.001 NS	0.013 **	0.089 **
Var	0.314 **	1.412 **	0.137 **	0.004 **	0.003 *	0.045 **	0.252 **
Loc x Var	0.101 *	0.692 **	0.117 **	0.002 **	0.006 *	0.023 **	0.155 **
Error	0.005	0.016	0.002	0.000	0.000	0.000	0.001
C.V.	5.195	3.573	1.522	0.842	3.738	1.425	0.880

F.V. = Fuente de variación; Loc = Localidad; Var = Variedad; Loc*Var = Interacción localidad por variedad; C.V. = Coeficiente de variación.

Lut = Luteína; Zea = Zeaxantina; β CX = β -criptoxantina; 13-cis- β C = Isómero de β -caroteno; 9-cis- β C = Isómero de β -caroteno; β C = β -caroteno; PVA = Provitamina A.

* = significativo al 0.05; ** = Significativo al 0.01; NS = No significativo.

Se encontró zeaxantina como carotenoide mayoritario con promedio general de $3.5 \mu\text{g g}^{-1}$ de materia seca, de manera descendente le siguen β -criptoxantina, luteína y β -caroteno con 2.99, 1.35 y $1.04 \mu\text{g g}^{-1}$ de materia seca, se estima que la variación ambiental influye en las concentraciones de carotenoides en el grano, ya que las concentraciones en luteína, zeaxantina y β -criptoxantina fueron estadísticamente superiores en los granos cosechados en Villaflores, mientras que β -caroteno fue mayor

en los granos cosechados en Ocozocoautla (Cuadro 21). Estos promedios coinciden con Burt *et al.* (2010), quienes al evaluar 50 híbridos amarillos, mencionaron que la mayoría de los cultivares presentaron zeaxantina como pigmento mayoritario y mostraron también cantidades considerables de β -criptoxantina, y en menor medida β -caroteno.

La provitamina A se calculó de la sumatoria del 50 % de β -criptoxantina más los isómeros 13-cis y 19-cis y β -caroteno, por lo que se encontró mayor contenido de provitamina A ($3.46 \mu\text{g g}^{-1}$) en los genotipos de Villaflores, debido a que la concentración de β -criptoxantina fue mayor en esa localidad, aunque, β -caroteno y los isómeros hayan sido de mayor concentración en Ocozocoautla (Cuadro 21).

Cuadro 21. Comparación de medias del contenido de carotenoides y provitamina A en grano entre localidades de los genotipos evaluados agronómicamente en P.V. 2019.

Localidad	Lut ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Zea ($\mu\text{g g}^{-1}$)	βCX ($\mu\text{g g}^{-1}$)	13-cis- βC ($\mu\text{g g}^{-1}$)	9-cis- βC ($\mu\text{g g}^{-1}$)	βC ($\mu\text{g g}^{-1}$)	PVA ($\mu\text{g g}^{-1}$)
Villaflores	1.48 a	3.68 a	3.06 a	0.41 b	0.46 a	1.06 b	3.46 a
Ocozocoautla	1.29 b	3.35 b	2.57 b	0.43 a	0.48 a	1.12 a	3.31 b
Promedio:	1.38	3.51	2.81	0.42	0.47	1.09	3.39

Lut = Luteína; Zea = Zeaxantina; βCX = β -criptoxantina; 13-cis- βC = Isómero de β -caroteno; 9-cis- βC = Isómero de β -caroteno; βC = β -caroteno; PVA = Provitamina A.

+ Cantidades con la misma letra son estadísticamente iguales.

Las variedades experimentales Pob.Am.C3 y Pob.Am.C1 presentaron estadísticamente las mayores concentraciones de luteína en grano, superando en 20.3 y 15.9 % al promedio, también para zeaxantina superaron en 17.7 y 11.4 % al promedio, mientras que la variedad nativa Olotillo-A1 fue estadísticamente superior en β -criptoxantina y β -caroteno, superando por 9.2 y 10.1 % al promedio respectivamente, también fue estadísticamente superior en provitamina A con $3.33 \mu\text{g g}^{-1}$, superando en 9.1 % al promedio (Cuadro 22).

La Pob.Am.C3 proviene del tercer ciclo de Selección Recurrente realizado en la Población Amarilla Tropical, la cual se formó por la recombinación genética de híbridos comerciales (F_2) y de variedades nativas, por lo que se infiere, que los genes de las poblaciones nativas han contribuido en el incremento de los carotenos de provitamina A, superando a la Pob.Am.C1, la cual proviene del primer ciclo de selección. En el presente trabajo, las variedades nativas mostraron superioridad en sus componentes nutracéuticos.

Cuadro 22. Comparación de medias en el contenido de carotenoides en grano de los cuatro genotipos de maíz amarillo evaluados agrónomicamente en P.V. 2019.

Genotipo	Lut ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Zea ($\mu\text{g g}^{-1}$)	βCX ($\mu\text{g g}^{-1}$)	13-cis- βC ($\mu\text{g g}^{-1}$)	9-cis- βC ($\mu\text{g g}^{-1}$)	βC ($\mu\text{g g}^{-1}$)	PVA ($\mu\text{g g}^{-1}$)
Pob.Am.C3	1.66 a	4.13 a	2.82 b	0.43 b	0.46 b	1.13 b	3.44 b
Pob.Am.C1	1.60 a	3.91 a	2.73 bc	0.41 c	0.47 ab	1.09 c	3.33 c
Olotillo-A1	1.12 b	2.98 b	3.07 a	0.46 a	0.51 a	1.20 a	3.70 a
H-443A	1.16 b	3.04 b	2.64 c	0.38 d	0.44 b	0.95 d	3.09 d
Promedio:	1.38	3.51	2.81	0.42	0.47	1.09	3.39

Lut = Luteína; Zea = Zeaxantina; βCX = β -criptoxantina; 13-cis- βC = Isómero de β -caroteno; 9-cis- βC = Isómero de β -caroteno; βC = β -caroteno; PVA = Provitamina A.

+ Valores medios con la misma letra son estadísticamente iguales

Reyes *et al.* (2009), reportaron para el híbrido H-443A contenidos de luteína ($7.1 \mu\text{g g}^{-1}$), zeaxantina ($4.9 \mu\text{g g}^{-1}$), β -criptoxantina ($1.23 \mu\text{g g}^{-1}$) y β -caroteno ($0.42 \mu\text{g g}^{-1}$) en grano que difieren a los obtenidos en la presente investigación, ya que del híbrido H-443A tuvo medias de $1.16 \mu\text{g g}^{-1}$ en luteína y $3.04 \mu\text{g g}^{-1}$ en zeaxantina, las cuales fueron inferiores en 83.6 y 37.9 % , aunque en β -criptoxantina y β -caroteno los datos obtenidos fueron superiores en 14.6 y 126.1 % a los reportados. Se infiere que la discrepancia entre los datos reportados por Reyes *et al.* (2009) y los encontrados en esta evaluación se debe a las condiciones ambientales diferentes (Tamaulipas, Coahuila, Chiapas) donde se produjeron las muestras de granos del híbrido H-443A, así como al manejo de las muestras en el análisis de laboratorio.

Otros autores como Manjeru *et al.* (2019) presentaron diferencias altamente significativas entre híbridos, localidades y en la interacción híbridos por localidades para β -caroteno; los 30 híbridos evaluados variaron de 4.29 a $12.55 \mu\text{g g}^{-1}$ en condiciones óptimas, de 2.24 a $4.18 \mu\text{g g}^{-1}$ en condiciones de sequía y de 1.85 a $4.40 \mu\text{g g}^{-1}$ en condiciones de bajo nitrógeno. También Ortiz *et al.*, (2019), al evaluar 55 híbridos amarillos experimentales en tres ambientes de prueba (óptima, estrés por sequía y estrés por bajo nitrógeno), reportaron que tanto β -caroteno como β -criptoxantina fueron sensibles a la sequía y al estrés por la deficiencia de nitrógeno; el estrés por sequía mejoró los niveles de β -criptoxantina y disminuyó el contenido de β -caroteno, mientras que el estrés por deficiencia de nitrógeno disminuyó los niveles de ambos carotenos, por otro lado, la luteína y zeaxantina, fueron los más estables bajo estrés por sequía y por deficiencia de nitrógeno.

Mellado y Hornero (2017) mencionaron que las condiciones de conservación y almacenamiento, así como las distintas técnicas de procesado, implican por lo general cambios en los componentes de los alimentos, en el caso de los cereales, las condiciones y tiempo de almacenamiento influyen en la concentración de carotenoides,

así como los tiempos y la técnica empleados en el proceso de extracción y análisis de carotenoides en el laboratorio.

EL contenido de carotenos de los genotipos evaluados en la presente investigación es característico de maíces no biofortificados o maíces normales, de acuerdo a lo manifestado por Muzhingi *et al.* (2016), quienes afirmaron que el contenido de β -criptoxantina y β -caroteno en el maíz amarillo normal varía de 0.3 a 5.5 $\mu\text{g g}^{-1}$ y de 0.3 a 4.7 $\mu\text{g g}^{-1}$, respectivamente.

