



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

**POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GENÉTICA**

**PRODUCTIVIDAD Y CALIDAD INDUSTRIAL DE HÍBRIDOS NO
CONVENCIONALES Y VARIEDADES DE MAÍZ AMARILLO
PRECOCES PARA VALLES ALTOS**

BEATRIZ MARTÍNEZ YAÑEZ

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2016

La presente tesis titulada: **PRODUCTIVIDAD Y CALIDAD INDUSTRIAL DE HÍBRIDOS NO CONVENCIONALES Y VARIEDADES DE MAÍZ AMARILLO PRECOCES PARA VALLES ALTOS**, realizada por la alumna: **BEATRIZ MARTÍNEZ YAÑEZ**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GENÉTICA

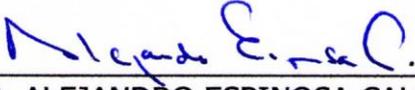
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



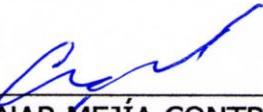
DR. IGNACIO BENÍTEZ RIQUELME

DIRECTOR DE TESIS



DR. ALEJANDRO ESPINOSA CALDERÓN

ASESOR



DR. JOSÉ APOLINAR MEJÍA CONTRERAS

ASESOR



DRA. MARGARITA TADEO ROBLEDO

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Abril de 2016

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por proporcionar el soporte financiero que me permitió llevar a cabo estudios de Maestría en el Colegio de Postgraduados en el periodo 2014-2016.

Al Colegio de Posgraduados en Ciencias Agrícolas, Campus Montecillo, por la formación académica con enfoque en Mejoramiento Genético Vegetal.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC, UNAM), por las instalaciones del Campus y Laboratorio de Semillas, que han permitido desarrollar las evaluaciones experimentales de esta investigación.

Al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT: T201215), de la UNAM, por el financiamiento, la realización de los trabajos experimentales en conjunto con personal académico, investigadores y estudiantes.

Al Campo Experimental Valle de México, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (CEVAMEX, INIFAP), por las instalaciones prestadas del campo del Programa de Producción de Semillas y del Laboratorio de Maíz, donde se llevó a cabo los experimentos y análisis de calidad de los materiales de investigación.

Los integrantes de mi Consejo Particular, por su apoyo e hicieron posible que este trabajo se concluyera de la mejor manera:

A mi Profesor Consejero Dr. Ignacio Benítez Riquelme, por su confianza, paciencia, valioso apoyo, asesoramiento, dedicación durante estos dos años y conclusión de este proyecto de investigación.

A mi Director de tesis Dr. Alejandro Espinosa Calderón, por su tolerancia, confianza, motivación, sus múltiples enseñanzas, comprensión académica y personal, su valioso apoyo, dedicación y empeño en el proceso y culminación de este proyecto de investigación.

A mi Asesor Dr. José Apolinar Mejía Contreras, por estar inclusive antes de iniciar mis estudios de maestría, apoyo como consejero en un principio y seguir apoyándome en estos años en la redacción, consejos, sugerencias, valoro en demasía toda su aportación y culminación del proyecto.

A mi Asesora Dra. Margarita Tadeo Robledo, por estar siempre presente, por ser la brújula en mi vida, incontables apoyos en esta investigación, la confianza que siempre tiene a mi persona, creer en mí, estimularme a seguir estudiando, agradezco el arduo trabajo que Usted y el Dr., empeñan siempre en mí.

A mi Sinodal Dr. J. Jesús García Zavala, por ser mi profesor, aportarme sus conocimientos y compartir sus experiencias como estudiante e investigador por su colaboración, Gracias.

A la Dra. María Gricelda Vázquez Carrillo, por su compromiso a este proyecto, a pesar de no ser mi asesora oficial, mantuvo siempre el papel, asesoramiento, su respaldo y esfuerzo para la parte de calidad, lo cual valoro muchísimo, ya que es parte fundamental para la culminación de esta tesis.

A la Ing. María de la Luz Marrufo Díaz, por su colaboración en el proceso de los cálculos de las variables evaluadas en aspectos de calidad, su apoyo moral, y brindarme su amistad.

Al Sr. Miguel Alonso García, por su colaboración en la elaboración de tortillas, proteína, y asesoramiento en aceite, por su amistad brindada, su paciencia, y el trabajo realizado, sin su ayuda, este proyecto no estuviera concluido.

A los estudiantes y compañeros del Equipo de Investigación en Mejoramiento Genético de la FESC, UNAM, cuya participación y apoyo hacen posible que los trabajos de campo inicien y concluyan.

A los miembros del equipo de trabajo de Producción de Semillas del CEVAMEX, por el apoyo en las actividades de los experimentos y al grupo de semillas de la FESC, UNAM, por su colaboración

DEDICATORIA

A la Sra. Dalila, por siempre recibirnos con una sonrisa, buenos deseos y cariño a todos los estudiantes, sin excepción, su apoyo incondicional, que forma parte de nuestra familia y mi admiración por su paciencia, resolviendo nuestras dudas académicas, en lo personal “Muchas Gracias”, por tolerarme, darle tanta lata y molestias, durante mi estancia en el Departamento de Genética.

A mi familia, Romí, Pablo, Yeri, por su paciencia en mis múltiples ausencias en estos dos últimos años, por su admiración a mi persona, su comprensión, amor y su apoyo moral.

A mis hermanos Sergio, David, Oscar y Adrián, mis cuñadas Santa, Magda y Edith, a mis sobrinos (as), Oswaldo, Julieta, Jessica, Ian, Arianna, Adiennor, Isaí, Lalito y el más pequeño Emiliano por todo su amor, comprensión, apoyo. “Gracias”, por ser parte de mi vida a estos seres tan especiales.

A mis Padrinos, José Blancas, Teresa e hijos, que siempre me impulsan y están para apoyarme en todo lo que hago.

A mis compañeros del Colegio de postgraduados, que tuve el honor de haberlos conocido y seguir contando con su compañerismo, simpatía y amistad. No pongo nombres porque son muchos (as), gracias por compartir conmigo estos dos años de estudio, fiestas, al equipo de Genética y al Real Genética.

Al personal académico, su dedicación, su esfuerzo por darme la mejor enseñanza, formación académica, sugerencias y aportaciones en la vida como estudiante.

Al Dr. Job Esparza, por su agradable compañía, consejos, su valioso apoyo durante nuestra estancia como Profesor y ahora como Investigador de la FESC.

A la M.C. Ana María, por ser consecuente conmigo, su amistad aunque siempre las quiera cortar conmigo, su personalidad, estilo y contar con su humor negro es fascinante.

Al M.C. Enrique Canales Islas, por su apoyo en la aplicación del modelo AMMI, el cual sufrí un poco, por su colaboración como amigo y colega.

A Consuelo López López, por contar con su compañerismo e iniciar una amistad perdurable, por sus enseñanzas y buenos hábitos de orden académico.

A mis compañeros de Laboratorio de semillas de la FESC, UNAM, por su apoyo, dedicación y su compañerismo, Karina Mora, Francisco, Luis Fernando, Monserrat, Liliana, Orlando, David, Samuel, Yesenia y Lili.

A Rafael Martínez, por sus enseñanzas que me acompañaran toda la vida y conservarlas es una virtud en mi vida profesional, y mi admiración a tu persona por tu conocimiento altamente calificado.

A mí Jefe, Colega, Amigo Israel Arteaga Escamilla, por ser un amigo sincero, por hacerme reír, por compartir tantos años juntos de amistad.

A mis Amigas, Denys, Sandra, Berenice y Nathalie, por su compañía, motivación, enseñanzas de la vida, por compartir muchas cosas buenas, malas y excelentes en esta nueva etapa, mi admiración y amor para Ustedes.

Anabel Moreno Hernández, que hemos compartido hasta la familia, hemos pasado en estos años, múltiples aventuras que contar todas buenas porque siempre reímos al recordarlas y compartirlas, es grato haberte conocido, fuera de la Universidad y convertirte en un ser especial en mi vida, gracias por todo tu amor, buenos hábitos y malas enseñanzas.

Aurora y Noelia, que siempre tienen ocurrencias una seria y otra no tanto que me dan un buen sabor de boca siempre que estoy junto a ustedes y saber que cuento con ustedes es una bendición.

A mi vecino y compañero del colegio Juan de Dios, por ser un ser humano agradable, en lo personal y sin temor a equivocarme leal, congruente y sincero, me ha tocado vivir

experiencias agradables contigo, recordare siempre nuestro sistema de estudio, robó de agua, y compartir esos desayunos sabatinos.

A mis compañeras y Amigas “Susana y Sharo”, por tener el honor mutuo de conservar su amistad, desde la preparatoria, mi más sincero agradecimiento por esta duradera amistad, con todo mi amor.

A mis compañeros de la Universidad, con los que aún tengo relación, gracias por esos paseos, reuniones que a lo largo de estos años, hemos compartido aventuras, hijos, parrandas Cuernavaca, Villa del Carbón, CDMX, etc.

A Don David Martínez y Gloria Penagos, por su apoyo en estos últimos años, por sus consejos, apoyo moral, compartir su familia y hacerme sentir parte de la suya

A la bióloga Araceli y Sadot, por darme la oportunidad de conocerlos y estar en sus vidas profesionalmente y personalmente, aportar a mi vida conocimiento y experiencias.

A la memoria de mis padres.

***“A TODOS MUCHAS GRACIAS POR SER PARTE DE MI VIDA,
CON TODA MI ADMIRACIÓN”***

C O N T E N I D O

INDICE DE CUADROS	vii
INDICE DE FIGURAS	viii
ANEXO	x
RESUMEN GENERAL	xi
GENERAL SUMMARY	xii
I. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
I.1 OBJETIVOS GENERALES	5
I.2 HIPÓTESIS GENERALES	5
CAPITULO II: PRODUCTIVIDAD DE HIBRIDOS NO CONVENCIONALES DE MAÍZ DE ENDOSPERMO AMARILLO PARA VALLES ALTOS DE MÉXICO	6
2.1 Resumen	6
2.2 Abstract	7
2.3 Introducción	8
2.4 Materiales y métodos	10
2.5 Resultados y discusión	13
2.6 Conclusiones	22
2.7 Literatura citada	23
CAPITULO III: RENDIMIENTO Y CALIDAD DE GRANO DE HÍBRIDOS NO CONVENCIONALES DE MAÍCES AMARILLOS PARA VALLES ALTOS DE MÉXICO	26
3.1 Resumen	26
3.2 Abstract	27
3.3 Introducción	28
3.4 Materiales y métodos	31
3.5 Resultados y discusión	36
3.6 Conclusiones	48
3.7 Literatura citada	49
IV. DISCUSIÓN GENERAL	55
V. CONCLUSIONES GENERALES	57
VI. LITERATURA CITADA EN INTRODUCCIÓN GENERAL	58

Í N D I C E D E C U A D R O S

CAPITULO II

Cuadro 2.1	Híbridos no convencionales (HNC), variedades (V) y cruzas simples (HS) de maíz de grano amarillo usados en los ensayos uniformes y origen. Primavera verano 2013-2014.	11
Cuadro 2.2	Cuadrados medios, coeficiente de variación (CV%) y significancia estadística del análisis combinado de híbridos no convencionales de maíz y sus progenitores evaluados en dos localidades de Valles Altos durante dos años. Ciclo primavera verano 2013 y 2014.	14
Cuadro 2.3	Comparación de medias entre ambientes del análisis combinado de localidades durante los años 2013 y 2014 (REND., FM, FF, AP, AM, PHEC, SM, SP, CM).	15
Cuadro 2.4	Comportamiento medio de híbridos no convencionales y sus progenitores de maíz de grano amarillo considerando en el promedio de cuatro ambientes de evaluación ciclo primavera verano 2013 y 2014	17
Cuadro 2.5	Heterosis media y con respecto al mejor progenitor en los híbridos no convencionales, de maíces amarillos para rendimiento de grano.	18

CAPITULO III

Cuadro 3.1	Híbridos no convencionales (HNC), variedades (V) y cruzas simples (HS) de maíz de grano amarillo usados en los ensayos uniformes y origen. Primavera verano 2013-2014.	33
Cuadro 3.2	Cuadrados medios de rendimiento y características físicas de híbridos no convencionales e híbridos convencionales de maíces amarillos en las dos localidades de FESC y CEVAMEX de dos ciclos 2013 y 2014.	37
Cuadro 3.3	Cuadrados medios de Aceite y características nixtamal y tortilla de híbridos no convencionales e híbridos convencionales de maíces amarillos en las dos localidades de FESC y CEVAMEX de dos ciclos 2013 y 2014.	37
Cuadro 3.4	Componente principal y Componente interacción G x A de híbridos no convencionales e híbridos convencionales de maíces amarillos en las dos localidades de FESC y CEVAMEX de dos ciclos 2013 y 2014.	38

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPITULO II

- Figura 2.1** Gráfica general en el comportamiento de temperaturas máximas, mínimas y precipitación en la localidad de CEVAMEX, en el ciclo 2013 y 2014. Datos obtenidos de la estación meteorológica “CHAPINGO”. 19
- Figura 2.2** Gráfica general en el comportamiento de temperaturas máximas, mínimas y precipitación en la localidad de FESC-UNAM, en el ciclo 2013 y 2014. Datos obtenidos de la estación meteorológica “ALMARAZ”. 19
- Figura 2.3** Rendimiento del híbrido no convencional ‘V-53 A x 324 #’ y sus progenitores de la cruce de maíz de grano amarillo a través de cuatro ambientes en los cuales se evaluaron. Ciclo primavera verano 2013 y 2014. 20
- Figura 2.4** Rendimiento del híbrido no convencional ‘V-55 A x 324 #’ y sus progenitores de la cruce de maíz de grano amarillo a través de cuatro ambientes en los cuales se evaluaron. Ciclo primavera verano 2013 y 2014. 20
- Figura 2.5** Rendimiento del híbrido no convencional ‘V-54 A x 324 #’ y sus progenitores de la cruce de maíz de grano amarillo a través de cuatro ambientes en los cuales se evaluaron. Ciclo primavera verano 2013 y 2014. 21
- Figura 2.6** Rendimiento del híbrido no convencional ‘V-55 A x 351 #’ y sus progenitores de la cruce de maíz de grano amarillo a través de cuatro ambientes en los cuales se evaluaron. Ciclo primavera verano 2013 y 2014. 21

CAPÍTULO III

- Figura 3.1** Gráfica general en el comportamiento de temperaturas máximas, mínimas y precipitación en la localidad de CEVAMEX, en el ciclo 2013 y 2014. Datos obtenidos de la estación meteorológica “CHAPINGO”. 32
- Figura 3.2** Gráfica general en el comportamiento de temperaturas máximas, mínimas y precipitación en la localidad de FESC-UNAM, en el ciclo 2013 y 2014. Datos obtenidos de la estación meteorológica “ALMARAZ”. 33

Figura 3.3	Representación gráfica del componente principal 1 para la variable rendimiento del promedio de 22 genotipos, con la siguiente descripción para los ambientes F-13 = Ambiente 1 (Fesc-2013); C-13 = Ambiente 2 (CEVAMEX-2013); F-14 = Ambiente 3 (FESC-2014); C-14 = Ambiente 4 (CEVAMEX-2014).	39
Figura 3.4	Representación gráfica del componente principal 1 para la variable peso hectolitrico, promedio de 22 genotipos, con la siguiente descripción para los ambientes F-13 = Ambiente 1 (Fesc-2013); C-13 = Ambiente 2 (CEVAMEX-2013); F-14 = Ambiente 3 (FESC-2014); C-14 = Ambiente 4 (CEVAMEX-2014).	40
Figura 3.5	Representación gráfica del componente principal 1 para la variable de índice de flotación determinando la dureza promedio de 22 genotipos, con la siguiente descripción para los ambientes F-13 = Ambiente 1 (Fesc-2013); C-13 = Ambiente 2 (CEVAMEX-2013); F-14 = Ambiente 3 (FESC-2014); C-14 = Ambiente 4 (CEVAMEX-2014).	41
Figura 3.6	Representación gráfica del componente principal 1 para la variable de peso de cien granos determinando la dureza, promedio de 22 genotipos, con la siguiente descripción para los ambientes F-13 = Ambiente 1 (Fesc-2013); C-13 = Ambiente 2 (CEVAMEX-2013); F-14 = Ambiente 3 (FESC-2014); C-14 = Ambiente 4 (CEVAMEX-2014).	42
Figura 3.7	Representación gráfica del componente principal 1 para la variable b* lectura con Hunter Lab promedio de 22 genotipos, con la siguiente descripción para los ambientes F-13 = Ambiente 1 (Fesc-2013); C-13 = Ambiente 2 (CEVAMEX-2013); F-14 = Ambiente 3 (FESC-2014); C-14 = Ambiente 4 (CEVAMEX-2014).	42
Figura 3.8	Representación gráfica del componente principal 1 para la variable Aceite promedio de 22 genotipos, con la siguiente descripción para los ambientes F-13 = Ambiente 1 (Fesc-2013); C-13 = Ambiente 2 (CEVAMEX-2013); F-14 = Ambiente 3 (FESC-2014); C-14 = Ambiente 4 (CEVAMEX-2014).	43
Figura 3.9	Representación gráfica del componente principal 1 para la variable materia seca, promedio de 22 genotipos, con la siguiente descripción para los ambientes F-13 = Ambiente 1 (Fesc-2013); C-13 = Ambiente 2 (CEVAMEX-2013); F-14 = Ambiente 3 (FESC-2014); C-14 = Ambiente 4 (CEVAMEX-2014).	45
Figura 3.10	Representación gráfica del componente principal 1 para la variable pericarpio retenido promedio de 22 genotipos, con la siguiente descripción para los ambientes F-13 = Ambiente 1 (Fesc-2013); C-13 = Ambiente 2 (CEVAMEX-2013); F-14 = Ambiente 3 (FESC-2014); C-14 = Ambiente 4 (CEVAMEX-2014).	45

- Figura 3.11** Representación gráfica del componente principal 1 para la variable rendimiento de tortilla fría a las 24 horas promedio de 22 genotipos, con la siguiente descripción para los ambientes F-13 = Ambiente 1 (Fesc-2013); C-13 = Ambiente 2 (CEVAMEX-2013); F-14 = Ambiente 3 (FESC-2014); C-14 = Ambiente 4 (CEVAMEX-2014). 46
- Figura 3.12** Representación gráfica del componente principal 1 para la variable b lectura por Hunter Lab, promedio de 22 genotipos, con la siguiente descripción para los ambientes F-13 = Ambiente 1 (Fesc-2013); C-13 = Ambiente 2 (CEVAMEX-2013); F-14 = Ambiente 3 (FESC-2014); C-14 = Ambiente 4 (CEVAMEX-2014). 47
- Figura 3.13** Representación gráfica del componente principal 1 para la variable Fuerza de punción después de 24 horas promedio de 22 genotipos, con la siguiente descripción para los ambientes F-13 = Ambiente 1 (Fesc-2013); C-13 = Ambiente 2 (CEVAMEX-2013); F-14 = Ambiente 3 (FESC-2014); C-14 = Ambiente 4 (CEVAMEX-2014). 48

ANEXO

- 1A** Comparación de medias de análisis de calidad de grano amarillo de características físicas, nixtamalización, estructurales y químicas de dos localidades durante los años 2013 y 2014. 62
- 2A** Comparación de medias solo para la variable de color para grano, harina, tortilla a las 2 horas y 24 horas para Híbridos Varietales y sus progenitores de maíz de grano amarillo considerando en el promedio de cuatro ambientes de evaluación ciclo primavera verano 2013 y 2014. 63
- 3A** Comparación de medias de características físicas y estructurales de maíz de grano amarillo para Híbridos Varietales y sus progenitores considerando el promedio de cuatro ambientes de evaluación ciclo primavera verano 2013 y 2014. 64
- 4A** Comparación de medias de calidad de nixtamalización de maíz de grano amarillo para Híbridos Varietales y sus progenitores considerando el promedio de cuatro ambientes de evaluación ciclo primavera verano 2013 y 2014. 65
- 5A** Comparación de medias de calidad de tortilla y químicas de maíz de grano amarillo para Híbridos Varietales y sus progenitores considerando el promedio de cuatro ambientes de evaluación ciclo primavera verano 2013 y 2014. 66

**PRODUCTIVIDAD Y CALIDAD INDUSTRIAL DE HÍBRIDOS NO
CONVENCIONALES Y VARIEDADES DE MAÍZ AMARILLO PRECOCES PARA
VALLES ALTOS**

Beatriz Martínez Yañez, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2016

RESUMEN GENERAL

Las variedades mejoradas de maíz de grano amarillo y ciclo corto, con adaptación a las condiciones agroclimáticas de Valles Altos, son escasas; por ello en la FESC-UNAM y en el CEVAMEX, INIFAP, se han dado a la tarea de producirlas priorizando en ellas rendimientos de mediana productividad en siembras retrasadas y tolerancia al acame. Entre los resultados más notorios está la propuesta de uso de híbridos no convencionales (HNC). En la presente investigación se determinó la capacidad productiva, heterosis y precocidad, así como la calidad y fabricación de tortilla de 12 HNC amarillos. Para tales propósitos se incluyeron 21 genotipos amarillos (Capítulo II) para su evaluación en campo en los ciclos primavera verano 2013 y 2014, en dos localidades de Valles Altos y 22 para su evaluación en laboratorio (Capítulo III) en el año 2015. Además de los HNC se incluyeron sus variedades progenitoras y el testigo blanco 'H-48'. De los análisis de varianza combinado de los cuatro experimentos desarrollados en campo y en presencia de interacción significativa ($p \leq 0.05$), se encontró que el grupo de mayor significancia estadística ($p \leq 0.05$) para rendimiento de grano lo conformaron cuatro HNC (4, 5, 6 y 22) y la variedad progenitora con origen y germoplasma subtropical '324 #', no así las variedades amarillas de uso comercial liberadas por INIFAP. Debido al alto rendimiento de la variedad '324 #' que fue prácticamente la variedad progenitora común de los HNC superiores, la heterosis para rendimiento de grano para estos HNC fue negativa. Los HNC superiores también superaron estadísticamente ($p \leq 0.05$) en precocidad a las variedades de uso comercial que se utilizan en Valles Altos Mexicanos., Con base en el modelo AMMI, los maíces amarillos conservan la calidad industrial de manera estable, presentando estabilidad y adaptabilidad a través de ambientes. Los resultados para la fabricación de tortillas, de acuerdo con los parámetros de la NMX-034, indican que los HNC son aptos para la Industria de masa y la tortilla (IMT).

Palabras claves: *Zea mays* L., híbridos no convencionales, grano amarillo, calidad de grano, calidad de tortilla.

HIGH VALLEYS NON-CONVENTIONAL MAIZE YELLOW HYBRIDS PRODUCTIVITY AND INDUSTRIAL QUALITY

Beatriz Martínez Yañez, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2016

GENERAL SUMMARY

Improved maize varieties of yellow grain and early maturity, with adaptation to the climatic conditions for The High Valley, are limited; for this reason in the FESC-UNAM and CEVAMEX, INIFAP, have been developing this type of varieties with special emphasis in grain yield for systems of medium productivity in delayed planting dates and tolerance to the stalk lodging. Among the most notorious results is the proposal for using of non-conventional hybrids (HNC). This research determined the productive capacity, heterosis and earlier maturity, as well as quality and manufacturing of the tortilla in 12 HNC with yellow grain. For such purposes 21 yellow genotypes (chapter II) were evaluated in the field during the spring summer 2013 and 2014 seasons in two localities of High Valleys and 22 for evaluation in laboratory (chapter III) in 2015. Parents of the varieties and a white grain hybrid check 'H-48' were included in addition to the HNC. The combined analysis of variance of the four experiments conducted in the field and in the presence of significant interaction ($p \leq 0.05$), it was found that the group of higher statistical significance ($p \leq 0.05$) for grain yield included four HNC (4, 5, 6 and 22) and the progenitor variety with origin and subtropical germplasm '324 #', not so the yellow varieties of commercial use released by INIFAP. Due to the high performance of the variety '324 #', that it was practically the common progenitor variety of the best HNC. The heterosis for grain yield of these HNC was negative. The better HNC also outperformed statistically ($p \leq 0.05$) in early maturity to the Mexicans commercial varieties used in The High Valleys based on the AMMI model, the yellow maize retained the industrial quality, showing stability and adaptability across environments. The results for the production of tortillas, according to the parameters of the NMX-034, indicate that the HNC is appropriate for the industry of dough and tortilla (IMT).

Key words: *Zea mays* l., non-conventional hybrids, yellow grain, grain quality, quality of tortilla

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

El maíz (*Zea mays* L.) es el cultivo más importante a nivel mundial (FAO, 2015). En el año 2014, la producción de maíz fue de 1001.74 millones de toneladas de grano. En México, centro de origen de la especie, en cada ciclo agrícola se producen en promedio 22.1 millones de toneladas, con un rendimiento medio de 2.8 ton ha⁻¹; sin embargo, cada año se tiene que recurrir a la importación de más de 10 millones de toneladas de maíz amarillo, para poder satisfacer la demanda de grano y forraje para la producción de carne, leche y huevo, por lo que el consumo total aparente nacional requiere en total 32.1 millones de toneladas (Tadeo, 2015).

Este cultivo es emblemático para México, ya que además de haber sido inventado por los Mesoamericanos, siendo el país, lugar de origen y centro de biodiversidad, el consumo humano per cápita aumento en los últimos años de 248 a 254 kilogramos para el 2013, este grano, es la principal fuente de energía, proteínas, almidones, fibra, hierro, etc., es un alimento básico fundamental para la dieta de los mexicanos (Álvarez y Piñeyro, 2013), por lo que es indispensable elevar la producción.

Las importaciones de la oferta domestica son: 93 % de oleaginosas, 80.8 % de maíz amarillo, y 79 % de arroz que son los principales cultivos de granos importados (Schwentenius y Ayala, 2014). En México se siembran 8.5 millones de ha⁻¹, en 2.3 millones de unidades de producción (Ortiz *et al.*, 2007; Turrent, 2009; Espinosa *et al.*, 2008). Existen diferentes variedades nativas de maíz para infinidad de agrosistemas, manejo del cultivo, ambientes, altitud, y otras condiciones, las cuales tienen usos específicos y especializados por los agricultores. Se conocen más de tres mil diferentes usos (Tadeo, 2015). En México, el 76 % del maíz se cultiva bajo temporal irregular y escaso y el 24 % restante bajo riego (Turrent, 2009). A partir de 1943 año en el que formalmente se inició la investigación pública en

mejoramiento genético y hasta el año 2016 se han generado 280 variedades mejoradas por el INIFAP, el INIA y sus antecesores (Tadeo *et al.*, 2016).

De la superficie cultivada nacional, 1.5 millones de hectáreas se ubican en altitudes de 2200 a 2600 m, en los Valles Altos de la Mesa Central; de las cuales 800 mil se cultivan en temporal, con lluvias que generalmente se presentan en forma tardía, limitando la fecha de siembra, la productividad del cultivo y su exposición a la incidencia de heladas tempranas. En estas condiciones en el estado de México, se siembran 300 mil hectáreas, con una productividad de 1.2 ton ha⁻¹. El uso de semilla mejorada es un elemento clave, como ocurre en muchos países en desarrollo, para alcanzar niveles competitivos en la producción, ya que con materiales mejorados ex profeso para una región dada, se aprovechan al máximo las condiciones ambientales disponibles y el uso óptimo de los insumos que requiere todo proceso de producción. Las variedades mejoradas de maíz de grano amarillo y ciclo corto, con adaptación a las condiciones agroclimáticas de Valles Altos son escasas; en la Facultad de estudios Superiores Cuautitlán, de la Universidad Nacional Autónoma de México (FESC-UNAM), se han generado variedades de ciclo precoz, al igual que en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (CEVAMEX, INIFAP) donde se han promovido tres variedades de grano amarillo de ciclo precoz denominadas ‘V-53A’, ‘V-54A’ y ‘V-55A’.

En México se estima que el maíz amarillo representa el 5 % de la superficie total sembrada (SFA-SAGARPA, 2011), por lo que se requiere incrementar la producción de grano amarillo para subsanar la demanda y reducir la importación de 10 toneladas. Las variedades de maíz de grano amarillo y ciclo corto, con adaptación a las condiciones agroclimáticas de Valles Altos son escasas, en esta región la mayor producción de maíz amarillo se sustenta en el uso de variedades nativas (Espinosa *et al.*, 2010; Espinosa *et al.*, 2011), la UNAM y el INIFAP

han generado variedades de ciclo precoz y han mostrado rendimientos aceptables en siembras retrasadas, tolerancia al acame; sin embargo, con el propósito de contar con variedades rendidoras, se llevaron a cabo, híbridos no convencionales los cuales se definen como híbridos obtenidos a partir de la combinación que no cumplen con la conformación clásica, por su estructura genética generalmente presentan mayor facilidad para la producción y rendimientos favorables que es superior a los progenitores (Tadeo *et al.*, 2015).