Maqbool *et al.* (2017) reportaron que el promedio de provitamina A en 50 híbridos simples fue de 3.22 $\mu\text{g g}^{-1}$ y no fueron considerados como maíces biofortificados, ya que los maíces con cantidades de entre 4 y 8 $\mu\text{g g}^{-1}$ de provitamina A son considerados como biofortificados de primera generación; por lo tanto los niveles de carotenos inferiores encontrados en los maíces evaluados en esta investigación, de 3.3 a 3.7 $\mu\text{g g}^{-1}$, pueden considerarse como maíces no biofortificados.

4.7 Contenido de carotenos en tortillas de maíz amarillo

El análisis de varianza para carotenos en tortillas presentó diferencias significativas ($P=0.05$) para β -caroteno y 13-cis- βC en la fuentes de variación localidades, mientras que entre variedades hubo diferencias altamente significativas ($P=0.01$) para luteína, zeaxantina β -criptoxantina, 13-cis- βC , β -caroteno y provitamina A, en la interacción localidad x variedad se observó diferencias altamente significativas ($P=0.01$) para β -criptoxantina y 13-cis- βC , y significativa ($P=0.05$) para 9-cis- βC , β -caroteno y provitamina A. El coeficiente de variación más elevado fue para zeaxantina con 7.6 %, de ahí todas las demás características estuvieron por debajo de 7 %, por lo que, el bajo coeficiente de variación da confianza en los resultados obtenidos (Cuadro 23).

Cuadro 23. Cuadrados medios y significancia del contenido de carotenos en tortillas de cuatro genotipos evaluados agrónomicamente en P.V. 2019.

F.V	Lut		Zea		βCX		13-cis- βC		9-cis- βC		βC		PVA	
Loc	0.0005	NS	0.160	NS	0.027	NS	0.003	**	0.0014	NS	0.028	*	0.008	NS
Var	0.8218	**	7.035	**	0.637	**	0.004	**	0.0047	*	0.051	**	0.560	**
Loc x Var	0.0116	NS	0.083	NS	0.194	**	0.002	**	0.0042	*	0.018	*	0.189	*
error	0.0075		0.084		0.007		0.000		0.0003		0.001		0.008	
C.V.	6.0125		7.644		3.041		1.666		3.2995		3.309		2.625	

F.V. = Fuente de variación; Loc = Localidad; Var = Variedad; Loc*Var = Interacción localidad por variedad; C.V. = Coeficiente de variación.

Lut = Luteína; Zea = Zeaxantina; βCX = β -criptoxantina; 13-cis- βC = Isómero de β -caroteno; 9-cis- βC = Isómero de β -caroteno; βC = β -caroteno; PVA = Provitamina A.

NS = No significativo; * = significativo; ** = altamente significativo.

En las tortillas analizadas se encontró a zeaxantina en mayor concentración con $3.8 \mu\text{g g}^{-1}$, le siguieron de manera descendente β -criptoxantina ($2.83 \mu\text{g g}^{-1}$), luteína ($1.44 \mu\text{g g}^{-1}$) y β -caroteno ($1.08 \mu\text{g g}^{-1}$). El contenido de provitamina A fue de $3.42 \mu\text{g g}^{-1}$. El β -caroteno y el isómero 13-cis- β C fueron los únicos que mostraron diferencias significativas entre localidades, mostrando mayor concentración en la localidad de Ocozocoautla con 1.12 y $0.42 \mu\text{g g}^{-1}$, superando por 3.7 y 2.4 % al promedio (Cuadro 24). Las cuatro variedades evaluadas tuvieron contenidos de carotenos semejantes a los informados para otros maíces amarillos de acuerdo a lo manifestado por Muzhingi *et al.* (2016) y Maqbool *et al.* (2017).

Cuadro 24. Comparación de medias del contenido de carotenos en tortillas por localidad de los cuatro genotipos evaluados agrónomicamente en P.V. 2019.

Localidad	Lut ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Zea ($\mu\text{g g}^{-1}$)	β CX ($\mu\text{g g}^{-1}$)	13-cis- β C ($\mu\text{g g}^{-1}$)	9-cis- β C ($\mu\text{g g}^{-1}$)	β C ($\mu\text{g g}^{-1}$)	PVA ($\mu\text{g g}^{-1}$)
Villaflores	1.43 a	3.70 a	2.87 a	0.39 b	0.53 a	1.04 b	3.40 a
Ocozocoautla	1.45 a	3.90 a	2.78 a	0.42 a	0.51 a	1.12 a	3.45 a
Promedio:	1.44	3.80	2.83	0.41	0.52	1.08	3.42

Lut = Luteína; Zea = Zeaxantina; β CX = β -criptoxantina; 13-cis- β C = Isómero de β -caroteno; 9-cis- β C = Isómero de β -caroteno; β C = β -caroteno; PVA = Provitamina A.

+ Valores medios con la misma letra son estadísticamente iguales.

Entre los genotipos evaluados, las tortillas hechas con maíces de la variedad experimental Pob.Am.C3 fueron estadísticamente superiores en contenidos de luteína y zeaxantina con 1.97 y $5.40 \mu\text{g g}^{-1}$ de materia seca, superando al promedio por 36.8 y 42.1 % respectivamente. Para β -criptoxantina, las variedades experimentales Pob.Am.C3 y Pob.Am.C1 mostraron superioridad estadística por 14.8 y 8.1 % con respecto al promedio, también estas dos variedades experimentales fueron superiores para β -caroteno superando por 11.1 y 5.5 % al promedio, también mostraron superioridad estadística para provitamina A con 3.82 y $3.64 \mu\text{g g}^{-1}$ de materia seca. El híbrido H-443A tuvo los más bajos contenidos de luteína ($1.04 \mu\text{g g}^{-1}$), β -criptoxantina ($2.38 \mu\text{g g}^{-1}$), β -caroteno ($0.95 \mu\text{g g}^{-1}$) y provitamina A ($3 \mu\text{g g}^{-1}$) (Cuadro 25).

En relación con la presencia de isómeros en las tortillas, éstos forman parte del β -caroteno y se forman como consecuencia del procesamiento (nixtamalización y cocimiento de la masa), y también contribuyen en promover la provitamina A. En el maíz amarillo, mientras el tono sea más anaranjado, más alto será el contenido de carotenos provitamínicos, los cuales, una vez digeridos, se convierten en el micronutriente y actúa como un antioxidante que protege las células humanas. Estos genotipos, que al ser procesados en tortillas mostraron tener buenos contenidos de carotenos de provitamina A, pueden ser candidatos para cultivarse en lugares con altos niveles de marginación y desnutrición, aunque, García *et al.* (2015) mencionaron

que existen numerosos factores que influyen en la biodisponibilidad de los carotenos y que después de considerarlos, se ha establecido que al menos 15 μg de β -caroteno por gramo de peso seco de grano, son requeridos para el maíz fortificado con impacto en la nutrición.

Cuadro 25. Comparación de medias del contenido de carotenos en tortillas de cuatro genotipos amarillos evaluados en tres localidades en P.V. 2019

Genotipo	Lut ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Zea ($\mu\text{g g}^{-1}$)	βCX ($\mu\text{g g}^{-1}$)	13-cis- βC ($\mu\text{g g}^{-1}$)	9-cis- βC ($\mu\text{g g}^{-1}$)	βC ($\mu\text{g g}^{-1}$)	PVA ($\mu\text{g g}^{-1}$)
Pob.Am.C3	1.97 a	5.40 a	3.25 a	0.44 a	0.56 a	1.20 a	3.82 a
Pob.Am.C1	1.67 b	4.39 b	3.06 a	0.42 a	0.55 a	1.14 a	3.64 a
Olotillo-A1	1.08 c	2.70 c	2.61 b	0.40 b	0.50 b	1.03 b	3.24 b
H-443A	1.04 c	2.72 c	2.38 c	0.37 c	0.49 b	0.95 b	3.00 c
Promedio:	1.44	3.80	2.83	0.41	0.52	1.08	3.42

Lut = Luteína; Zea = Zeaxantina; βCX = β -criptoxantina; 13-cis- βC = Isómero de β -caroteno; 9-cis- βC = Isómero de β -caroteno; βC = β -caroteno; PVA = Provitamina A.

+ Valores medios con la misma letra son estadísticamente iguales.