Una dieta balanceada con alimentos que aporten la cantidad suficiente de proteínas, carbohidratos, grasas, minerales y vitaminas (Mazón *et al.*, 2012), es necesaria para una alimentación saludable y en los últimos años, ha crecido la demanda de maíz destinado al proceso de nixtamalización industrial, lo que ha estimulado el estudio de las características de calidad del grano en los programas de mejoramiento genético, y en el proceso de fabricación industrial de productos de maíz nixtamalizado (Jiménez *et al.*, 2015), por otro lado el 98 % de la tortilla que se consume es elaborada por algunos sectores productores de este alimento: la industria tradicional de la masa y la tortilla (IMT) y la industria de harina nixtamalizada (IHN). Lo que la industria requiere para la elaboración de tortillas, granos que tengan ciertas características físicas, organolépticas, color, textura, consistencia de tortillas, plasticidad que le den un valor agregado al producto intermedio y final (Vázquez *et al.*, 2008; Antuna *et al.*, 2008 y Vázquez *et al.*, 2010). Los rendimientos de masa y de tortilla dependen básicamente de la capacidad del grano de absorber agua y de retenerla durante las etapas del proceso, particularmente la tortilla, que pierde una cantidad importante durante la formación de la “ampolla”, que es la etapa final del cocimiento, sin embargo, la cantidad de pericarpio retenido una vez que el nixtamal es enjuagado, también influye en los rendimientos, por la capacidad de ligar agua que esta estructura hidrolizada posee, lo mismo ocurre con la pérdida de sólidos en el nejayote (Salinas *et al.*, 2010). Es evidente que el endurecimiento y la pérdida

de flexibilidad de la tortilla de maíz son atribuidos a la retrogradación del almidón (Rooney y Suhendro, 1999). Se sabe que la calidad de la tortilla es influenciada por las características del grano y por las condiciones de su elaboración (Salinas *et al.*, 2011; Jiménez *et al.*, 2012).

1.1 OBJETIVOS GENERALES

Determinar la capacidad productiva y heterosis de híbridos no convencionales de maíz amarillo, obtenidos de cruzamientos de variedades mejoradas en combinación con cruza simples o líneas.

Determinar la calidad de grano, características físicas, calidad de nixtamal y tortilla, de híbridos no convencionales, con respecto a sus progenitores, así como definir si se mejora el rendimiento y la fabricación de tortilla.

1.2 HIPÓTESIS GENERALES

Las combinaciones de híbridos no convencionales de maíz de grano amarillo mejoran el rendimiento de sus respectivos progenitores, mantienen la precocidad y expresan heterosis en rendimiento y calidad de grano.

Los híbridos no convencionales evaluados con respecto a sus progenitores, mejoran la calidad del grano y otras características que favorecen la fabricación de tortilla de buena calidad.

C A P I T U L O I I . P R O D U C T I V I D A D D E H I B R I D O S N O C O N V E N C I O N A L E S D E M A Í Z D E E N D O S P E R M O A M A R I L L O P A R A V A L L E S A L T O S D E M É X I C O

2.1 RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue determinar la capacidad productiva, heterosis y precocidad de 12 híbridos no convencionales de maíz amarillo (*Zea mays* L.), utilizando como progenitores a variedades mejoradas, líneas y cruza simples. Los 12 híbridos no convencionales, así como cada uno de sus progenitores, se evaluaron en cuatro ensayos uniformes, durante los ciclos primavera verano 2013 y 2014. Los ensayos fueron establecidos en los campos experimentales de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, de la Universidad Nacional Autónoma de México (FESC-UNAM), y del Campo Experimental Valle de México del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (CEVAMEX, INIFAP). El análisis de varianza combinado de los cuatro experimentos para rendimiento, detectó diferencias altamente significativas para ambientes, genotipos y la interacción. La variedad '324 #' de fuente germoplásmica subtropical fue el progenitor que expresó mayor rendimiento 9.1 t ha^{-1} , similar estadísticamente a los híbridos no convencionales 'V-53A x 324 #' y 'V-55A x 324 #' que rindieron 8.2 t ha^{-1} y 8.1 t ha^{-1} , respectivamente; aunque estos dos híbridos, tuvieron significativamente menores días a floración masculina que la variedad progenitora '324 #'. En general y dentro de ambientes, los mejores híbridos fueron los no convencionales y en especial, los que tuvieron como progenitor a la variedad '324 #'. Los mejores híbridos 'V-53A x 324 #', 'V-55A x 324 #' y 'V-54A x 324 #' presentaron una heterosis respecto al mejor progenitor de -9.9, -14.9 y -11.1 %, respectivamente; mismas que se explican por la excelente productividad de la variedad '324 #'; sin embargo, los tres híbridos no convencionales, aportan ventajas para su posible uso comercial en los Valles Altos de México, ya que superan significativamente en rendimiento y precocidad a las variedades comerciales 'V-54A' y 'V-55A'.

Palabras clave: *Zea mays* L., variedades mejoradas, grano amarillo, híbridos no convencionales.

PRODUCTIVITY OF NON CONVENTIONAL MAIZE HYBRIDS WITH YELLOW ENDOSPERM FOR THE HIGH VALLEYS OF MÉXICO

2.2 ABSTRACT

The objective of this research was to determine the productivity, heterosis and earliness of twelve non-conventional yellow corn hybrids (*Zea mays* L.), using as parents improved varieties, lines and single crosses. The twelve non-conventional hybrids as well as their progenitors were evaluated in four trials during the 2013 and 2014 spring summer cycles. The trials were established at the experimental fields of The Cuautitlán Faculty of Superior Studies of the National Autonomous University of Mexico (FESC-UNAM) and the Valley of Mexico Experimental Station of the National Institute for Forestry, Agricultural and Livestock, Research (CEVAMEX-INIFAP). The combined analysis of variance of the four experiments yield showed highly significant differences for environments, genotypes and genotype by environment interaction. The '324 #' variety of subtropical germoplasm was the genotype with the highest yield 9.1 t ha^{-1} , statistically similar to the non-conventional hybrids 'V-53A x 324 #' and 'V-55A x 324 #', that yielded 8.2 t ha^{-1} and 8.1 t ha^{-1} , respectively, these hybrids had less days to male flowering than the '324 #' variety. In general and within environments the best hybrids were non-conventional and especially those who had as a parent the variety '324 #'. The best hybrids 'V-53A x 324 #', 'V-55A x 324 #' and 'V-54A x 324 #' had best parent heterosis of -9.9 %, -14.9 % and -11.1 %, respectively, that values are explained by the excellent performance of the variety '324 #', however, these materials provide advantages over the commercial varieties 'V-54A' and 'V-55A'.

Key words: *Zea mays* L., Improved seed, yellow grain, non-conventional hybrids

2.3 INTRODUCCIÓN

En México se requiere incrementar la producción de maíz (*Zea mays* L.) de grano amarillo para subsanar la demanda y reducir la importación de 10 millones de toneladas de grano entero y quebrado, necesarias para la elaboración de alimentos pecuarios, extracción de almidones, industria cerealera y botanera y otros destinos industriales. En el país se cultivan anualmente 8.5 millones de hectáreas de maíz, con una producción nacional de 22.5 millones de toneladas; media de 2.8 ton ha⁻¹ (Turrent, 1994; Ortiz *et al.*, 2007; Turrent, 2009).

De la superficie cultivada nacional, 1.5 millones de hectáreas se ubican en altitudes de 2200 a 2600 m, en los Valles Altos de la Mesa Central; de las cuales 800 mil se cultivan en temporal, con lluvias que generalmente se presentan en forma tardía, limitando la fecha de siembra, la productividad del cultivo y su exposición a la incidencia de heladas tempranas. En estas condiciones en el estado de México, se siembran 300 mil hectáreas, con una productividad de 1.2 t ha⁻¹ (Ávila *et al.*, 2009; Espinosa *et al.*, 2010).

El precio internacional de maíz muy probablemente se incrementará, al incorporarse este recurso alimenticio a la elaboración de etanol (Ortiz *et al.*, 2007; Espinosa *et al.*, 2009 a; Espinosa *et al.*, 2009 b). En este escenario, el uso de semilla mejorada es un elemento clave, como ocurre en muchos países en desarrollo, para alcanzar niveles competitivos en la producción, ya que con materiales mejorados ex profeso para una región dada, se aprovechan al máximo las condiciones ambientales disponibles y el uso óptimo de los insumos que requiere todo proceso de producción. Se ha señalado que una semilla mejorada contribuye hasta con el 60 % del rendimiento final, lo cual indica que es un insumo fundamental para lograr una buena producción (González *et al.*, 2008; Ortiz *et al.*, 2007; Espinosa *et al.*, 2009 c).

Las variedades mejoradas de maíz de grano amarillo y ciclo corto, con adaptación a las condiciones agroclimáticas de Valles Altos son escasas; en esta región la mayor producción de

maíz amarillo se sustenta en el uso de variedades nativas. Entre las pocas variedades mejoradas se encuentran: ‘V-26A’ (Cuapiaxtla), liberada en 1980, actualmente en desuso por falta de producción de semilla; ‘Amarillo Zanahoria’ liberada en 1990, en desuso por fuertes limitaciones agronómicas como acame y bajo rendimiento; entre otras (Espinosa *et al.*, 2010; Espinosa *et al.*, 2011).

Al presente y para atender la necesidad de contar con variedades de maíz de grano amarillo, en la FESC UNAM, se han generado variedades de ciclo precoz (Tadeo y Espinosa, 2004; Tadeo *et al.*, 2004; Tadeo *et al.*, 2012), al igual que en el INIFAP donde se han promovido tres variedades de grano amarillo de ciclo precoz denominadas ‘V-53A’, ‘V-54A’ y ‘V-55A’, dos de ellas: ‘V-54A’ y ‘V-55A’ fueron inscritas en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales (CNVV) y obtenidos los respectivos Títulos de Obtentor (Espinosa *et al.*, 2010; Espinosa *et al.*, 2011).

Las variedades de grano amarillo liberadas por INIFAP, han mostrado rendimientos aceptables en siembras retrasadas, tolerancia al acame y ventajas en condiciones de mediana productividad, con respecto a los testigos contra quienes se comparan; sin embargo, con el propósito de contar con variedades aún más rendidoras, se llevaron a cabo cruzamientos intervarietales entre ‘V-53A’, ‘V-54A’ y ‘V-55A’, y otros más con variedades, cruza simples y líneas de germoplasma contrastante incluyendo fuentes subtropicales de los Valles Altos de Jalisco, incluyendo líneas y cruza simples no emparentadas con las variedades de referencia y provenientes de diferentes regiones ecológicas (Ramírez *et al.*, 2013; Ledesma *et al.*, 2015).

Los híbridos no convencionales se definen como híbridos obtenidos a partir de la combinación de progenitores que no cumplen con la conformación clásica. Estos híbridos no convencionales son resultado de la combinación de una variedad x variedad, variedad x híbrido o una variedad x línea; por su estructura genética generalmente presentan mayor

facilidad para la producción de semillas y rendimientos favorables que frecuentemente son superiores a los progenitores (Tadeo *et al.*, 2015).

El objetivo de esta investigación fue determinar la capacidad productiva, la heterosis y la precocidad de 12 híbridos no convencionales de maíz amarillo utilizando como progenitores variedades mejoradas, líneas y cruza simples.

2.4 MATERIALES Y MÉTODOS

Durante el ciclo primavera verano 2012, se formaron híbridos no convencionales (Espinosa *et al.*, 2013), combinando las variedades mejoradas de maíz de grano amarillo ‘V-53A’, ‘V-54A’ y ‘V-55A’, con la línea ‘351 #’ de maíz de grano amarillo obtenida en el CEVAMEX en colaboración con la FESC y la variedad mejorada ‘324 #’ procedente del Campo Experimental Centro Altos de Jalisco, con buena aptitud combinatoria general y diferente origen germoplásmico (Ramírez *et al.*, 2013). Se utilizaron también dos cruza simples de maíz amarillo ‘CML 460xCML 462’ y ‘CML 461xCML 462’, que en trabajos previos, habían expresado en combinación con variedades de maíz amarillo buen potencial productivo (Espinosa *et al.*, 2013). También se incluyeron a las variedades ‘V-55A’ y ‘OU2C’ que se obtuvieron por recombinación durante dos ciclos de un compuesto balanceado de 21 líneas S2, de semilla amarilla, generadas a partir de siete híbridos de cruza simple. Tres líneas de cada híbrido fueron inicialmente seleccionadas por su precocidad y por el color amarillo intenso y en ambos casos textura cristalina del grano. Las líneas pertenecen a la raza cónico y fueron seleccionadas por su rendimiento y precocidad en ensayos de rendimiento efectuados en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la Universidad Nacional Autónoma de México (FESC-UNAM), en Cuautitlán, México y por el INIFAP. Después de recombinar el compuesto balanceado por dos ciclos, para ‘V-55A’, se aplicaron dos ciclos de selección masal en el CEVAMEX, INIFAP y en el caso de ‘OU2C’ en la FESC, en ambos casos para

ganar en precocidad a madurez fisiológica, tolerancia al acame y textura cristalina del grano (Espinosa *et al.*, 2011).

Las distintas combinaciones de cruza: variedad x variedad, variedad x línea, variedad x cruza simple, así como cada uno de los progenitores que integran estas combinaciones y el origen, se presentan en el Cuadro siguiente.

Cuadro 2.1 Híbridos no convencionales (HNC), variedades (V) y cruza simples (HS) de maíz de grano amarillo usados en los ensayos uniformes y origen. Primavera verano 2013-2014.

No. Trat.	Genotipo	Tipo de cruza	Origen	No. Trat.	Genotipo	Tipo de cruza	Origen
1	V-53A x 351 #	HNC	INIFAP	12	(CML 461xCML 462) x V-54 ^a	HNC	INIFAP
2	V-54A x 351 #	HNC	INIFAP	13	(CML 461xCML 462) x V-55 ^a	HNC	INIFAP
3	V-55A x 351 #	HNC	INIFAP	14	(CML 461xCML 462) x OU2C	HNC	INIFAP
4	V-53A x 324 #	HNC	INIFAP	15	(CML 460xCML 462)	HS	CIMMYT
5	V-54A x 324 #	HNC	INIFAP	16	(CML 461xCML 462)	HS	CIMMYT
6	V-55A x 324 #	HNC	INIFAP	17	(CML 460xCML 462) x V-53 ^a	HNC	INIFAP
7	V-53 ^a	V	INIFAP	18	(CML 461xCML 462) x OP2D	HNC	INIFAP
8	V-54 ^a	V	INIFAP	19	(CML 460xCML 462) x V-54 ^a	HNC	INIFAP
9	V-55 ^a	V	INIFAP	20	ORO ULTRA 3C	V	FESC-UNAM
10	351 #	L	INIFAP	21	ORO PLUS 2D	V	UNAM
11	324 #	V	INIFAP				

INIFAP: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias; FESC-UNAM: Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán Campo 4, Universidad Nacional Autónoma de México y CIMMYT: Centro Internacional del Mejoramiento de Maíz y Trigo.