4.8 Retención de carotenos en tortilla con respecto al grano

La retención de carotenos en tortilla con respecto al grano fue de 103, 106, 100 y 99 % en luteína, zeaxantina, β -criptoxantina, β -caroteno, respectivamente, también la provitamina A fue del 100 %. Las variedades experimentales Pob.Am.C3 y Pob.Am.C1 presentaron, por el proceso de nixtamalización, una concentración de carotenos por pérdida de sólidos que asemejan un incremento en las cantidades de luteína (18.7 y 4.7 %), zeaxantina (30.6 y 12 %), β -criptoxantina (15.2 y 12 %), β -caroteno (6.4 y 4.3 %) y provitamina A (11.2 y 9.4 %) en tortilla al compararlos con los contenidos en grano; se infiere que es característico de las variedades, ya que ambas provienen de la misma población de mejoramiento genético. Por otro lado, las tortillas de la variedad nativa Olotillo-A1 y del híbrido H-443A presentaron pérdidas de luteína (3.6 y 10.54 %), zeaxantina (9.4 y 10.7 %), β -criptoxantina (16.7 y 9.6 %) y provitamina A (12.44 y 3.07 %), mientras que en β -caroteno, solo Olotillo-A1 tuvo una merma de 14.2 %, con respecto a la concentración en grano (Figura 18, 19 y 20).

Otros investigadores han evaluado la retención de carotenos en tortillas y botanas de maíz, como es el caso de Lozano *et al.* (2007) quienes demostraron que al procesar frituras utilizando maíces amarillos de la variedad Comiteco se registró la retención del 85 % de carotenos precursores de provitamina A, y afirmaron que la reducción del contenido de carotenos se debió a la alta temperatura del freído. Por otro lado, Rosales *et al.* (2016) utilizaron diferentes genotipos para elaborar tortillas por el método tradicional y determinaron una concentración significativa de carotenos de provitamina A en masa y reduciéndose en tortillas, teniendo una retención del 100 % de provitamina A. Según Mellado y Hornero (2017) el contenido de carotenos está sujeto a variaciones

importantes, atendiendo a factores como la variedad, condiciones del cultivo, condiciones de almacenamiento y procesado, cobrando especial relevancia la interacción genotipo-ambiente.

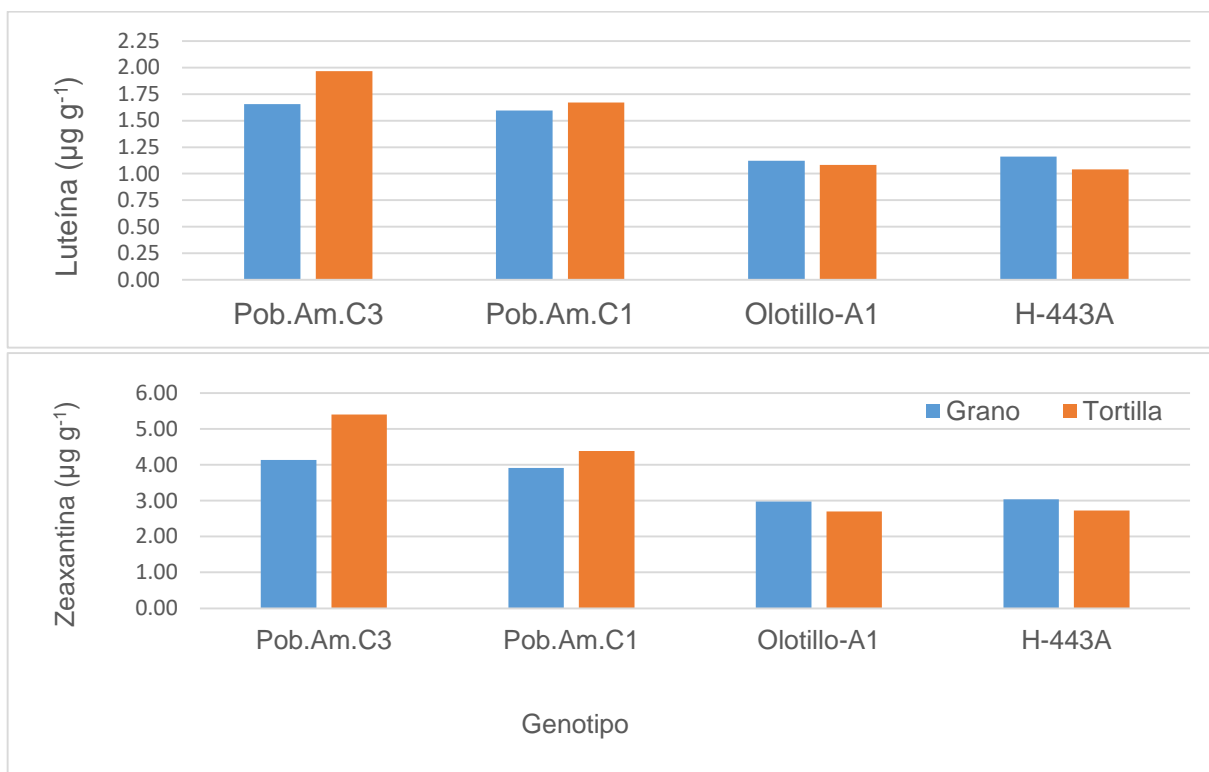


Figura 18. Efecto de la nixtamalización sobre las fracciones de xantofilas en grano y tortillas de maíces amarillos evaluados en P.V. 2019.

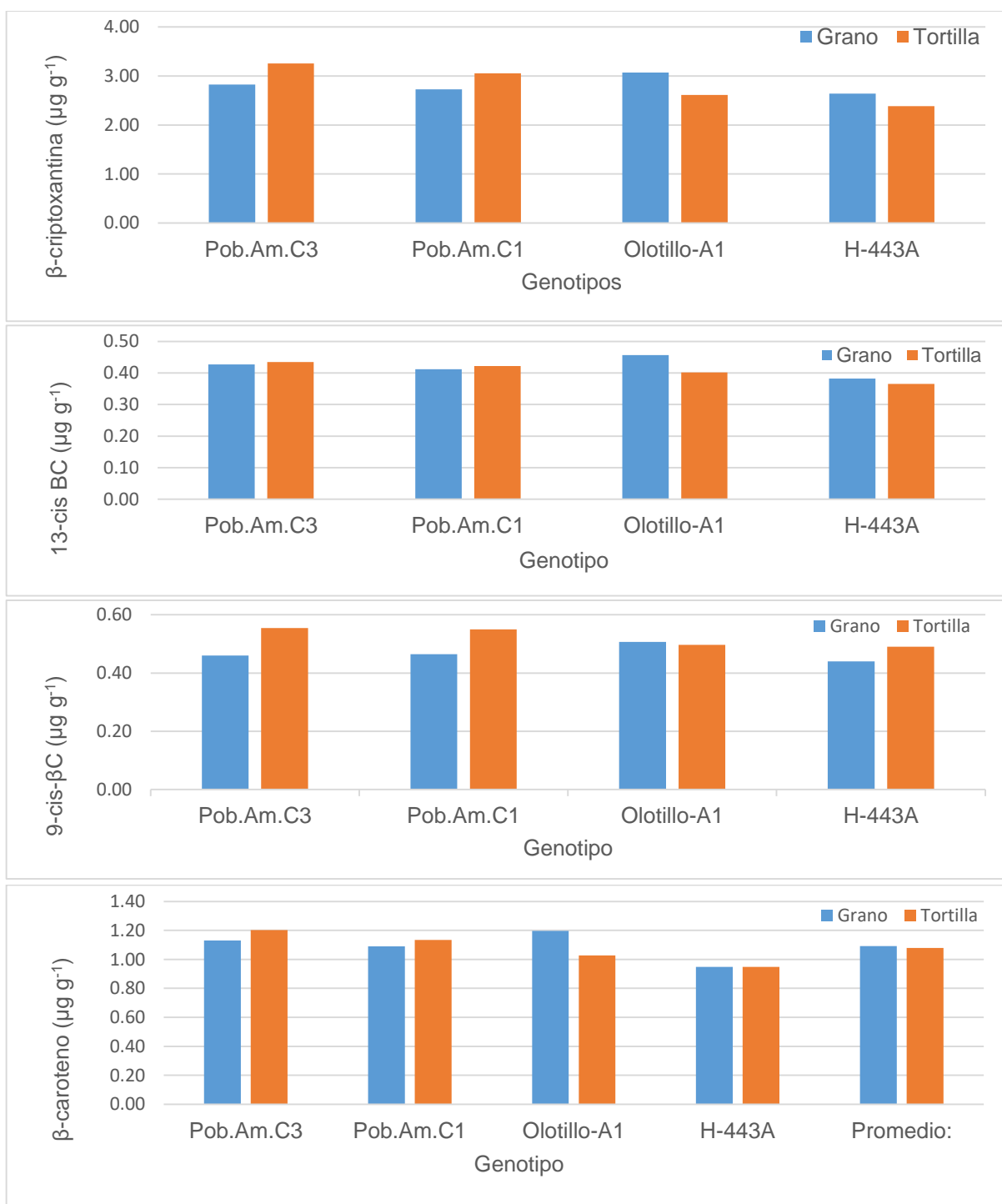


Figura 19. Efecto de la nixtamalización en las fracciones de carotenos precursores de provitamina A, en grano y tortillas de maíces amarillos evaluados en P.V. 2019.