Con el material citado (Cuadro 2.1), se establecieron ensayos uniformes, durante el ciclo primavera verano, en los años 2013 y 2014, en dos localidades: Santa Lucía de Prías, Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX), del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en el municipio de Texcoco, Estado de México, a una altitud de 2240 msnm, el cual tiene un clima C (Wo) (w) b (i³) g; que corresponde a clima templado con lluvias en verano, el más seco de los subhúmedos, con veranos frescos y prolongados, con temperaturas, medias anuales entre 12 y 18 ° C; la oscilación anual de las temperaturas medias mensuales es de 5 a 7 ° C (García, 2004). La otra localidad fue el Rancho Almaraz de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC), Campo 4, de la

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), a una altitud de 2274 m. de acuerdo con la clasificación de Köpen modificada por García (2004), el clima de Cuautitlán se clasifica como C (w₀) (w) b (i''). La precipitación anual promedio histórico es de 609.2 mm (García, 2004).

La parcela experimental constó de un surco de 5 m de largo por 80 cm de ancho y la densidad de población fue de 45,000 plantas ha⁻¹. Los experimentos se establecieron bajo un diseño de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones y bajo condiciones de temporal. En todos los casos las siembras se efectuaron en el mes de junio de los años 2013 y 2014 a tapa pie. En campo se tomaron las variables días a floración masculina, cuando el 50 % de las plantas de la parcela liberaron polen, días a floración femenina, cuando el 50 % de las plantas, en la parcela expusieron los estigmas, en por lo menos tres centímetros; altura de planta, se tomaron en cinco plantas de la base del tallo al nudo de inserción de la espiga; altura de mazorca de la base del tallo al nudo de inserción de la mazorca superior, es expresado en cm para ambas alturas.

La cosecha se realizó de forma manual en diciembre (CEVAMEX y FESC-4) para el ciclo P-V 2013 y 2014. En cada parcela, se pizaron todas las mazorcas por parcela y en una muestra representativa de cinco mazorcas, se determinó el porcentaje de humedad del grano, con un determinador de humedad eléctrico marca Stenlite, para generar la materia seca (% MS); el porcentaje de grano/olote mediante el cociente de peso de grano entre peso de grano más olotes (% G); peso volumétrico, peso de 200 granos, longitud de mazorca, hileras por mazorca, granos por hilera y granos por mazorca. Para obtener el rendimiento de grano se aplicó la fórmula:

$$\text{Rendimiento} = (\text{PC} \times \% \text{MS} \times \% \text{G} \times \text{FC}) / 8600$$

Dónde:

PC = Peso de campo del total de mazorcas cosechadas por parcela expresado en kilogramos.

FC = Factor de conversión para obtener rendimiento por ha, se obtuvo al dividir 10000 m^2 / tamaño de la parcela útil en m^2 (4 m^2).

8600 = es un valor constante, que permite estimar el rendimiento con una humedad uniforme del 14 %, a la cual se manejan las semillas en forma comercial.

Para el análisis estadístico de los datos de las variables se utilizó el Statistical Analysis Systems (SAS Institute Inc. Versión 9.0, 1996). Se realizó un análisis combinando de las dos localidades y dos años de prueba, considerando como fuentes de variación ambiente, genotipos y la interacción ambiente x genotipos. La comparación de medias se efectuó con la prueba de Tukey al 0.05 de probabilidad de error ($p \leq 0.05$).

Se evaluó el nivel de heterosis de las combinaciones híbridas con respecto al progenitor medio y mejor progenitor.

2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza combinado detectó diferencias estadísticas altamente significativas ($P \leq 0.01$) entre ambientes y genotipos para todas las variables (Cuadro 2.1). La interacción ambiente x genotipo fue significativa para la mayoría de variables incluyendo rendimiento de grano; excepto para altura de planta y mazorca y peso de 200 granos. En general, los coeficientes de variación fueron menores a 16 %, lo que refiere una alta calidad y control de la variabilidad experimental. La media de rendimiento experimental general fue de 6458 kg ha^{-1} , una media muy por encima de la media nacional de 2.8 ton ha^{-1} (Turrent, 1994; Ortiz *et al.*, 2007; Turrent, 2009) y de la del estado de México de 1.2 ton ha^{-1} (Ávila *et al.*, 2009; Espinosa *et al.*, 2010).

Entre localidades (Cuadro 2.3), la diferencia significativa del comportamiento del rendimiento y las otras variables mucho se debe al diferencial de precipitación entre los años 2013 y 2014 (Figura 2.1) y algunos incidentes meteorológicos, tales como la granizada que estimulo la floración en CEVAMEX 2014, y otros eventos de distribución de la precipitación durante el ciclo de cultivo y bajas temperaturas en la etapa del llenado de grano (Chapingo, 2015). Así por ejemplo en la localidad de FESC, en el ciclo 2014, en junio, se presentó una precipitación de 211.9 mm y una temperatura máxima de 24.1 ° C; caso contrario, en junio del ciclo 2013, se tuvo una precipitación de 117 mm y una temperatura máxima 25.3 ° C (Figura 2.2); en ambos casos, la disponibilidad de agua en el suelo durante la germinación fue diferente y mejor para el año 2014 (Almaraz, 2015).

Cuadro 2.2 Cuadrados medios, coeficiente de variación (CV%) y significancia estadística del análisis combinado de híbridos no convencionales de maíz y sus progenitores evaluados en dos localidades de Valles Altos durante dos años. Ciclo primavera verano 2013 y 2014.

Variables	Ambiente	Repetición dentro de ambientes	Genotipo	Interacción amb x gen	Media	C.V. (%)
REND	47294426 **	6470685.9 *	25677206.1 **	2453842.6 **	6458	16.27
FM	533.3 **	7.09	59.98 **	5.08 *	77	2.16
FF	1019.0 **	3.62	67.47 **	6.74 *	79	2.68
AP	149488.1 **	1049.1 *	1249.6 **	185.3	215.6	6.44
AM	28693.3 **	413.44	1540.1 **	204.7	95.6	13.10
PHEC	72669.4 **	162.3	3946.5 **	1123.9 **	757	2.40
200G	1920.3 **	62.6	802.2 **	53.9	62.8	11.49
%MS	1448.9 **	11.8 *	23.5 **	4.4 *	81.0	2.07
%GR	69.6 **	16.5 *	31.3 **	4.4 *	83.5	1.95

* = Significancia de los tratamientos al 0,05 de probabilidad. ** = Significancia de los tratamientos al 0,01 de probabilidad.

REND: rendimiento; FM: floración masculina; FF: floración femenina; AP: altura de planta; AM: altura de mazorca; PHEC: peso hectolitrico; 200G: peso de 200 granos; % MS: porcentaje de materia seca; % GR: porcentaje de grano.

El incremento de la precipitación y la temperatura en el mes de agosto-septiembre favoreció la coincidencia en las floraciones masculinas y femeninas, no así para FESC 2014, donde la

falta de humedad en floración motivó una asincronía entre la floración masculina y femenina de 5 días, provocando una disminución en rendimiento de grano en esta localidad; esta misma falta de humedad previo y durante la floración también afectó altura de planta (Cuadro 2.3). Hubo concordancia entre el comportamiento significativo del porcentaje de grano con el rendimiento de grano; es decir, las localidades más productivas se asociaron a porcentaje de grano más alto.

Cuadro 2.3 Comparación de medias entre ambientes del análisis combinado de localidades durante los años 2013 y 2014.

AMB	AÑO	REND	FM	FF	AP	AM	% GR
CEVAMEX	2014	7207 a	73 d	75 d	266 a	113 a	84.4 a
FESC	2013	6950 a	76 c	77 c	203 c	102 b	84.1 a
FESC	2014	6076 b	79 a	84 a	165 d	70 d	82.5 b
CEVAMEX	2013	5598 c	77 b	78 b	228 b	97 c	82.9 b
DHS (0.05)		419.5	0.66	0.84	5.55	4.99	0.65

AMB: ambiente; REND: rendimiento; FM: floración masculina; FF: floración femenina; AP: altura de planta; AM: altura de mazorca; % MS: porcentaje de materia seca; % GR: porcentaje de grano.

Las medias entre genotipos y considerando el promedio de los cuatro ambientes de evaluación, el mejor rendimiento correspondió a la variedad ‘324 #’, aunque estadísticamente similar a los híbridos no convencionales ‘V-53A x 324 #’, ‘V-55A x 324 #’ y ‘V-54A x 324 #’ (Cuadro 2.4). En estos tres genotipos se observa que la variedad ‘324 #’ es significativamente la más tardía a floración masculina, esto es importante, porque si bien se trata de definir los mejores materiales en rendimiento, también es importante que bajo temporal y/o siembra retrasada en Valles Altos de México, se mantenga la precocidad. Si bien el rendimiento *per se* de ‘324 #’ es atractivo para promover su uso, por su floración más tardía que se explican por su origen subtropical (Ramírez *et al.*, 2013), podría limitar su adopción en los Valles Altos. Esto no ocurre con las variedades ‘V-54A’ y ‘V-55A’, que aunque con un

rendimiento significativo menor que '324 #' se recomiendan en diferentes localidades de Valles Altos (Espinosa *et al.*, 2010; Espinosa *et al.*, 2011), precisamente por su precocidad; diferencia que en este estudio fue de cinco días.

Los híbridos 'V-53A x 324 #' y 'V-55A x 324 #', que mostraron rendimientos similar en ambos casos a su progenitor masculino, la '324 #', mantuvieron la precocidad de sus correspondientes variedades progenitoras femeninas, 'V-53A' y 'V-55A', respectivamente, pero con un rendimiento significativo y superior a cada una de ellas. En el primer caso, el híbrido no convencional 'V-53A x 324 #' fue superior en 25.4 % respecto a 'V-53A', y para el segundo 'V-55A x 324 #', en 32.6 % respecto a la variedad 'V-55A' (Cuadro 2.4). El logro de la combinación de precocidad y alto rendimiento presente en estos dos híbridos no convencionales, representa *per se* una ventaja para su posible adopción en siembras tardías (Espinosa *et al.*, 2010).

En la (Figura 2.3), se presentan los valores de la variable rendimiento en cada uno de los cuatro ambientes de evaluación para el híbrido no convencional ('V-53A x 324 #') y sus progenitores 'V-53A' y '324 #', donde destaca el mayor rendimiento del híbrido no convencional en el ambiente de la FESC 2013; en cambio en el híbrido no convencional ('V-55A x 324 #'), el mejor ambiente fue FESC 2013 y similar a CEVAMEX 2014 (Figura 2.4); Los valores de rendimiento para el híbrido no convencional ('V-54A x 324 #') y sus progenitores, muestran que este genotipo en el CEVAMEX 2014 obtuvo los valores más altos (Figura 2.5); finalmente la combinación 'V-55A x 351 #' y sus progenitores en el ambiente FESC 2013 mostro los mejores rendimientos, en todos los casos se observa que la línea '351 #' obtuvo bajos rendimientos como se observa en la (Figura 2.6).

En las cruzas de mayor rendimiento, 'V-53A x 324 #', 'V-55A x 324 #' y 'V-54A x 324 #'; la heterosis con base en el progenitor medio fue de 5.0 %, 6.5 % y -0.8 %, respectivamente, misma que apenas destaca en cada crusa por el alto rendimiento de la variedad '324 #' que

también es el mejor progenitor en los tres casos. Los valores de heterosis respecto al mejor progenitor de -9.9 %, -14.9 % y -11.1 %, respectivamente, así lo confirman (Cuadro 2.5). Sin heterosis respecto a '324 #', queda entonces la explotación comercial de estas cruzas por su diferencia en precocidad. La ausencia de depresión endogámica en los progenitores de los tres híbridos anteriores también podría explicar la ausencia de heterosis; aunque quedaba la posibilidad de presencia de heterosis por la lejanía del origen de progenitores (Ramírez *et al.*, 2013) cosa que no ocurrió al menos en estas tres cruzas.

Cuadro 2.4. Comportamiento medio de híbridos no convencionales y sus progenitores de maíz de grano amarillo considerando en el promedio de cuatro ambientes de evaluación ciclo primavera verano 2013 y 2014.

Genotipo	Rend (kg ha⁻¹)	FM (días)	FF (días)	AP (cm)	AM (cm)
324 #	9085	79	81	233	108
V-53A x 324 #	8185	76	78	222	108
V-55A x 324 #	8080	75	78	225	109
V-54A x 324 #	7729	76	78	227	112
(CML461xCML462) x V-55A	7656	77	79	232	105
V-54A x 351 #	7027	75	77	219	99
V-53A x 351 #	6870	76	78	214	92
(CML461xCML462) x V-54A	6853	76	78	217	89
(CML461xCML462) x OU2C	6606	76	78	219	94
V-55A x 351 #	6580	76	78	217	99
V-53 ^a	6504	75	77	215	103
V-54 ^a	6491	74	77	207	100
(CML460xCML462) x V-53A	6186	78	80	208	86
V-55 ^a	6095	74	77	214	101
CML461xCML462) x OP2D	5922	75	76	218	91
CML460 x CML462	5569	80	83	204	80
(CML460xCML462) x V-54A	5522	74	75	204	83
OP2D	5178	75	77	209	93
351 #	5036	77	80	208	85
OU3C	4317	76	78	203	89
CML461 x CML462	4127	82	84	211	80
DSH (0.05)	1341	2.11	2.69	17.73	15.97

* = Significancia de los tratamientos al 0,05 de probabilidad. ** = Significancia de los tratamientos al 0,01 de probabilidad.

REND: rendimiento; FM: floración masculina; FF: floración femenina; AP: altura de planta; AM: altura de mazorca.

Dentro del resto de material analizado en este estudio se encontraron dos cruza, la ‘(CML 461xCML 462) x V-55A’ y la ‘(CML 461xCML 462) x OU2C’ que mostraron heterosis en relación al progenitor medio de 49.8 % y 56.5 %, respectivamente; en ambos casos la heterosis podría ser atribuible al origen divergente de los progenitores que no tienen endogamia, ya que en los dos casos son variedades de polinización libre. La cruza que mostró la mayor expresión de heterosis respecto al mejor progenitor fue la ‘(CML460xCML462) x V-53A’ con 195.1 % (Cuadro 2.5). Aquí ante la ausencia de endogamia en los progenitores, seguramente robustece la hipótesis del origen divergente de los materiales. La no heterosis entre las variedades ‘V-53A’, ‘V-54A’ y ‘V-55A’, aun cuando provienen de diferentes programas y de ellas con la variedad ‘324 #’, probablemente indica que a pesar de su origen geográfico diferente, no difieren en su fuente germoplásmica. Lo anterior, apoya la alternativa de producción de semillas con híbridos no convencionales, con poblaciones mejoradas (cruza simple, variedad, híbrido varietal), cuyo origen sea divergente.

Cuadro 2.5. Heterosis media y con respecto al mejor progenitor en los híbridos no convencionales, de maíces amarillos para rendimiento de grano.

F1 CRUZA	PROGENITOR MEDIO (%)	MEJOR PROGENITOR (%)
V-53A x 351 #	19.1	5.6
V-53A x 324 #	5.0	- 9.9
(CML 460xCML 462) x V-53A	2.5	<u>195.1</u>
V-54A x 351 #	21.9	8.3
V-54A x 324 #	- 0.8	- 14.9
(CML 461xCML 462) x V-54A	29.1	5.6
(CML 460xCML 462) x V-54A	- 8.4	- 14.9
V-55A x 351 #	18.2	8.0
V-55A x 324 #	6.5	- 11.1
(CML 461xCML 462) x V-55A	<u>49.8</u>	25.6
(CML 461xCML 462) x OU2C	<u>56.5</u>	<u>53.0</u>
(CML 461xCML 462) x OP2D	27.3	14.4

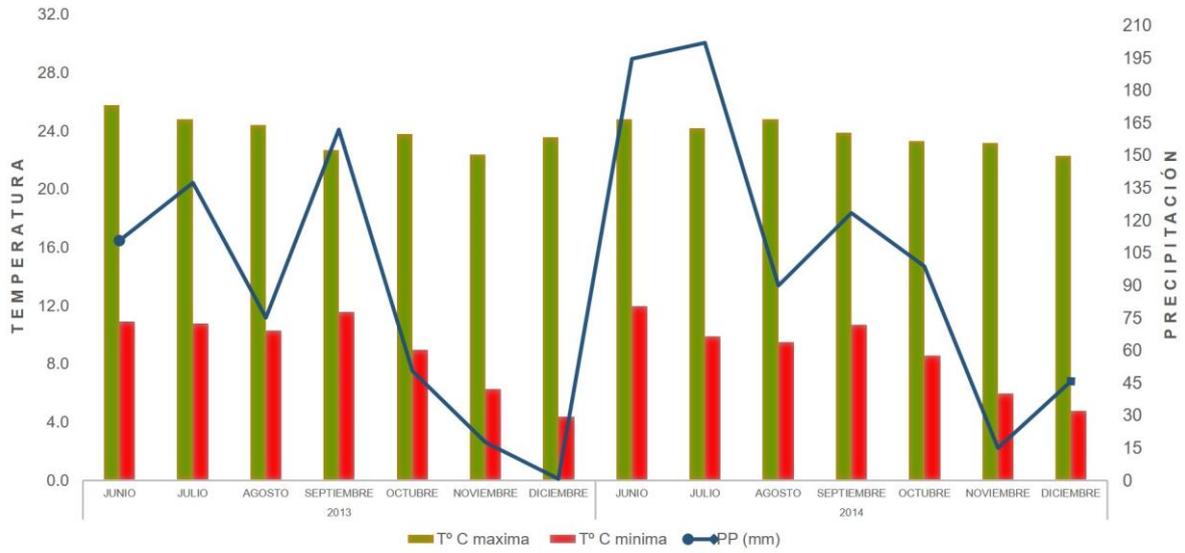


Figura 2.1. Gráfica general en el comportamiento de temperaturas máximas, mínimas y precipitación en la localidad de CEVAMEX, en el ciclo 2013 y 2014. Datos obtenidos de la estación meteorológica “CHAPINGO”.

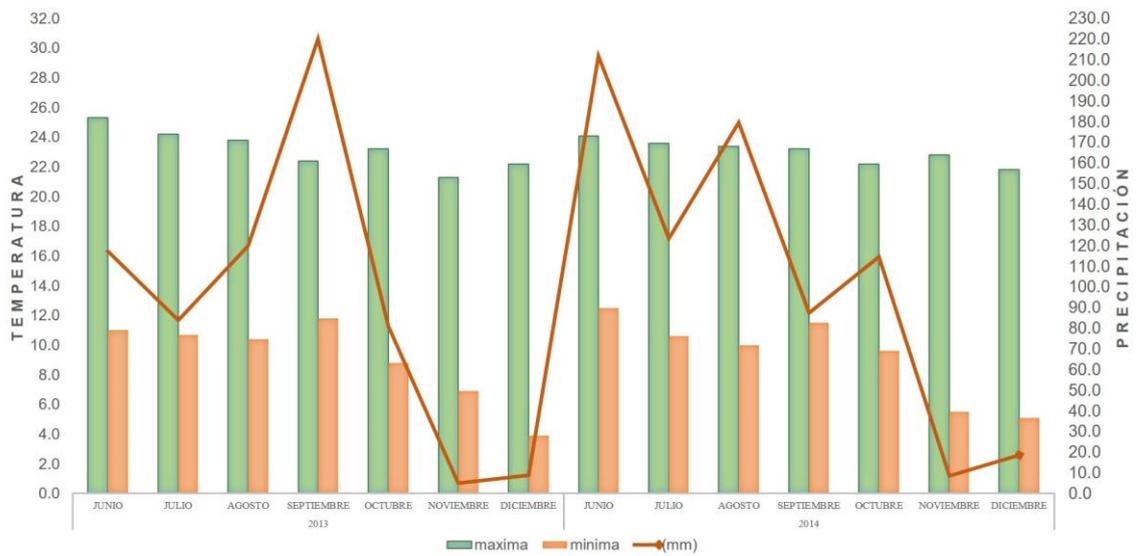


Figura 2.2. Gráfica general en el comportamiento de temperaturas máximas, mínimas y precipitación en la localidad de FESC-UNAM, en el ciclo 2013 y 2014. Datos obtenidos de la estación meteorológica “ALMARAZ”.

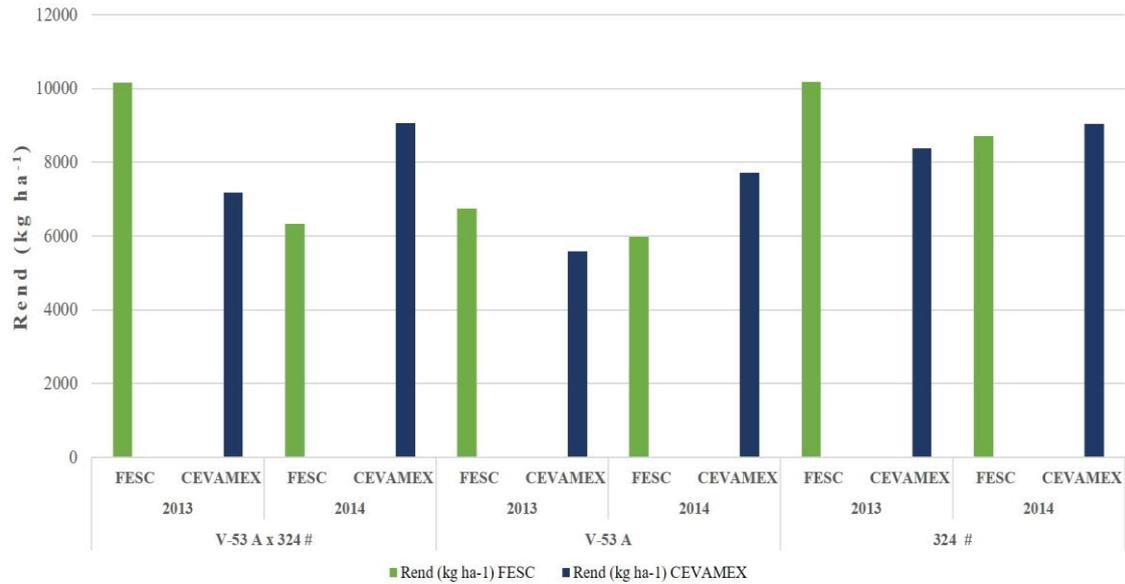


Figura 2.3 Rendimiento del híbrido no convencional ‘V-53 A x 324 #’ y sus progenitores de la cruce de maíz de grano amarillo a través de cuatro ambientes en los cuales se evaluaron. Ciclo primavera verano 2013 y 2014.

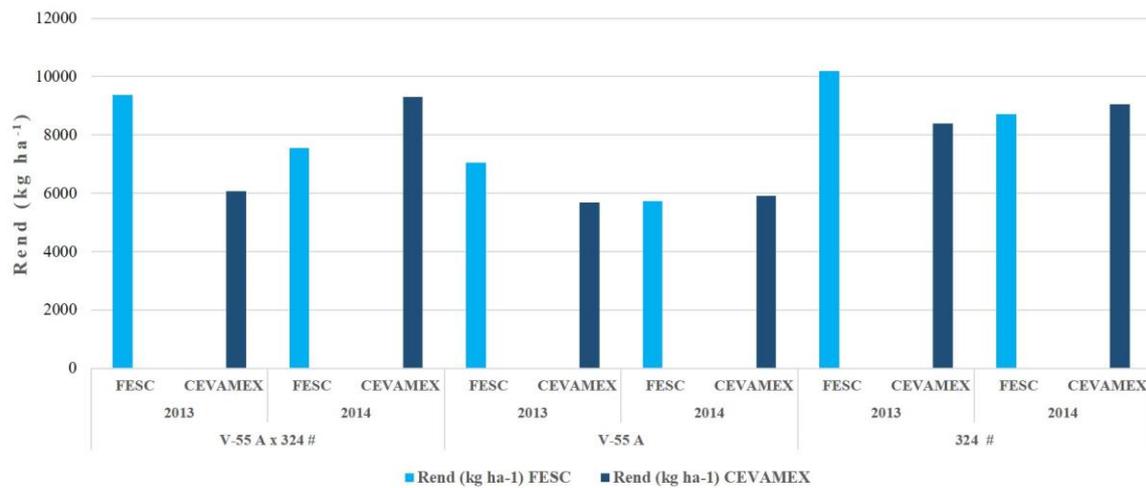


Figura 2.4 Rendimiento del híbrido no convencional ‘V-55 A x 324 #’ y sus progenitores de la cruce de maíz de grano amarillo a través de cuatro ambientes en los cuales se evaluaron. Ciclo primavera verano 2013 y 2014.

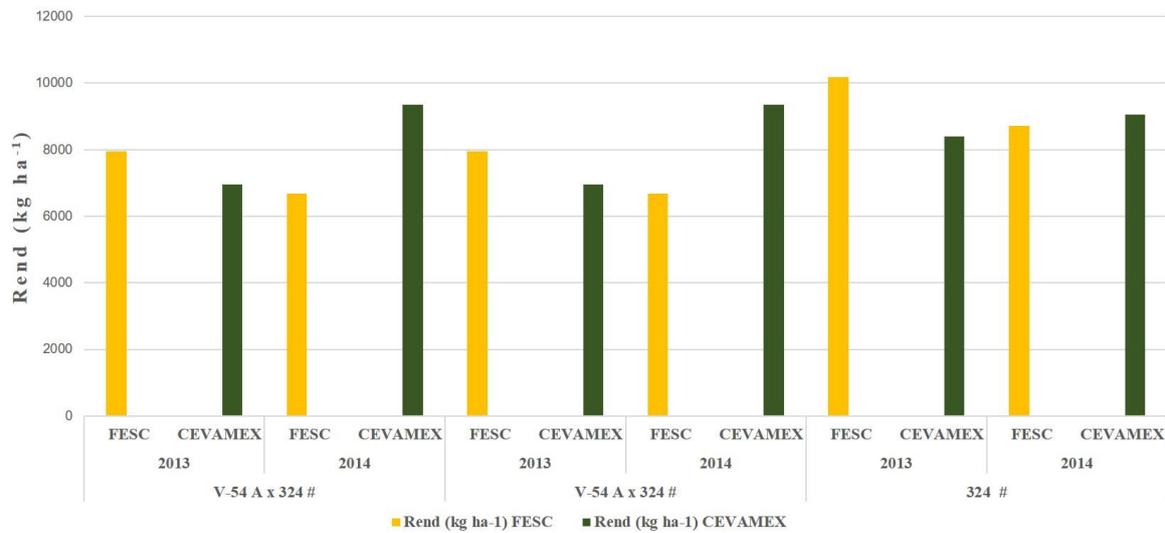


Figura 2.5 Rendimiento del híbrido no convencional ‘V-54 A x 324 #’ y sus progenitores de la cruce de maíz de grano amarillo a través de cuatro ambientes en los cuales se evaluaron. Ciclo primavera verano 2013 y 2014.

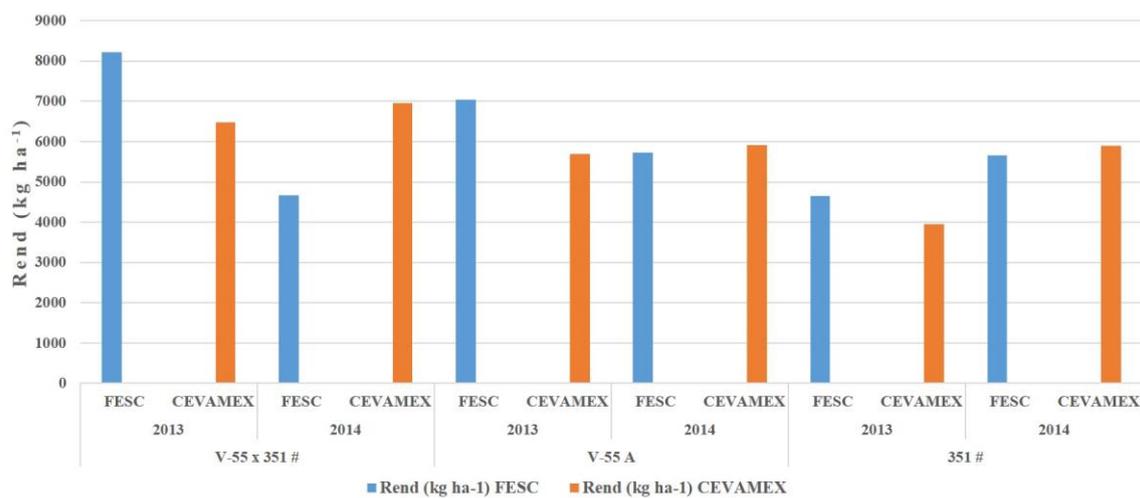


Figura 2.6 Rendimiento del híbrido no convencional ‘V-55 A x 351 #’ y sus progenitores de la cruce de maíz de grano amarillo a través de cuatro ambientes en los cuales se evaluaron. Ciclo primavera verano 2013 y 2014.

2.6 CONCLUSIONES

La variedad '324 #' de fuente germoplásmica subtropical fue el progenitor que expresó mayor rendimiento (9085 kg ha^{-1}), similar estadísticamente a los híbridos no convencionales 'V-53A x 324 #' y 'V-55A x 324 #' que rindieron 8185 kg ha^{-1} y 8080 kg ha^{-1} , respectivamente; aunque estos dos últimos híbridos, tuvieron significativamente menores días a floración masculina que la variedad progenitora '324 #'.