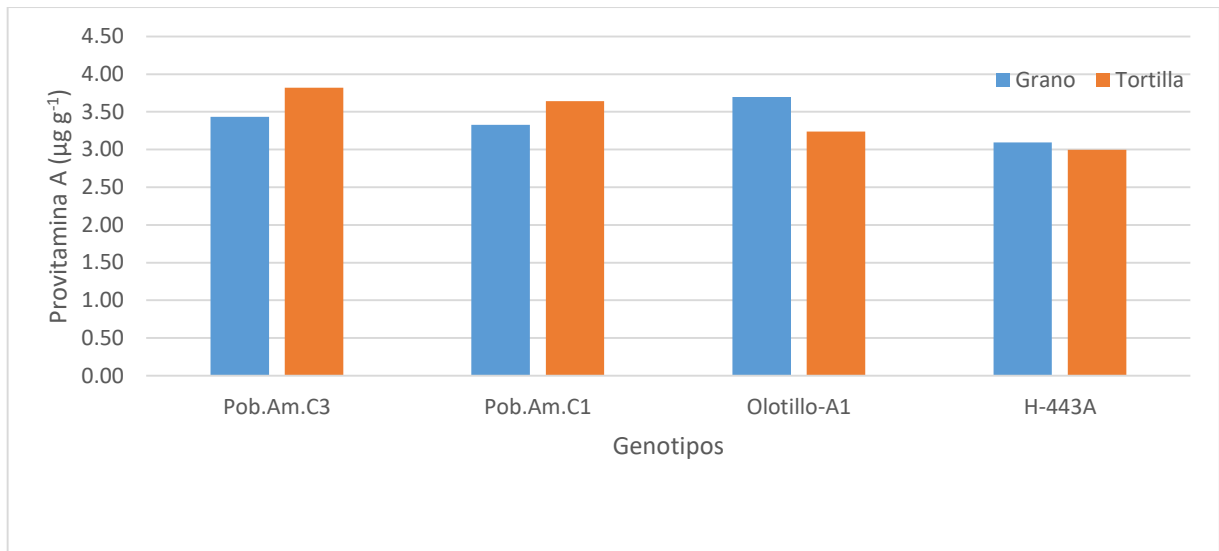


Figura 20. Efecto de la nixtamalización en las concentraciones de provitamina A, en grano y tortillas de maíces amarillos evaluados en P.V. 2019.

4.9 Correlación entre los caracteres físicos y químicos de grano y tortilla

La humedad de tortilla correlacionó positivamente ($r=0.99^{**}$) con su peso, se infiere que mientras más alta la humedad de la tortilla el peso de ésta se incrementó. El peso hectolítrico se correlacionó negativamente con el índice de flotación ($r=-0.83^{**}$), dando a entender que los granos muy duros son más pesados que los granos con textura intermedia y suave (Cuadro 26). La correlación de peso hectolítrico con el índice de flotación coincide con lo reportado por Vázquez *et al.* (2012), quienes también indicaron una correlación alta negativa ($r=-0.76^{**}$) entre el índice de flotación y el peso hectolítrico del grano.

La luminosidad en grano se correlacionó positivamente con el tono de color Hue en grano ($r=0.69^{**}$) y tortilla ($r=0.71^{**}$), en tortilla, la luminosidad se correlacionó con el tono Hue ($r=0.77^{**}$), también, el tono Hue en grano se correlacionó con el de tortilla ($r=0.77^{**}$) (Cuadro 26), dando a entender que genotipos con alta luminosidad el tono del color amarillo tendió a ser más verde y en genotipos amarillos con tonos anaranjado a rojo la luminosidad fue baja tanto en grano como en tortilla.

La cromaticidad del grano se correlacionó negativamente con la luminosidad del grano ($r=-0.57^{**}$), también, la cromaticidad en tortilla se correlacionó negativamente con la luminosidad en grano ($r=-0.60^{**}$) y tortilla ($r=-0.57^{**}$), y con el tono de color Hue en grano ($r=-0.80^{**}$) y tortilla ($r=-0.76^{**}$) (Cuadro 26), por lo que, genotipos que presentaron valores altos en luminosidad y Hue en grano y tortilla presentaron bajos valores de cromaticidad. Mathias y Ah (2014) mencionaron que la cromaticidad es la saturación del color, atributo que fijado al tono, describe el color por su similitud con un color espectral puro; cuanto más parecido a éste, resulta más saturado, por lo tanto,

en la presente evaluación, los genotipos que fueron de granos y tortillas con alta luminosidad y tono Hue presentaron baja cromaticidad tanto en grano como en tortilla y en genotipos con baja luminosidad y tono Hue la pureza cromática fue más elevada, por lo que el color fue más puro.

Los caracteres, porcentaje de aceite y proteína en grano estuvieron correlacionados negativamente con el porcentaje de almidón en grano con $r=-0.71$ y $r=-0.73$, respectivamente (Cuadro 26), lo cual coincide con Torres *et al.* (2010), quienes reportaron que en tres ciclos de Selección Familiar de medios hermanos incrementaron significativamente el contenido de aceite, pero disminuyó el porcentaje de proteína y de almidón en el grano de maíz Comiteco. También Vázquez *et al.* (2014) publicaron correlaciones significativas entre aceite y proteína ($r=0.33$), así como entre aceite y almidón ($r=-0.39$) y altamente significativa entre almidón y proteína ($r=-0.84$) al evaluar maíces con endospermo normal, con alto contenido de aceite y de alta calidad proteínica.

El tono de color Hue en grano tuvo correlación significativa ($P=0.05$) con luteína ($r=-0.56$) y zeaxantina en grano ($r=-0.53$), con β -criptoxantina ($r=-0.59$) y β -caroteno en tortilla ($r=-0.61$), y altamente significativa ($P=0.01$) con luteína ($r=-0.73$) y zeaxantina ($r=-0.74$) en tortilla. El tono cromático en grano se correlacionó ($P=0.05$) con β -criptoxantina en grano ($r=0.79$) y con zeaxantina en tortilla ($r=-0.51$). El tono Hue en tortilla presentó correlación significativa ($P=0.05$) con luteína en grano ($r=-0.59$) y tortilla ($r=-0.51$) y zeaxantina en grano ($r=-0.57$) y tortilla ($r=-0.50$). La pureza de color cromático en tortilla tuvo correlación significativa ($P=0.05$) con β -caroteno en grano ($r=0.52$), también mantuvo correlación altamente significativa ($P=0.01$) con luteína ($r=0.85$) y zeaxantina en grano ($r=0.86$), luteína ($r=0.90$) y zeaxantina en tortilla ($r=0.86$), β -criptoxantina ($r=0.96$) y β -caroteno en tortilla ($r=0.84$) (Cuadro 27).

Destacan en estas correlaciones las ocurridas entre la variable de tono de color Hue en grano y las de carotenos en tortillas (Cuadro 27). Todas fueron significativas ($P=0.01$ y 0.05) y con una relación negativa. Las xantofilas (luteína y zeaxantina) registraron los valores más altos de la correlación ($r = -0.73$ y -0.74 respectivamente), en tanto que los carotenos: β -criptoxantina ($r=-0.59$) y β -caroteno ($r=-0.62$), fueron significativas con una probabilidad del 0.05 %. Lo anterior significa que, en este tipo de maíces, valores bajos de hue ($< 85^\circ$) pueden registrar buenos contenidos de estos carotenos en tortillas. Con los valores de hue en grano, es posible inferir los contenidos de estos pigmentos en sus tortillas. Lo anterior puede ser usado en los programas de mejoramiento genético de maíces amarillos destinados al consumo humano.

Cuadro 26. Correlación de los caracteres físicos y químicos de grano y caracteres físicos de tortilla de los genotipos amarillos evaluados en P.V. 2019.