En general y dentro de ambientes, los mejores híbridos fueron los híbridos no convencionales, teniendo todos como progenitor masculino común a la variedad '324 #'. Los mejores híbridos 'V-53A x 324 #', 'V-55A x 324 #' y 'V-54A x 324 #' prácticamente no presentaron heterosis por la excelente productividad de la variedad '324 #'.

Los híbridos 'V-53A x 324 #', 'V-55A x 324 #' y 'V-54A x 324 #' superaron significativamente en rendimiento a las variedades comerciales 'V-54A' y 'V-55A', con igualdad de precocidad, sugiriendo que con estos tres híbridos no convencionales, se aportarían ventajas para su posible uso comercial en los Valles Altos de México.

La no heterosis entre las variedades 'V-53A', 'V-54A', 'V-55A' y '324 #', al no presentar endogamia, indica que en origen, no difieren en su fuente germoplásmica, y si para la cruce ('CML 460xCML 462') x V-53A' cuya heterosis fue de 195 %. Lo anterior, apoya la alternativa de producción de semillas con híbridos no convencionales, con poblaciones mejoradas (cruza simple, variedad, híbrido varietal), cuyo origen sea divergente.

2.7 LITERATURA CITADA

- Avila, M., Arellano J., Virgen, J., Gámez, J. 2009. 'H-52', híbrido de maíz para Valles Altos de la Mesa Central de México. *Agricultura Técnica en México*. 35 (2):237-240.
- Espinosa, A., Tadeo, M., Martínez, R., Gómez, N., Sierra, M., Virgen, J., Palafox, A., Vázquez, G., Salinas, Y. 2009 a. 'V-53 A', variedad mejorada de polinización libre de grano amarillo para Valles Altos de México. *Memoria Técnica Numero 10. 9ª Expo Nacional de Maquinaria Agrícola*. INIFAP Campo Experimental Valle de México. p 41-42.
- Espinosa, A., Tadeo, M., Martínez, R., Gómez, N., Sierra, M., Virgen, J., Palafox, A., Caballero, F., Vázquez, G., Salinas, Y. 2009 b. 'V-55 A', Variedad mejorada de polinización libre de grano amarillo para Valles Altos de México. *Memoria Técnica Numero 10. 9ª Expo Nacional de Maquinaria Agrícola*. INIFAP Campo Experimental Valle de México. p. 46-46.
- Espinosa, A., Tadeo, M., Turrent, A., Gómez, N., Sierra M., Palafox, A., Caballero F., Valdivia R., Rodríguez, F. 2009 c. El potencial de las variedades nativas y mejoradas de maíz. *Ciencias. Revista de Difusión de la Facultad de Ciencias de la UNAM*. 92-93: 118-125.
- Espinosa, A., Tadeo, M., Gómez, N., Sierra, M., Virgen, J., Palafox, A., Caballero, F., Vázquez, G., Rodríguez, F., Valdivia, R. 2010. 'V-54' A, nueva variedad de maíz de grano amarillo para siembras de temporal retrasado en los Valles Altos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 1(4): 677-680.

- Espinosa, A., Tadeo, M., Gómez, N., Sierra, M., Virgen, J., Palafox, A., Caballero, F., Vázquez, G., Rodríguez, F., Valdivia, R., Arteaga, I., González, I. 2011. 'V-55 A', variedad de maíz de grano amarillo para los Valles Altos de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 34 (2): 149-150.
- Espinosa, A., Tadeo, M., Turrent, A., Sierra, M., Gómez, N., Zamudio, B. 2013. Rendimiento de variedades precoces de maíz grano amarillo para Valles Altos de México. *Agronomía Mesoamericana*. 24(1):93-99.
- Estación meteorológica "ALMARAZ". Datos de T°C (medias, máximas y mínimas), Precipitación ciclo 2013 y 2014. Campo 4 Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Universidad Nacional Autónoma de México. FESC, UNAM, Cuautitlán Izcalli, México.
- Estación meteorológica "CHAPINGO". Datos de T°C (medias, máximas y mínimas), Precipitación ciclo 2013 y 2014. Universidad Autónoma de Chapingo. UACH, Chapingo, México.
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto Nacional de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. 246 p.
- González, A., Islas, J., Espinosa, A., Vázquez, A., Wood, S. 2008. Impacto económico del mejoramiento genético del maíz en México: híbrido 'H-48'. *Publicación Especial No. 25*. INIFAP. México, D. F. 88 p.
- Ledesma, M. A., Ramírez, D. J. L., Vidal, M. V. A., Peña, R. A., Ruiz, C. J. A., Salinas, M. Y., y Preciado, O. R. E. 2015. Propuesta para integrar un patrón heterótico de maíz de grano amarillo para la zona de transición de México: II Evaluación de mestizos y cruza. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 38(2): 143-145.

- Ortiz, C. J., Ortega, P. R., Molina, G. J., Mendoza, R. M., Mendoza, C. C., Castillo, G. F., Muñoz, O. A., Turrent, F. A., Kato, Y. T. A. 2007. Análisis de la Problemática de la producción nacional de maíz y propuestas de acción. Grupo Xilonen, Universidad Autónoma Chapingo-Colegio de Postgraduados-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Chapingo, México. 29 p.
- Ramírez, D. J. L., Vidal, M. V. A., Ledesma, M. A., Chuela, B. M., Peña, R. A., Ruiz, C. J. A. 2013. Propuesta para integrar un patrón heterótico de maíz de grano amarillo para la Zona de Transición de México: I. Método y formación de poblaciones. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 36 (3): 189-199.
- Tadeo, R. M. y Espinosa, C. A. 2004. Producción de semilla y difusión de variedades e híbridos de maíz de grano amarillo para Valles Altos de México. *Revista FESC, Divulgación Científica Multidisciplinaria*. 4 (14):5-10.
- Tadeo, M., Espinosa, A., Martínez, R., Ganesan, S; Beck, D., Lothrop, J., Torres, L., Azpiroz, S. 2004. ‘Puma 1075’ y ‘Puma 1076’ híbridos de maíz de temporal para los Valles Altos de México (2200 a 2600 msnm). *Revista. Fitotecnia Mexicana*. 27 (2): 211-212.
- Tadeo, M., Espinosa, A., Arteaga, I., Trejo, V., Sierra, M., Valdivia, R., Zamudio, B. 2012. Productividad de variedades precoces de maíz de grano amarillo para Valles Altos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 3 (7): 1417-1423.
- Tadeo, M., Espinosa, A., Guzmán, R., Turrent, A., Zaragoza, J., Virgen, J. 2015. Productividad de híbridos de maíz de grano amarillo para Valles Altos de México. *Revista Agronomía Mesoamericana*. 26 (1): 65-72.
- Turrent, F. A. 1994. Plan de investigación del Sistema maíz-tortilla en la región Centro. CIRCE, INIFAP, SARH, Publicación Especial Núm. 12, Chapingo, México.
- Turrent, F. A. 2009. El potencial productivo del maíz. En: *Ciencias. Revista de Difusión de la Facultad de Ciencias de la UNAM*. 92-93:126-129.

C A P I T U L O I I I : R E N D I M I E N T O Y C A L I D A D D E G R A N O D E HÍBRIDOS NO CONVENCIONALES DE MAÍCES AMARILLOS PARA VALLES ALTOS DE MÉXICO

3.1 RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue determinar la calidad industrial de grano de 12 híbridos no convencionales (HNC) de grano amarillo y sus 9 progenitores, para la fabricación de tortillas, de acuerdo con la norma NMX-034-2002, utilizando como referente un testigo comercial blanco para Valles Altos de México. Los materiales que, evaluados en ensayos uniformes en dos localidades: FESC-UNAM y CEVAMEX, INIFAP, en los ciclos primavera verano 2013 y 2014, se prepararon para el análisis de calidad en el Laboratorio de Maíz del INIFAP. Se realizó un análisis de varianza combinado con los datos obtenidos para las variables: rendimiento, características físicas de grano, nixtamal y calidad de las tortillas. En dicho análisis el efecto de los genotipos se consideró fijo y el de ambientes aleatorio. También se evaluó la estabilidad y adaptabilidad de los 22 genotipos mediante el modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativo (AMMI). El más alto ($p \leq 0.05$) rendimiento de grano se obtuvo con cuatro HNC de grano amarillo, el 'H-48' de grano blanco y la variedad '324 #' progenitora de los cuatro HNC; de ellos sólo '324 #' fue inestable. De acuerdo con NMX-034/2002, 20 de los 22 genotipos evaluados presentaron estabilidad en las características físicas de grano y para calidad de nixtamal y 17 de los 22 estabilidad y calidad de tortilla. Con el modelo AMMI, los híbridos convencionales fueron estables en calidad de nixtamal y tortilla en contraste con los progenitores. Respecto al contenido de aceite, 19 de los 22 genotipos presentaron porcentajes arriba de 4 % avalados por la misma norma.

Palabras clave: *Zea mays* L., calidad de grano, calidad de tortillas, non conventional hybrids

PRODUCTIVITY AND GRAIN QUALITY OF NON-CONVENTIONAL YELLOW MAIZE HYBRIDS FOR THE HIGH VALLEYS OF MÉXICO

3.2 ABSTRACT

The objective of this study was to determine industrial quality of yellow grain of twelve non-conventional maize hybrids and as well as their nine parents, respect to the manufacture of tortillas, according to the NMX-034-2002 standard, using as a references a witness white High Valleys of México. The materials in uniform trials in two locations: FESC-UNAM and CEVAMEX, INIFAP, 2013 and 2014 spring-summer cycles, were prepared for analysis of laboratory quality INIFAP Maize. Performance physical of grain, masa and tortillas quality: an analysis of variance combined with the data obtained for the variables was performed. In this analysis the effect of genotypes was considered fixed and random environments. Stability and adaptability of 22 genotypes using the model of additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) was also evaluated. The highest ($p \leq 0.05$) grain yield was obtained with four HNC yellow grain, the 'H-48' white grain and variety '324 #' progenitor of the four HNC; them only '324 #' was unstable. According to NMX-034/2002, 20 of the 22 genotypes evaluated presented stability in the physical characteristics of grain, masa quality and 17 of 22 stability and tortilla quality. With regard to oil content, 19 of 22 genotypes showed percentages above 4% guaranteed by the same standard.

Key words: *Zea mays* L., grain quality, quality tortillas, non-conventional hybrids

3.3 INTRODUCCIÓN

En México se destinan aproximadamente 12 millones de toneladas de maíz blanco para la elaboración de tortillas, sin embargo, el maíz amarillo podría ofrecer ventajas para la industria de tortillas, además de los usos que ya tiene en la elaboración de botanas, cereales y dietas para alimentos pecuarios. Lograr la suficiencia en producción de grano amarillo de maíz, tendría ventajas económicas para México y evitaría las importaciones a un alto costo, que propician fugas de divisas.

El grano de maíz amarillo es un excelente producto en el ámbito forrajero al aumentar considerablemente los nutrientes en los alimentos balanceados, dando como resultado inigualables rendimientos e importantes ahorros en la producción de carne, huevo y leche (Mazón *et al.*, 2012). Así mismo el maíz no solo es una necesidad básica para la alimentación, sino que también constituye una estrecha relación cultural y religiosa que lo arraiga a México. Debido a la gran diversidad genética hay usos especializados como platillos como el pozole, tejuino, atole, tlacoyos, tostadas, totopos, además de diversos usos que van desde pigmentos, antioxidantes como los polifenoles, antocianinas, flavonoides hasta el uso en situaciones muy puntuales del pericarpio, de la aleurona, el endospermo y el embrión (Ruiz *et al.*, 2008 y Vidal *et al.*, 2008).

El consumo per cápita aparente según Morris y López (2000) era de 209.8 kg por año, pero para el año 2014 el incremento del consumo fue de 254 kg, según CEDRESSA (2014). En las zonas urbanas, casi el 98 % de la tortilla que se consume es elaborada por algunos sectores productores de este alimento: la industria tradicional de la masa y la tortilla (IMT) y la industria de harina nixtamalizada (IHN), lo que la industria para la elaboración de tortillas requieren grano de características físicas, organolépticas, color, textura, consistencia de tortillas, plasticidad que le den un valor agregado al producto intermedio y final (Vázquez *et al.*, 2008; Antuna *et al.*, 2008 y Vázquez *et al.*, 2010).

El 70 % de la demanda de maíz blanco se destina a la alimentación humana y de estas 3 millones son transformados en harina nixtamalizada, 2.8 millones se convierten en tortillas para la industria de la masa-tortilla tradicional urbana y 2.9 millones son procesados en el ámbito doméstico en el medio rural, no solo como alimento sino como fuente nutrimental para el desarrollo de los niños, ya que resulta más fácil que consuman una tortilla que cualquier otro producto elaborado con la semilla de amaranto y otros insumos de harina (Mazón *et al.*, 2012 y Vázquez *et al.*, 2008).

Sierra *et al.*, (2011), señalan que desde el punto de vista nutricional, con los maíces con calidad de proteína alta se obtiene más lisina y triptófano en el endospermo; por lo tanto los híbridos, variedades con alta calidad proteínica es una alternativa viable para mejorar la nutrición y elaborar tortillas con buena calidad comercial, por lo tanto los aminoácidos esenciales mencionados anteriormente son elementos indispensables para lograr un desarrollo físico y mental equilibrado, así como una dieta balanceada con alimentos que aporten la cantidad suficiente de proteínas, carbohidratos, grasas, minerales y vitaminas (Mazón *et al.*, 2012), siendo parte importante para mejorar la calidad de vida de niños, madres lactantes y ancianos (Espinosa *et al.*, 2000; Sierra *et al.*, 2011), los bajos niveles de estos elementos esenciales de almacenamiento como la prolamina, alterados por los altos niveles de nitrógeno provenientes de los fertilizantes que se usan para aumentar el rendimiento y contenido de proteína total (Mazón *et al.*, 2012); asimismo la interacción de P (fosforo) en la fertilización, así como la densidad de las plantas tiene que ver con la aportación de ciertos elementos (Vázquez *et al.*, 2005), pese a que esto dependerá más del genotipo.

El contenido de aceite, en maíz se encuentra en un 80 % en el germen, esta correlacionado con los ácidos grasos, para nuevas fuentes de aceites naturales en estos ácidos grasos como el palmítico, esteárico, oleico y linoleico; contenido de fosfolípidos y vitaminas asociadas principalmente al germen del maíz, que contiene más de 85 % de los lípidos asociados con el

grano entero. En adición, el aceite crudo de maíz contiene cantidades relevantes de derivados de tocoles, como tocoferoles y tocotrienoles que son responsables de la actividad de la vitamina E (Serna, 2009; Serna *et al.*, 2013), sustancias consideradas como el segundo más importante mecanismo de defensa contra radicales libres y estrés oxidativo. La evaluación de tocoferoles (vitaminas), se presentaron altas cantidades en mayor contenido de aceite, el consumo inhibe la absorción del colesterol en las células epiteliales del intestino según Kornfeldt y Croon (1981); Serna, (2010); White y Weber, (2003); Serna *et al.*, (2013), sin embargo, el proceso de nixtamalización se pierden parcialmente los tejidos del pericarpio y germen, es de esperarse que la nixtamalización afecte significativamente las cantidades y biodisponibilidad de estos importantes compuestos.

Desde hace años el objetivo principal de Programas de mejoramiento Genético de maíz, como el INIFAP, Colegio de Postgraduados, FESC-UNAM, etc., ha sido de generar variedades e híbridos de rendimientos sobresalientes, sin embargo, la calidad del grano que requieren las industrias y consumidores son cada vez más demandantes (Coutiño *et al.*, 2008) y actualmente se ha puesto mayor énfasis en el desarrollo de variedades con composiciones químicas nutrimentales diferenciadas y con alta concentración de compuestos nutraceuticos (Serna, 2010) La norma NMX-034/2002, para la calidad de grano en el proceso de nixtamalización, las variables que destacan dureza (≤ 40 %), peso de 100 granos (≤ 33 gr), pericarpio remanente (≥ 48 %), pérdida de sólidos (≤ 5.5), humedad de masa (54-58 %), humedad de nixtamal (36-42 %), humedad de tortilla (36.5-43.5 %), color reflectancia en grano (54 %) y en harina (70 %) , tamaño, textura intermedia-dura, peso hectolitrico (>74 kg hl^{-1}), pico (≤ 2 %), pericarpio (≤ 5.5 %), germen (≤ 13 %), maíces con alta relación de masa/grano ($\geq 2.0:1.0$) y de tortilla/maíz (1.4-1.5 kg), fuerza de comprensión a 2 horas (223-337 gf), a las 24 horas (245-452), reflectancia de tortilla a las 2 horas (69-74) y a las 24 horas 71.5-72.4, (Gómez *et al.*, 2013 y NMX-034/2002), color blanco-crema para la industria.

Abordar algunos de estos parámetros de la norma NMX-034/2002 aplicados a maíz amarillo en contraste con maíces blancos es el propósito de esta investigación.

El objetivo de este estudio, llevado a cabo en el laboratorio de maíz del INIFAP, fue determinar y contrastar la estabilidad de las características físicas, calidad de nixtamal y de tortilla, de 12 híbridos no convencionales (HNC) de maíz amarillo con las características correspondientes a sus progenitores y un testigo de maíz blanco para su uso en la fabricación de tortilla.

3.4 MATERIALES Y MÉTODOS

En esta investigación se emplearon híbridos convencionales (HNC), los cuales se obtuvieron en el año 2012, efectuando distintas combinaciones de variedades mejoradas de maíz de grano amarillo ‘V-53A’, ‘V-54A’ y ‘V-55A’, con la línea ‘351 #’ de maíz de grano amarillo obtenida en el CEVAMEX en colaboración con la FESC y la variedad mejorada ‘324 #’ procedente del Campo Experimental Centro Altos de Jalisco, con buena aptitud combinatoria general y diferente origen germoplásmico (Ramírez *et al.*, 2013). Se utilizaron también dos cruza simples de maíz amarillo ‘CML 460xCML 462’ y ‘CML 461xCML 462’, que en trabajos previos, habían expresado en combinación con variedades de maíz amarillo buen potencial productivo (Espinosa *et al.*, 2013). También se incluyó a la variedad ‘OU2C’ que se obtuvo en la FESC UNAM.

Las distintas combinaciones de cruza: variedad x variedad, variedad x línea, variedad x cruza simple, así como cada uno de los progenitores que integran estas combinaciones y el origen, se presentan en el (Cuadro 3.1).

Los ensayos uniformes se establecieron durante el ciclo primavera verano, en los años 2013 y 2014, en dos localidades: Santa Lucía de Prías, Campo Experimental Valle de México, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (CEVAMEX,

INIFAP), en el municipio de Texcoco, Estado de México, a una altitud de 2240 msnm, el cual tiene un clima C (Wo) (w) b (i')g; o clima templado con lluvias en verano (600 mm), el más seco de los subhúmedos, con veranos frescos y prolongados (García, 2004), con temperaturas máximas anuales entre 21-23° C y temperaturas mínimas entre 7-8° C (Chapingo, 2015), anuales. La otra localidad fue el Rancho Almaraz, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC), Campo 4, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), a una altitud de 2274 m de acuerdo con la clasificación de Köpen modificada por García (2004), el clima de Cuautitlán se clasifica como C (wo) (w) b (i''). La precipitación anual promedio de 2013 fue de 843 mm y de 2014 histórico es 885 mm (Almaraz, 2015).

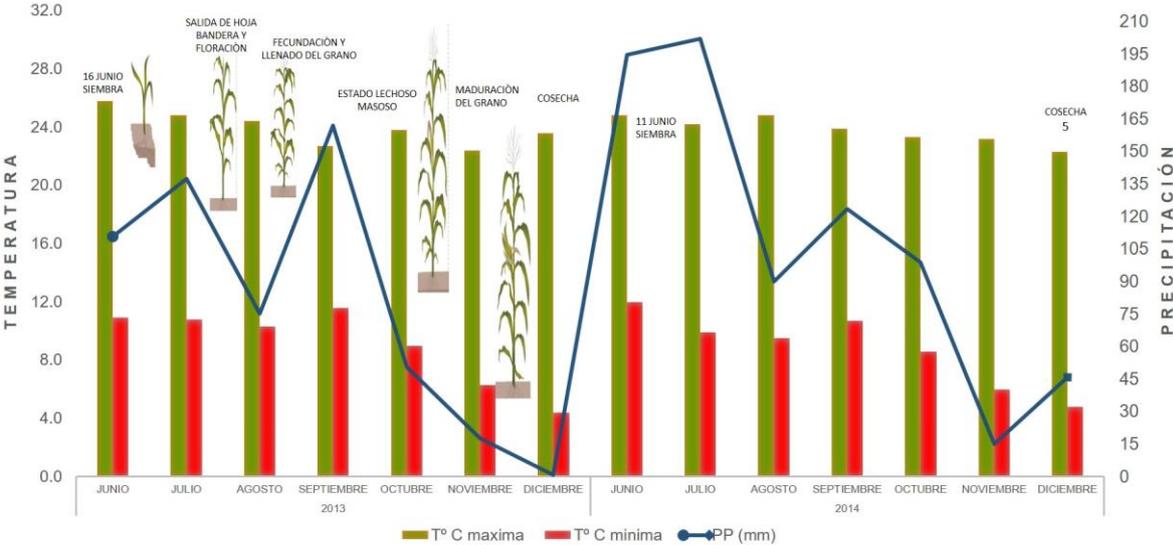


Figura 3.1. Gráfica general en el comportamiento de temperaturas máximas, mínimas y precipitación en la localidad de CEVAMEX, en el ciclo 2013 y 2014. Datos obtenidos de la estación meteorológica "CHAPINGO".

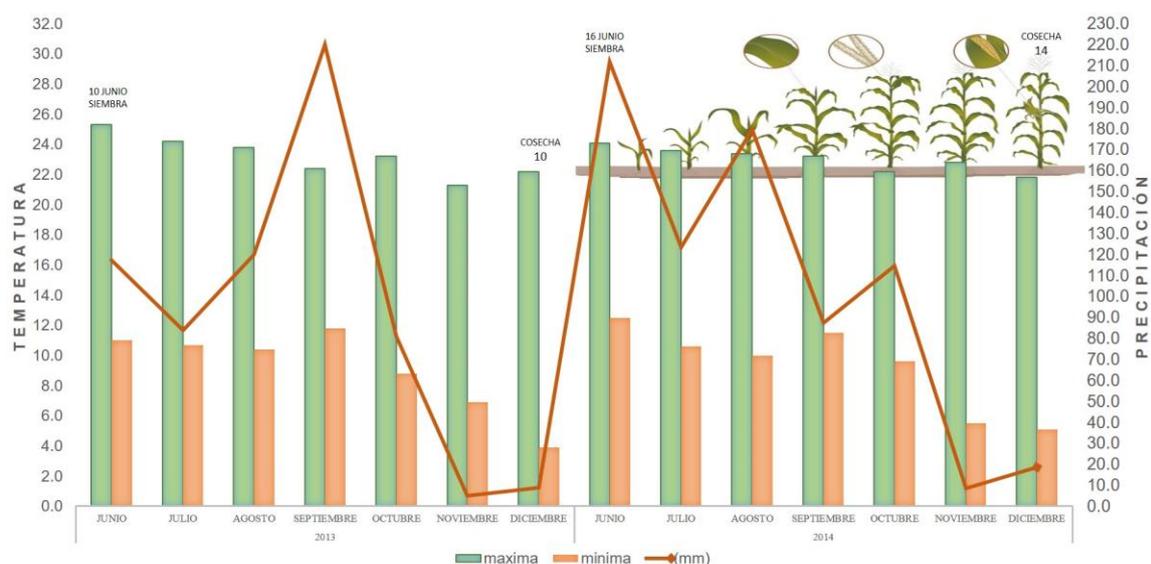


Figura 3.2. Gráfica general en el comportamiento de temperaturas máximas, mínimas y precipitación en la localidad de FESC-UNAM, en el ciclo 2013 y 2014. Datos obtenidos de la estación meteorológica “ALMARAZ”.

Cuadro 3.1. Combinaciones de cruza convencionales y no convencionales de maíz de grano amarillo y su origen, evaluadas en los ensayos uniformes. Primavera verano 2013-2014.

No. Trat.	Genotipo	Tipo de cruza	Origen	No. Trat.	Genotipo	Tipo de cruza	Origen
1	V-53 A x 351 #	HNC	INIFAP	12	(CML 461 x CML 462) x V-54 A	HNC	INIFAP
2	V-54 A x 351 #	HNC	INIFAP	13	(CML 461 x CML 462) x V-55 A	HNC	INIFAP
3	V-55 A x 351 #	HNC	INIFAP	14	(CML 461 x CML 462) x OU2C	HNC	INIFAP
4	V-53 A x 324 #	HNC	INIFAP	15	(CML 460 x CML 462)	HS	CIMMYT
5	V-54 A x 324 #	HNC	INIFAP	16	(CML 461 x CML 462)	HS	CIMMYT
6	V-55 A x 324 #	HNC	INIFAP	17	(CML 460 x CML 462) x V-53 A	HNC	INIFAP
7	V-53 A	V	INIFAP	18	(CML 461 x CML 462) x OP2D	HNC	INIFAP
8	V-54 A	V	INIFAP	19	(CML 460 x CML 462) x V-54 A	HNC	INIFAP
9	V-55 A	V	INIFAP	20	ORO ULTRA 3C	V	FESC-UNAM
10	351 #	V	INIFAP	21	ORO PLUS 2D	V	UNAM
11	324 #	V	INIFAP	22	H-48	HT	INIFAP

La parcela experimental constó de un surco de 5 m de largo por 80 cm de ancho y la densidad de población fue de 45,000 plantas ha⁻¹. Los experimentos se manejaron bajo un diseño de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones y en condiciones de temporal. La siembra para la FESC 2013 y 2014 fueron el 10 y 16 junio y para CEVAMEX 16 y 11 de junio respectivamente.

La cosecha se realizó de forma manual en diciembre en las dos localidades y ambos ciclos de evaluación CEVAMEX 5 y 15 de diciembre y FESC 10 y 14, respectivamente, para 2013 y 2014. El rendimiento de grano se calculó con la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento} = (\text{PC} \times \% \text{MS} \times \% \text{G}) \times \text{F.C.} / 8600$$

Dónde:

P.C. = peso de campo del total de mazorcas cosechadas por parcela expresado en kilogramos.

F.C.= Factor de conversión para obtener rendimiento por ha, se obtuvo al dividir 10000 m² / tamaño de la parcela útil en m² (4 m²).

8600 = es un valor constante, que permite estimar el rendimiento con una humedad uniforme del 14 %, que es a la cual se manejan las semillas en forma comercial.

Características físicas. Las variables evaluadas en grano fueron: índice de flotación (IF) como medida indirecta de la dureza del grano siguiendo la metodología descrita en la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002 (SE 2002); peso hectolitrico (PH) con el método 55-10.01 de la AACC expresado en kg hL⁻¹ y peso de 100 granos (PCG) medidos en una balanza analítica Sartorius® BL610 (Goettingen, Alemania). El color se evaluó en grano entero, en harina de grano nativo y en tortillas, usando el equipo Hunter-Lab mini Scan, utilizando la escala CIE Lab. La escala L* corresponde a la luminosidad y va del 0 = negro, hasta 100 = blanco perfecto; la escala **a** mide el color rojo en la parte positiva (+ a) y el verde en la parte negativa (- a); la escala **b** mide el color amarillo en la parte positiva (+ b) y azul en la negativa (- b); ambas escalas (“a” y “b”) detectan el color gris cuando la lectura es cero. Con los valores a y b se calculó el ángulo de tono (hue) y el índice de saturación (croma), de acuerdo a las siguientes fórmulas (McGuiber, 1992):

$$\text{Hue} = \arctan\left(\frac{b}{a}\right)$$

$$\text{Croma} = \sqrt{a^2 + b^2}$$

El tiempo de nixtamalización. Se asignó de acuerdo al IF, los genotipos con IF entre 0 y 12 % recibieron 45 min, IF = 13-38 % por 40 min, IF = 39-62 % por 35 min, IF = 63-87 % por 30 min, IF = 88-100 % por 25 min (SE 2002). La nixtamalización consistió en la cocción de 100 g de maíz con 0.7 g de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y 200 mL de agua, al finalizar la cocción el nixtamal (maíz cocido) se dejó reposar por 16 h en la solución de cocción (nejayote), luego se decantó el nejayote y se lavó el nixtamal con 200 mL de agua. En el nejayote y el agua de lavado se cuantificó el contenido de materia seca. El nixtamal se molió en un molino de piedras hasta obtener una masa de textura fina. Para elaborar las tortillas, porciones de 20 g de masa se comprimieron con una prensa metálica hasta formar discos de masa con un diámetro aproximado de 15 cm que se cocieron en un comal metálico a una temperatura de 260 °C durante 17 s por un lado para formar la capa delgada, 50 s por el lado opuesto para formar la capa gruesa y finalmente 17 s por el lado de la capa delgada para permitir el inflado de la tortilla. Las tortillas se enfriaron a temperatura ambiente luego se empacaron en bolsas de polietileno comercial y se almacenaron en un refrigerador a una temperatura de 4 °C (Vázquez *et al.*, 2015).