Carácter	HM	HT	PH	PCG	IF	RendT	SP	LT	°HueT	CrT	LG	°HueG	CrG	FR	Acte	Prot	Aldon
HM		0.31	0.30	-0.28	-0.23	0.29	0.43	-0.15	-0.29	0.29	-0.14	-0.23	0.09	0.01	-0.31	-0.06	0.35
HT	*		0.29	-0.30	-0.18	0.99	0.08	-0.03	-0.09	0.17	-0.12	-0.20	-0.06	-0.14	-0.30	-0.13	0.29
PH	*	*		-0.40	-0.83	0.22	0.33	-0.29	-0.64	0.52	-0.36	-0.48	-0.10	0.08	-0.27	-0.35	0.49
PCG	*	*	*		0.23	-0.28	0.09	0.11	0.32	-0.19	0.13	0.26	0.34	-0.26	0.45	0.20	-0.49
IF			**			-0.13	-0.26	0.13	0.40	-0.20	0.18	0.28	0.15	0.01	0.04	0.18	-0.27
RendT	*	**		*			0.04	0.02	-0.02	0.13	-0.09	-0.17	-0.04	-0.15	-0.30	-0.08	0.24
SP	**		*		*			-0.01	-0.11	0.20	0.11	-0.03	-0.09	-0.08	0.06	0.16	-0.11
LT			*						0.76	-0.57	0.56	0.52	-0.34	-0.02	0.26	0.55	-0.55
°HueT	*		**	*	*			**		-0.76	0.71	0.77	-0.22	-0.24	0.37	0.52	-0.62
CrT	*		**					**	**		-0.60	-0.80	0.26	0.32	-0.46	-0.35	0.53
LG			*					**	**	**		0.69	-0.57	-0.15	0.43	0.55	-0.59
°HueG			**	*	*			**	**	**	**		-0.23	-0.38	0.36	0.33	-0.49
CrG			*					*	*	*	**			0.03	-0.21	-0.30	0.29
FR				*						*		*			-0.06	-0.17	0.19
Acte	*	*	*	**		*		*	*	**	**	*				0.16	-0.71
Prot			*					**	**	*	**	*	*				-0.73
Aldon	*	*	**	**	*	*		**	**	**	**	**	*		**	**	

HM = Humedad de masa acondicionada; HT = Humedad de tortilla; PH = Peso hectolítrico; PCG = Peso de cien granos; IF = Índice de flotación; RendT = Rendimiento de tortilla; SP = Porcentaje de sólidos perdidos; LT = Luminosidad en tortilla; °HueT = Tono de color °Hue en tortilla; CrT = Tono croma en tortilla; LG = Luminosidad en grano; °HueG = Tono de color °Hue en grano; CrG = Tono croma en grano; FR = Fuerza de ruptura en tortilla; Acte = % de aceite; Prot = % de proteína; Aldon = % de almidón.

* = Significativo al 0.05; ** = Significativo al 0.01

Cuadro 27. Correlación entre color de grano y tortilla con respecto a carotenos en grano y tortilla.

Carotenos	Color de grano y tortilla					
	LG	°HueG	CrG	LT	°HueT	CrT
LutG	-0.34 NS	-0.56 *	-0.15 NS	-0.35 NS	-0.60 *	0.85 **
ZeaG	-0.24 NS	-0.54 *	-0.18 NS	-0.30 NS	-0.57 *	0.86 **
β CXG	-0.31 NS	0.26 NS	0.72 *	-0.11 NS	-0.02 NS	0.18 NS
β CG	0.32 NS	-0.19 NS	0.24 NS	0.38 NS	0.41 NS	0.53 *
LutT	-0.10 NS	-0.73 **	-0.44 NS	-0.27 NS	-0.52 *	0.90 **
ZeaT	-0.08 NS	-0.74 **	-0.51 *	-0.24 NS	-0.50 *	0.87 **
β CXT	-0.14 NS	-0.59 *	-0.18 NS	-0.11 NS	-0.39 NS	0.96 **
β CT	0.20 NS	-0.62 *	-0.38 NS	0.07 NS	-0.19 NS	0.85 **

LG = Luminosidad en grano; °HueG = Color °Hue en grano; CrG = Tono Croma en grano; LT = Luminosidad en grano; °HueT = Color °Hue en tortilla; CrT = Tono cromas en tortilla.

LutG = Luteína en grano; ZeaG = Zeaxantina en grano; β CXG = β -criptoxantina en grano; β CG = β -caroteno en grano; LutT = Luteína en tortilla; ZeaT = Zeaxantina en tortilla; β CXT = β -criptoxantina en tortilla; β -caroteno en tortilla.

Por otro lado, Salinas *et al.* (2008), al caracterizar maíces amarillos cultivados en el Estado de México en función de sus propiedades físico-químicas y el contenido de carotenos y al determinar la relación de este pigmento con el color de grano y harina, encontraron que de las variables de color de grano obtenidas tanto en el colorímetro Agron como HunterLab, únicamente la luminosidad (L^*) y la tonalidad (Hue) presentaron correlación significativa y altamente significativa con el contenido de carotenos, en ambos casos éstas fueron negativas, aunque el contenido de carotenos presentó una correlación positiva de 0.83 con el color de la harina cruda expresado en términos de b^* y con la pureza de color cromas, lo que significa que cualquier de estas dos últimas variables puede emplearse para estimar con alta aproximación el contenido de carotenos en maíces amarillos. En el presente trabajo, el índice de saturación cromas en tortilla también presentó las correlaciones más altas con los carotenos en tortilla, se infiere que el proceso de transformación de grano a harina y de grano a tortilla contribuye en la concentración de los pigmentos carotenoides.

5. CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos planteados, y a las condiciones ambientales de cada localidad en las que se evaluaron los genotipos durante los años 2018 y 2019, se concluye lo siguiente:

De los híbridos evaluados agronómicamente, se identificó a H-443A, REMACO-15A con rendimientos que superaron las 5 t ha⁻¹ en los dos ciclos de evaluación e igualaron estadísticamente a los híbridos testigos Castaño y 24-Kilates.

De las variedades mejoradas evaluadas agronómicamente, sobresalió la variedad experimental Pob.Am.C1 por tener un rendimiento promedio superior a las 4 t ha⁻¹ y por presentar mayor estabilidad en su rendimiento de grano en las tres localidades de prueba durante los dos ciclos de evaluación.

De las cuatro variedades nativas, sobresalió Olotillo-A1 con rendimiento de 3 t ha⁻¹, aunque fue de plantas más altas y floración tardía, pero de granos más grandes.

Los genotipos Remaco-15A, Pob.Am.C3, Pob.Am.C1, H-443A y Olotillo-A1 presentaron un peso hectolítrico arriba de 74 kg hL⁻¹, fueron de granos muy duros, duros e intermedios respectivamente y el rendimiento de tortilla de estos genotipos fue de 1.5 kg por cada kilogramo de maíz procesado, cumpliendo con las parámetros mínimos que la Norma Mexicana NMX-FF-034/01-2002 establece para su uso en la industria de la masa y la tortilla.

Las variedades experimentales Pob.Am.C3 y Pob.Am.C1, y la variedad nativa Olotillo-A1 presentaron los mayores contenidos de carotenos y provitamina A en grano y tortilla, por lo que, son genotipos ideales para producirlos en zonas rurales con alta marginación y con problemas de deficiencia de vitamina A.

El proceso de nixtamalización de los maíces amarillos (Pob.Am.C3, Pob.Am.C1, Olotillo-A1 y H-443 A), no redujo los contenidos de carotenos (luteína, zeaxantina, b-criptoxantina y b-caroteno), por lo que son una excelente opción para la producción de tortillas con valor nutracéutico.

6. LITERATURA CITADA

- Acosta R. 2009. El cultivo del maíz, su origen y clasificación. El maíz en Cuba. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. Cultivos tropicales. 30(2):113–120.
- Almonacid R., C. 2012. Descripción del modelo de color HSL (Hue, Saturation, Lighness). Servicio de cartografía. Universidad Autónoma de Madrid. Descargado desde: <http://guiadigital.uam.es>
- Antuna G., O., S. A. Rodríguez H., G. Arámbula V., A. Palomo G., E. Gutiérrez A., A. Espinoza B., E. F. Navarro O. y E. Andrio E. 2008. Calidad nixtamalera y tortillera en maíces criollos de México. Revista Fitotecnia Mexicana. 31(3): 23 – 27.
- Bellon M. R. and J. Hellin. 2011. Planting Hybrids, Keeping Landraces: Agricultural Modernization and Tradition Among Small-Scale Maize Farmers in Chiapas, Mexico. World Development. 39(8):1434-1443. doi:10.1016/j.worlddev.2010.12.010
- Bonet M. L., J. Ribot, J. A. Canas y A. Palou. 2017. Carotenoides y salud humana: potencial efecto anti-obesidad. *In: Carotenoides en agroalimentación y salud.* (Ed. Pilar Tapia). Editorial Terracota, S.A. de C.V., México. pp: 628-669.
- Borroel G. V. J., L. Salas P., M. G. Ramírez A., J. D. López M., y J. Luna A. 2018. Rendimiento y componentes de producción de híbridos de maíz en la Comarca Lagunera. Terra Latinoamericana. 36(4): 423-429.
- Burt A. J., C. M. Grainger, C. J. Young, B. J. Shelp, and E. A. Lee. 2010. Impact of postharvest handling on carotenoid concentration and composition in high-carotenoid maize (*Zea mays* L.) kernel. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 58(14): 8286 – 8292.
- Cabrera G. A. 2018. Características de mazorca y grano de variedades criollas amarillas de la raza Tuxpeño en Ocozocoautla, Chiapas. Tesis Profesional. Universidad Autónoma de Chiapas. Villaflores, Chiapas. 51 p.
- Cadena I., P., R. Camas G., B. Coutiño E., A. Turrent F. y R. Camas P. 2018. La producción de grano mediante el modelo granos del sur y su contribución a la soberanía alimentaria. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 9(3): 639-649.

- Coutiño E. B., V. A. Vidal M., N. Gómez M., F. Aragón C., D. Oliva G., S. Grajales H. 2019. Diversidad fenotípica de variedades criollas de maíz Olotillo. Acta Fitogenética. Vol. 6 Núm. 1. p 44.
- Coutiño E. B. 2018. Selección de híbridos y variedades mejoradas de grano amarillo para el trópico de Chiapas. Proyecto de investigación. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Centro de Chiapas. Ocozocoautla, Chiapas. 20 p.
- Coutiño E. B. y G. Vázquez C. 2018. V-238AC: nueva variedad de maíz de grano amarillo QPM. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. (9)5: 1089-1091.
- Coutiño E. B., E. Garrido R. y F. San Vicente. 2015a. Comportamiento de nuevos híbridos de maíz tolerantes a mancha de asfalto en Chiapas, México. *In*: Memoria de Resúmenes de la LX Reunión Anual de la Sociedad del Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos y Animales. Guatemala, Centroamérica. p. 122.
- Coutiño E. B., V. A. Vidal M., C. Cruz V. y M. Gómez G. 2015b. Características eloteras y de grano de variedades nativas de maíz de Chiapas. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 6 (5): 1119-1127.
- Coutiño E. B., C. Cruz V. y A. Vázquez V. 2013. Ferias comunitarias de maíces criollos en la reserva de la Biósfera “La Sepultura”, Chiapas. *In*: Memoria de Resúmenes. V Reunión Nacional para el Mejoramiento, Conservación y Usos de los Maíces Criollos. Sociedad Mexicana de Fitogenética. Universidad Autónoma de Chiapas. San Cristóbal de Las casas, Chiapas. p. 49.
- Coutiño E. B., A. Ortega C., V. A. Vidal M., G. Sánchez G., y I. S. García A. 2008a. Selección recurrente para incrementar al contenido de aceite en maíz comiteco. Revista Fitotecnia Mexicana. 31(3): 5-8. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61009702>
- Coutiño E. B., G. Vázquez C., B. Torres M. y Y. Salinas M. 2008b. Calidad de grano, tortilla y botanas de dos variedades de maíz de la raza Comiteco. Revista Fitotecnia Mexicana. 31(3): 9 – 14.
- Coutiño E. B., E. Betanzos M., A. Ramírez F. y N. Espinosa P. 2004. V-229 y V-231A, nuevas variedades mejoradas de maíz de la raza comiteco. Revista Fitotecnia Mexicana (27): 295-296.

- CONAGUA. 2019. Centro hidrometeorológico Regional “Tuxtla Gutiérrez-Chiapas”.
smn.conagua.gob.mx
- Cruz C. F. J., P. Cadenas I., Y. Salinas M. y E. R. Garrido-R. 2013. Características nutricionales de maíces (*Zea mays* L.) pigmentados en Chiapas. *AgroProductividad*. 6(5): 44-51. <http://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/482>
- Delgado R. F., F. Guevara H., y R. Acosta R. 2018. Criterios campesinos para la selección de maíz (*Zea mays* L.) en Villaflores y Villa Corzo, Chiapas, México. *Ciencia UAT*. 13(1): 123-134. [Doi.org/10.29059/cienciauat.v13i1.985](https://doi.org/10.29059/cienciauat.v13i1.985).
- Duvick D. N. 2005. Genetic progress in yield of United States maize (*Zea mays* L.) *Maydica*. 50: 193-202
- FAO (Food and Agriculture Organization) 1993. El maíz en la nutrición humana. Roma, Italia. No. 25. www.fao.org/3/T0395S/T0395S00.htm#Contents
- Fernández S. R., L. A. Morales C. y A. Gálvez M. 2013. Importancia de los maíces nativos de México en la dieta nacional: Una revisión indispensable. *Revista Fitotecnia Mexicana*. (36): 275-283.
- Figueroa C. J. D., D. E. Narváez G., A. Mauricio S., S. Taba, M. Gaytán M., J. J. Vélez M., F. Rincón S. y F. Aragón C. 2013. Propiedades físicas del grano y calidad de los grupos raciales de maíces nativos (criollos) de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. (36): 305–314.
- FIRA. 2016. Panorama agroalimentario maíz 2016. Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial. pp: 3-23.
- Flores C. L. y J. García S. 2016. Beneficios de la adopción de semilla mejorada de maíz en la región central de Puebla. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 39(3): 277–283.
- Galicia L., A. Miranda, G. Gutiérrez M., O. Custodio, A. Rosales, N. Ruiz, R. Surlés y N. Palacios. 2012. Laboratorio de calidad nutricional de maíz y análisis de tejido vegetal. *Protocolos de Laboratorio*. México D. F.: Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. 55 p.
- García M. E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlo a la República Mexicana. Quinta edición. UNAM. México. 98 p.

- García S. J. y R. Ramírez J. 2014. El mercado de la semilla mejorada de maíz (*Zea mays* L.) en México. Un análisis del saldo comercial por entidad federativa. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 37(1): 69-77.
- García F. M., R. J. H. sawers, G. M. L. Ruíz A., F. J. P. Délano y A. Tiessen. 2015. Contenido de carotenoides del grano de maíz híbrido cultivado en invernadero. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 3(2): 1-19.
- García S. J. and R. Skaggs. 2015. Strategies for white and yellow maize cultivar improvement research and technology transfer in Mexico. *Agronomy Journal*. Volume 107. Issue 4: 1425 – 1439.
- García S. J., R. K. Skaggs y M. Borja B. 2016. Identificación de las regiones productoras de maíz más competitivas en México en base a la logística y al consumo. *Interciencia*. 41(6): 376–381.
- Garrido V. M. S. 1994. Interpretación de análisis de suelos. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Secretaría General de Estructuras Agrarias. 5(93): 40 p.
- Gómez E. J. 2011. Maíz, *axis muni*. Maíz y sustentabilidad. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Editorial Juan Pablos. México. pp: 20-30.
- González M. A. y J. F. Ávila C. 2014. EL maíz en Estados Unidos y en México. Hegemonía en la producción de un cultivo. *Argumentos*, UAM-Xochimilco, México. 27(75): 215-237. SciELO.org.mx/pdf/argu/v27n75/v27n75a11.pdf
- González C. N., H. Silos E., J. C. Estrada C., J. A. Chávez M. y L. Tejero J. 2016. Características y propiedades del maíz (*Zea mays* L.) criollo cultivado en Aguascalientes, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 7(3): 669-680.
- Hallauer A. R. and J. B. Miranda F. 1981. *Quantitative Genetics in Maize Breeding*. Iowa State University Press. Ames, Iowa. USA. 468 p.
- INEGI. 2015. Sala de prensa. <http://www.inegi.org.mx/saladeprensa/boletines/2015/>
- INEGI. 2017. Anuario estadístico y geográfico de Chiapas. <https://www.datatur.sectur.gob.mx>

- Jurado A. J., G. H. Aranda, J. N. Callejas y M. F. Ortega. 2013. Situación económica de la producción de maíz en condiciones de riego en el estado de Chihuahua. *Revista Mexicana de Agronegocios*, Vol. 33. pp: 504-512.
- Kato Y. T., S. C. Mapes, O. L. Mera, H. J. Serratos, y B. R. Bye. 2009. Origen y diversificación del maíz: Una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México D. F. 116 p.
- López M. F., M. G. Vázquez C., J. D. Molina G., J. J. García Z., T. Corona T., S. Cruz I., G. López R., D. Reyes L. y G. Esquivel E. 2017. Interacción genotipo-ambiente, estabilidad del rendimiento y calidad de grano en maíz Tuxpeño. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 8(5): 1035-1050.
- Lozano A. N., G. Vázquez C., K. Pixely and N. Palacios R. 2007. Physical properties and carotenoid content of maize kernels and its nixtamalized snacks. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 8: 385 – 389. Doi: 10.1016/j.ifset.2007.03.015
- Luna F. M. y J. R. Gutiérrez S. 1998. Mejoramiento genético de maíz en México: el largo camino de la obtención de semilla mejorada. *Agricultura Técnica en México*. 24(2): 165-198.
- Manjeru P., A. Van B., J. MacRobert and M. Labuschagne. 2019. Provitamin A maize hybrid response to drought, heat, low nitrogen, and low phosphorous stress. *Crop Science*. 59: 2533-2543. Doi: 10.2135/cropsci2019.02.0119
- Maqbool M. A., M. Aslam, M. S. Khan, A. Beshir and M. Ahsan. 2017. Evaluation of single cross yellow maize hybrids for agronomic and carotenoid traits. *International Journal of Agriculture & Biology*. 19(5): 1087-1098. doi:10.17957/IJAB/15.0389
- Márquez S. F. 2008. De las variedades criollas de maíz (*Zea mays* L.) a los híbridos transgénicos. I: Recolección de germoplasma y variedades mejoradas. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*. 5(2): 151-166.
- Martínez Y. B., M. Tadeo R., I. Benítez R., G. Vázquez C., A. Espinosa C., J. Mejía C., C. López L. y F. Martínez D. 2017b. Productividad de híbridos no convencionales de maíz de endospermo amarillo para valles altos de México. *Agrociencia*. 51(6): 635–647.

- Martínez S. J., N. Espinosa P. y P. Cadena I. 2017a. Caracterización morfológica de poblaciones de maíz nativo (*Zea mays* L.) en Chiapas, México. *Agroproductividad*. 10(9): 26-33.
- Mathias R., K. y K. Ah H. 2014. El color en los alimentos un criterio de calidad medible. *Agrosur*. 42(2): 39-48.
- Mellado O. E. y D. Hornero M. 2017. Carotenoides en cereales. *In: Carotenoides en agroalimentación y salud*. (Ed. Pilar Tapia). Editorial Terracota, S. A. de C. V. México. pp: 472–500. <http://carotenoides.us.es>
- Mendoza M. G., M. C. Mendoza C., A. Delgado A., F. Castillo G., T. Kato Y. y S. Cruz S. 2017. Antocianinas totales y parámetros de color en líneas de maíz morado. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 40(4). <https://www.redalyc.org/jatsRepo/610/61054247011/html/index.html>
- Montes H. L. A., J. A. Hernández G., H. López S., A. Santacruz V., H. Vaquera H. y R. Valdivia B. 2014. Expresión fenotípica *in situ* de características agronómicas y morfológicas en poblaciones del maíz raza Jala. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 37(4): 363-371.
- Muzhingi T., N. Palacios R., A. Miranda, M. L. Cabrera, K. J. Yeum and G. Tang. 2016. Genetic variation of carotenoids, vitamin E and phenolic compounds in Provitamin A biofortified maize. *Journal Society of Chemical Industry*. doi: 10.1002/jsfa.7798
- Navarro G. H., M. Hernández F., F. Castillo G. and M. A. Pérez O. 2012. Diversity and characterization of creole maize varieties: Case study in cultivation systems of Guerrero's Costa Chica, Mexico. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*. 9(2): 149-165.
- Norma Mexicana NMX-FF-034/1-SCFI-2002. (2002). Norma mexicana para maíces destinados al proceso de nixtamalización. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano. Cereales. Parte I: Maíz blanco para proceso alcalino para tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado. Especificaciones y métodos de prueba. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Dirección general de normas. México D. F. 18 p. www.economia-nmx.gob.mx
- Ortiz C. Y., T. Dhlwayo, N. Palacios R., T. Ndhlela, C. Magorokosho, V. H. Aguilar R., A. S. Cruz M., and S. Trachsel. 2019. Effects of drought and low nitrogen stress

on provitamin A carotenoid content of biofortified maize hybrids. *Crop Science*. 59: 2521 – 2532. Doi: 10.2135/cropsci2019.02.0100

- Palacios R. N. 2018. Calidad nutricional e industrial de maíz. Laboratorio de calidad nutricional de maíz “Evangelina Villegas” CDMX, México: CIMMYT. pp: 60-73
- Palacios R. N., M. Rodríguez, G. Vázquez, M. Carvajal, A. Molina, L. Cabrera, A. Rosales, M. L. Marrufo D. and E. Domínguez R. 2016. Lime cooking process: nixtamalization from México to the world. Basic concepts. CIMMYT. 50 p. <https://repository.cimmyt.org/handle/10883/18872>
- Paliwal R. L., G. Granados, H. R. Lafitte y A. D. Violic. 2001. EL maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción. FAO, Roma, Italia. Fao.org/3/x7650s00.htm
- Polanco J. A. y T. Flores M. 2008. Bases para una política de I&D e innovación de la cadena de valor del maíz. Editorial Foro Consultivo Científico y Tecnológico, A. C. México D. F. pp: 62-66.
- Ramírez D. J. L., I. Alemán de la T., M. Chuela B., V. A. Vidal M., A. Ledesma M., H. L. Vallejo D., R. Ramírez Z., N. O. Gómez M., S. Ruiz R., A. Peña R., C. A. Reyes M., Y. Salinas M., M. G. Vázquez C., J. A. Ruiz C., A. Trujillo C. y R. E. Preciado O. 2017. H-386A. Híbrido trilineal de maíz de grano amarillo para la zona subtropical de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Pacífico Centro. Campo Experimental Centro-Altos de Jalisco Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. Folleto Técnico Núm. 5. 48 p.
- Ramírez D. J. L., M. Chuela B., V.A. Vidal M., J Ron P., y F. Caballero H. 2007. Propuesta para formar híbridos de maíz combinando patrones heteróticos. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 30(4): 453-461.
- Retes M. R. F., G. Torres S. y S. Garrido R. 2014. Un modelo econométrico de la demanda de tortilla de maíz en México, 1996 – 2008. *Estudios Sociales*. 22(43): 38–59.
- Reyes M. C. A., M. A. Cantú, A., M. Garza C., G. Vázquez C. y H. Córdova O. 2009. H-443 A, híbrido de maíz de grano amarillo para el noreste de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 32(4): 331-333.
- Rosales A., E. Agama A., L. A. Bello P., R. Gutiérrez D. and N. Palacios R. 2016. Effect of traditional and extrusion nixtamalization on carotenoid retention in tortillas

made from provitamin A biofortified maize (*Zea mays* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. (64): 8289–8295. DOI: 10.1021/acs.jafc.6b02951

- SAGARPA. 2017b. Maíz grano blanco y amarillo mexicano. Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. Primera Edición. 28 p. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/256429/Basico_Maiz_Grano_Blanco_Y_Amarillo.pdf
- SAGARPA. 2017a. Agenda Técnica Chiapas SAGARPA. Maíz de temporal (regiones de clima cálido). México, D. F. pp: 69-85.
- Salazar M. J., C. H. Rivera F., S. Arévalo G., A. Guevara E., G. Malda B. y Q. Rascón C. 2015. Calidad del nixtamal y su relación con el ambiente de cultivo del maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 38(1): 67-73.
- Salinas M. Y., S. Saavedra a., J. Soria R. y E. Espinosa T. 2008. Características fisicoquímicas y contenido de carotenoides en maíces (*Zea mays* L.) amarillos cultivados en el Estado de México. *Agricultura Técnica en México*. 34(3): 357 – 364.
- Salinas M. Y. y G. Vázquez C. 2006. Metodologías de análisis de la calidad nixtamalera-tortillera en maíz. Folleto técnico No. 23. INIFAP. Campo Experimental Valle de México. Chapingo, Edo. de México. México. 91 p.
- Salinas M. Y., D. Rubio H. y A. Díaz V. 2005. Extracción y uso de pigmentos del grano de maíz (*Zea mays* L.) como colorantes en yogurt. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, Caracas. 55(3): 293-298. Disponible en http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222005000300011&lng=es&nrm=iso.
- Secretaría de Economía. 2012. Análisis de la Cadena de valor maíz-tortilla: Situación Actual y Factores de Competencia Local. Dirección General de Industrias Básicas. 19 p.
- Serratos J. A. 2009. El origen y la diversidad del maíz en el continente americano. Universidad Autónoma de la Ciudad de México. Disponible en: <http://www.greenpeace.org/mexico/global/mexico/report/2009/3/el-origen-y-la-diversidad-del.pdf>. Fecha de consulta: 5 de junio de 2017.
- SIAP. 2010. Maíz, Situación actual y perspectivas. 1996-2010. pp: 6-10. <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>

- Silva D. W. R., Y. J. Alfaro J. y R. J. Jiménez A. 2009. Evaluación de las características morfológicas y agronómicas de cinco líneas de maíz amarillo en diferentes fechas de siembra. *Revista UDO Agrícola*. 9(4): 743-755.
- SIAP. 2012. Situación actual y perspectivas del maíz en México 1996 – 2012. https://www.campomexicano.gob.mx/portal_siap/Integracion/EstadisticaDerivada/ComercioExterior/Estudios/Perspectivas/maiz96-12.pdf
- Suwarno B. W., P. Hannok, N. Palacios R., G. Windham, J. Crossa and K. Pixley V. 2019. Provitamin A carotenoids in grain reduce aflatoxin contamination of maize while combating vitamin A deficiency. *Frontiers in Plant Science*. 30(10): 1-12. doi: 3389/fpls.2019.00030.
- Tadeo R. M., A. Espinosa C., R. Guzmán M., A. Turrent F., J. Zaragoza E. y J. Virgen V. 2015. Productividad de híbridos varietales de maíz de grano amarillo para valles altos de México. *Agronomía Mesoamericana*. 26(1): 65-72 doi: 10.15517/am.v26i1.16921
- Tadeo R. M., A. Espinosa C., S. Zaragoza E., A. Turrent F., M. Sierra M. y N. Gómez M. 2012. Forrajes y grano de híbridos de maíz amarillos para valles altos de México. *Agronomía Mesoamericana*. 23(2): 281 – 288.
- TIERRAFERTIL. 2017. Maíz amarillo, lo que más importó México en el 2017. Multimedia editorial & Consultoría. http://www.tierrafertil.com.mx/maiz-amarillo-lo-que-mas-importo-mexico-en-el2017/especiales/especiales2015_08_8.pdf
- Torres M. B., B. Coutiño E., A. Muñoz O., A. Santacruz V., A. Mejía C., S. O. Serna S., S. García L. y N. Palacios R. 2010. Selección para contenido de aceite en el grano de variedades de maíz de la raza Comiteco de Chiapas, México. *Agrociencia*. 44 (6): 679-689. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952010000600007
- Vázquez C. M. G., D. Santiago R., Y. Salinas M., J. López C., M. C. Ybarra M. y A. Ortega C. 2014. Genotipos de maíz (*Zea mays* L.) con diferente contenido de aceite y su relación con la calidad y textura de la tortilla. *Agrociencia*. (48): 159-172.
- Vázquez C. M. G., D. Santiago R., Y. Salinas M., I. Rojas M., J. L. Arellano V., G. A. Velázquez C. y A. Espinosa C. 2012. Interacción genotipo-ambiente del rendimiento y calidad de grano y tortilla de híbridos de maíz en valles altos de Tlaxcala, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 35(3): 229-237.

Wellhausen E. J., L. M. Robets y E. Hernández X. 1951. Razas de maíz en México, su origen, características y distribución. Programa de Agricultura Cooperativa de la Secretaría de Agricultura y Ganadería de México, D. F. y la fundación Rockefeller. pp: 148-153.

7. ANEXOS

Cuadro 1A. Precipitación pluvial semanal de las tres localidades durante los dos ciclos de evaluación.

Fechas	Año 2018 (mm)			Año 2019 (mm)		
	Ocozocoautla	Villaflores	Jiquipilas	Ocozocoautla	Villaflores	Jiquipilas
1-7 Junio	37.80	128.90	1.50	41.30	45.70	15.40
8-14 Junio	69.00	99.00	65.90	39.80	35.50	56.70
15-21 Junio	5.40	5.00	1.60	67.00	81.00	32.50
22-28 Junio	69.80	121.50	93.90	19.00	100.50	34.50
29 jun-5 Julio	3.10	19.00	18.90	0.00	15.50	1.20
6-12 Julio	3.10	10.80	32.10	51.00	96.80	117.80
13-19 Julio	3.20	35.50	27.90	3.50	18.00	10.00
20-26 Julio	0.50	0.00	0.70	1.60	25.20	13.30
27-2 Agosto	55.00	0.00	47.20	0.00	7.50	0.00
3 Jul-9 Ago	8.00	103.00	17.50	70.00	96.00	64.50
10-16 Ago	0.00	23.50	47.70	0.00	147.70	14.40
17-23 Ago	17.80	92.50	13.70	21.90	68.50	21.70
24-30 Ago	60.10	48.90	79.10	66.10	29.00	11.10
31 ago-6 Sep	17.70	96.60	40.10	3.40	16.00	14.00
7-13 Sep	55.30	98.00	73.10	23.70	87.60	37.20
14-20 Sep	22.60	21.00	26.50	14.00	54.20	31.00
21-27 Sep	66.40	0.00	44.50	21.90	19.00	22.90
28 sep-4 Oct	0.00	0.00	17.30	30.50	16.00	78.00
5-11 Oct	1.30	0.00	8.10	11.60	0.00	3.00
12-18 Oct	34.20	39.20	101.10	31.90	0.00	55.50
19-25 Oct	26.30	14.60	63.00	6.20	0.00	0.00
26-31 Oct	0.00	35.50	0.00	52.80	0.00	0.00
Total:	556.60	992.50	821.40	577.20	959.70	634.70

Cuadro 2A. Características de suelo de las tres localidades de prueba

Análisis	Ocozocoautla	Villaflores	Jiquipilas
	Franco	Franco	
Textura de suelo	Arcilloso	Arenoso	Franco Arcilloso
CIC (meq/100 g)	33.70	5.43	40.90
Mat. Organica (%)	2.56	2.32	2.34
Densidad aparente (Da)	1.18	1.41	1.20
pH	7.24	6.16	8.03
NO ₃ (ppm)	31.80	14.90	9.51
P-Bray (ppm)	12.20	7.82	5.84
K (ppm)	208.00	109.00	343.00
Relación Ca/K (me/100 g)	44.00	16.30	38.80
Relación Mg/K (me/100 g)	18.60	1.61	6.67
Relación Ca+Mg/K (me/100 g)	62.60	17.90	45.40
Relación Ca/Mg (me/100 g)	2.36	10.10	5.81

Cuadro 3A. Rendimiento de grano en t ha⁻¹ obtenido en cada una de las localidades durante los dos años de evaluación.

Variedades	P.V. 2018			P.V. 2019			Promedio
	Jiq	Ocoz	Villa	Jiq	Ocoz	Villa	
Castaño	6.920	4.902	6.521	5.294	6.663	6.856	6.193 a
24-Kilates	5.549	6.160	6.282	4.836	5.213	6.500	5.757 ab
H-443A	6.006	5.763	5.502	5.420	5.894	5.562	5.691 ab
Remaco-15A	6.399	4.990	5.783	3.873	5.478	6.433	5.493 abc
Sur-42	5.809	3.980	4.111	5.071	6.322	7.184	5.413 abc
SP-528A	5.921	3.551	5.088	4.831	6.094	4.814	5.050 bcd
H-386A	5.607	6.024	5.776	2.357	6.114	1.359	4.539 cde
NA-35	3.943	3.517	5.937	2.840	5.050	5.131	4.403 cde
Pob.Am.C1	3.985	4.600	5.985	3.786	3.108	3.560	4.171 de
Pob.Am.C2	2.976	4.890	5.276	2.924	3.865	4.782	4.119 de
V-556A	4.522	3.167	5.180	2.840	3.769	4.140	3.936 def
PobAmC0	4.755	3.318	4.063	2.823	4.018	4.573	3.925 ef
Olotillo-A1	2.287	3.677	3.442	3.220	2.794	2.533	2.992 fg
Thaiska	2.905	2.308	3.682	2.665	1.767	3.900	2.871 fgh
Olotillo-A2	2.222	2.284	2.989	2.412	2.627	2.220	2.459 ghi
Olotillo-A3	2.469	1.394	1.737	2.399	1.287	1.821	1.851 hij
HV-60A1	2.466	0.987	2.527	0.347	1.879	1.878	1.681 ij
HV-59A	1.713	1.658	2.733	0.597	1.444	1.414	1.593 ij
HV-60A2	1.367	0.887	2.237	0.430	1.646	1.244	1.302 j
H-UNAM	1.272	1.319	1.618	0.598	1.348	0.975	1.188 j
V-238AC	0.758	1.261	1.465	0.645	0.748	0.977	0.976 j
Promedio:	3.802	3.364	4.187	2.867	3.673	3.707	3.600
Máximo:	6.920	6.160	6.521	5.420	6.663	7.184	6.193
Mínimo:	0.758	0.887	1.465	0.347	0.748	0.975	0.976

P.V. = Ciclo agrícola Primavera- Verano.
 Jiq = Jiquipilas; Ocoz = Ocozocoautla; Villa = Villaflores.

Cuadro 4A. Regresión simple para humedad, color y textura de tortilla a través del tiempo de 10 genotipos de maíz amarillo.

Carácter	Coefficiente de determinación (R ²)
Luminosidad en tortilla	0.014 NS
°Hue en tortilla	0.000 NS
Croma en Tortilla	0.007 NS
Humedad de tortilla	0.004 NS
Textura de Tortilla	0.0884 **

NS = No significativo; ** = Altamente significativo

Cuadro 5A. Comparación de medias de fuerza de ruptura (FR) en tortillas en 2, 24 y 48 horas de los genotipos amarillos evaluados en Chiapas. P.V. 2019

Genotipo	2 h (gf)	24 h (gf)	48 h (gf)
Castaño	342.7 ab	369.3 ab	349.0 b
Pob.Am.C3	333.3 ab	356.7 ab	351.7 b
24-Kilates	343.7 ab	339.0 b	382.0 b
H-443A	318.7 b	383.0 ab	369.3 b
Remaco-15A	324.8 ab	376.0 ab	361.7 b
V-556A	384.7 a	370.3 ab	388.0 ab
H-386A	309.0 b	362.7 ab	358.3 b
Thaiska	300.0 b	369.3 ab	435.0 a
Pob.Am.C1	330.3 ab	332.7 b	366.7 b
Olotillo-A1	325.3 ab	402.3 a	355.7 b
Promedio:	331.3	366.1	371.7



Figura 1A. Aspecto de planta y mazorca del híbrido H-443A en Jiquipilas, Chis.



Figura 2A. Aspecto de planta y mazorca de la Pob.Am.C1 en Villaflores, Chis.



Figura 3A. Aspecto de planta y mazorca del híbrido Remaco-15A en Villaflores, Chis.



Figura 4A. Aspecto de planta y mazorca de Olotillo-A1 en Villaflores, Chis.



Figura 5A. Aspecto de mazorca de los 21 genotipos evaluados.