Variables del proceso de nixtamalización y calidad de tortilla. En nixtamal y tortilla se determinó el contenido de humedad (HN y HT, respectivamente) con el método 44-19.01 de la AACC International. La pérdida de materia seca (PMS) debida al proceso de nixtamalización y el reposo se cuantificó como el contenido total de sólidos resultado de la evaporación del agua de la solución de cocción y lavado (nejayote). El pericarpio retenido (PR) se determinó mediante el método gravimétrico, cuantificando la cantidad de pericarpio que permaneció unida al grano nixtamalizado después del lavado (Vázquez *et al.*, 2011).

Se cuantificó **el rendimiento en peso de las tortillas** (RT) obtenidas por kilogramo de maíz procesado. En tortillas frías se evaluó la fuerza de ruptura (FR) con el texturómetro Brookfield® modelo CT3 (Middleboro, MA, USA), después de 2 h de elaboradas y las 24 h de acuerdo a la metodología descrita por Vázquez *et al.*, (2015).

Análisis estadístico. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) combinado con los datos obtenidos de cada una de las variables evaluadas, en dicho análisis el efecto de los genotipos se consideraron fijos y el de ambientes aleatorios. Una vez confirmada la presencia de la interacción genotipo x ambiente (IGA) mediante pruebas de significancia estadística, se procedió a realizar el análisis de estabilidad de cada una de las variables. Para evaluar la estabilidad y adaptabilidad de cada genotipo, los resultados de rendimiento, características físicas de grano y calidad de las tortillas, se analizaron con el modelo AMMI (Zobel *et al.*, 1988; Crossa, 1990), mediante el paquete estadístico SAS para Windows, versión 9.0 (SAS Institute, 2002). Este modelo generó una gráfica biplot por cada variable con su Componente Principal (CP1) en el eje “Y” y la variable en el eje “X”.

3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza combinado para el REND, las variables de calidad del grano PHEC, PCG, IF, bG (Cuadro 3.2), aceite (AC) y las variables del proceso de nixtamalización (PS, PR, RTF, bG) detectó diferencias altamente significativas entre ambientes, genotipos y por efecto de la IGA (Cuadro 3.3). Vázquez *et al.*, (2012) reportaron efecto de la IGA en las mismas variables de calidad de grano en genotipos de maíz blanco cultivados en Valles Altos de México utilizando AMMI como modelo.

Rendimiento y calidad de grano. En la variable rendimiento, las pruebas de significancia indicaron que los seis componentes principales (CP) en los que se constituyó el efecto combinado de genotipos y la interacción genotipo x ambiente (IGA) expresaron una

variabilidad explicada de 88 % de la suma de cuadrados de la IGA (Cuadro 3.4), lo que fue suficiente para considerar una interpretación confiable del comportamiento de la IGA, ya que de acuerdo con Crossa, (1990) un valor aceptable corresponde a una proporción mayor a 75 %.

Cuadro 3.2 Cuadrados medios de rendimiento y características físicas de híbridos no convencionales e híbridos convencionales de maíces amarillos, evaluados en la FESC y CEVAMEX los ciclos PV- 2013 y 2014.

F.V.	gl	REND	PHEC	PCG	IF	b Grano
Ciclo	1	910438.8	13.8 *	275.7 **	9.5	423.0 **
Loc	1	228857.4	455.4 **	6.0	8.6	162.2 **
Gen	21	5056038.5 **	23.2 **	78.6 **	1316.9 **	75.2 **
C x L	1	24174531.9 **	626.6 **	52.7 **	4076.2 **	15.5
L x G	21	194428.0	9.0 **	7.9 *	319.2 **	15.2 *
Error		534636.1	2.8	4.6	102.7	8.6
C.V.		14.44	2.24	7.05	30.91	7.54
Media		5061.31	75.34	30.45	32.79	38.95

F.V. = fuente de variación; gl = grados de libertad; Loc = localidad; Gen = genotipo; C x L = interacción ciclo por localidad; L x G = interacción localidad por genotipo; REND = rendimiento (kg ha⁻¹); PHEC = peso hectolitrico kg hl⁻¹; PCG = peso de cien granos (gr); IF = índice de flotación (%); b Grano = intensidad de color amarillo (%).

Cuadro 3.3 Cuadrados medios de Aceite, características de nixtamal y tortilla de híbridos no convencionales y convencionales de maíces amarillos en las dos localidades de FESC y CEVAMEX en dos ciclos 2013 y 2014.

F.V.	gl	AC	PS	PR	RTF	b T 24horas	Fuerza de punción 24 horas
Ciclo	1	0.62	0.67	1200.9 **	0.28 **	146.7 **	96224.07 **
Loc	1	5.4 **	0.02	95.30.7 **	0.10 **	4.51	5968.4 **
Gen	21	1.1 **	0.62 **	523.8 **	0.02 **	106.07 **	5782.3 **
C x L	1	6.7 **	1.22 **	1315.4 **	0.03 **	1.38	4229.0
L x G	21	1.7 **	0.41 **	622.9 **	0.009 **	4.67 **	5008.4 **
Error		0.57	0.09	151.7	0.0038	1.27	1428.46
C.V.		17.0	6.75	20.9	4.4	2.77	14.91
Media		4.4	4.4	59.0	1.39	40.74	253.4

F.V. = fuente de variación; gl = grados de libertad; Loc = localidad; Gen = genotipo; C x L = interacción ciclo por localidad; L x G = interacción localidad por genotipo; AC = aceite (%); PS = porcentaje de solidos (%); PR = pericarpio remanente (%); RTF = rendimiento de tortilla fría (kg); b T 24 horas = intensidad de color amarillo de tortilla a las 24 horas (%); Fuerza de punción de 24 horas = Fuerza de punción para romper la tortilla a las 24 horas (gf).

Cuadro 3.4 Componente principal y Componente interacción GxA de híbridos no convencionales y convencionales de maíces amarillos en las dos localidades de FESC y CEVAMEX en dos ciclos 2013 y 2014.

Variable	CP1	CP2	Total
REND	53.78	34.18	87.97
PHEC	61.92	19.75	85.67
PCG	64.26	25.57	89.83
IF	53.89	30.18	84.07
b G	45.81	29.98	75.79
AC	59.09	31.75	90.85
RTF	46.68	34.45	81.13
PS	44.86	30.96	78.83
PR	50.31	28.01	78.33
b TV	50.54	32.38	82.92
FZATV	62.04	28.68	90.73

CP1 = componente principal (%); CP2 = componente principal 2 interacción (G x A); REND = rendimiento (kg ha⁻¹); PHEC = peso hectolitrico kg hl⁻¹); PCG = peso de cien granos (gr); IF = índice de flotación (%); b G = intensidad de color amarillo (%); AC = aceite (%); PS = porcentaje de solidos (%); PR = pericarpio remanente (%); RTF = rendimiento de tortilla fría (kg); b TV = intensidad de color amarillo de tortilla a las 24 horas (%); FZATV = Fuerza de punción para romper la tortilla a las 24 horas (gf).

En el rendimiento de grano (Figura 3.3), el desplazamiento de los ambientes hacia la derecha muestra la influencia de los efectos principales de los genotipos. La longitud del vector de los ambientes indica la variabilidad en el rendimiento explicada por los ambientes, es decir si el vector de un ambiente es largo, implica una mayor diferencia en los rendimientos de los genotipos. El ambiente de CEVAMEX en los dos ciclos mostró menor variabilidad en el rendimiento, debido a su IGA y discriminó bien entre los genotipos en los ambientes de la FESC. Los genotipos o ambientes ubicados en la extrema derecha son los de mayor rendimiento y viceversa (Crossa, 1990). El genotipo 11 ('324 #'), destacó por haber registrado los mayores rendimientos en los ambientes de estudio ($X = 7.2 \text{ ton ha}^{-1}$), le siguieron un grupo compacto de HNC (4, 5 y 6) que incluyen en su germoplasma la variedad '354 #', el HNC (13) que incluye en su germoplasma 'V-55 A'; así como el testigo 'H-48'. En el extremo opuesto estuvieron: el HS (16) y la variedad (20) con 2.9 y 3.3 ton ha⁻¹, respectivamente, considerando la media de las dos localidades y los dos ciclos, registro 5.1 ton ha⁻¹.

De acuerdo con Crossa *et al.*, (2013), considerando la perspectiva de los fitomejoradores, los mejores genotipos tienen valores cercanos a cero y valores altos del CPI. Consideramos al Gen 3, con el mejor atributo, es decir tiene un nivel alto de estabilidad en la producción, los genotipos 7 y 14 se consideran estables aunque estén debajo de la media, los genotipos 12 y 2 también se consideran estables.

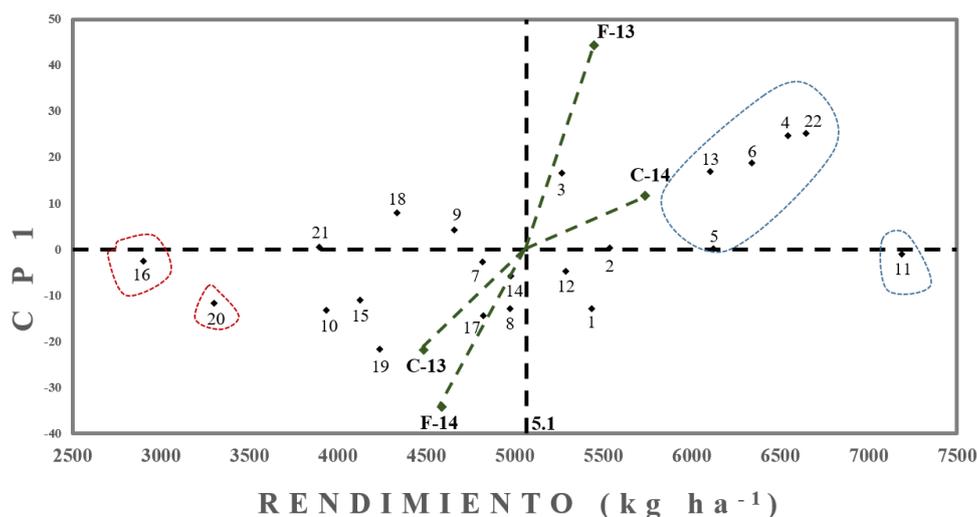


Figura 3.3. Representación grafica del componente principal 1 para la variable rendimiento del promedio de 22 genotipos, con la siguiente descripción para los ambientes F-13 = Ambiente 1 (Fesc-2013); C-13 = Ambiente 2 (CEVAMEX-2013); F-14 = Ambiente 3 (FESC-2014); C-14 = Ambiente 4 (CEVAMEX-2014).

Características físicas del grano. Los genotipos se comportan de diferente manera ante el clima que se presente en cada ciclo, en este caso el tamaño del grano se ve influenciado por el peso y mayor rendimiento (Figura 3.4), la longitud del vector del ambiente FESC-2013, indica que no hubo IGA o que fue baja la variabilidad y no discrimino a los genotipos, por el contrario los ambientes del ciclo 2014 que por su alta interacción y discriminación en los genotipos fue alta, más del 80 % de los genotipos cumplen con los parámetros de la NMX-034/2002, por el contrario de los HS (15 y 16) que son cruza simples que proceden del CIMMYT, presentaron granos pequeños y se vio influenciado en el PHEC, en el caso del testigo comercial H-48, la elección como referente de este material, confunde los resultados, ya que los granos blancos de este genotipo fueron modificados por el fenómeno genético de

Xenia, al estar cerca de las variedades amarillas y el polen que modifica el color de H-48, teniendo este antecedente se decidió incluir a este material como referente, teniendo la precaución de señalarlo en la discusión. Para tener la pureza del híbrido para las demás variables, con una explicación del biplot CP1 del 62 % (Cuadro 4.4), con una correlación con el rendimiento fue significativa ($r = 0.23 *$).

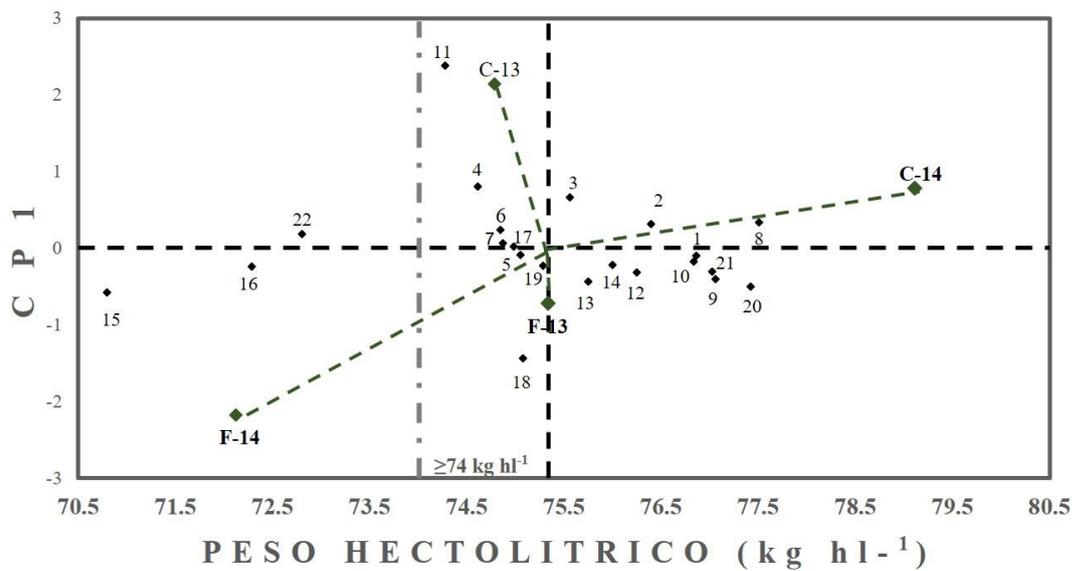


Figura 3.4. Representación gráfica del componente principal 1 para la variable peso hectolitrico, promedio de 22 genotipos, con la siguiente descripción para los ambientes F-13 = Ambiente 1 (Fesc-2013); C-13 = Ambiente 2 (CEVAMEX-2013); F-14 = Ambiente 3 (FESC-2014); C-14 = Ambiente 4 (CEVAMEX-2014).

La longitud del vector para los ambientes FESC-2013 y CEVAMEX-2014 son cortos (Figura 3.5), es decir, su variabilidad es baja y que los genotipos en estos ambientes se comportan de igual manera, por el contrario de FESC-2014 y CEVAMEX-2013, la discriminación con los genotipos fue muy alta. El Gen 22 ('H-48') fue el más estable, lo que se le atribuye por ser un híbrido para Valles Altos, muy adaptado, con una correlación alta ($r = -0.41 **$), es decir, entre mayor rendimiento, menor será su índice de flotación.

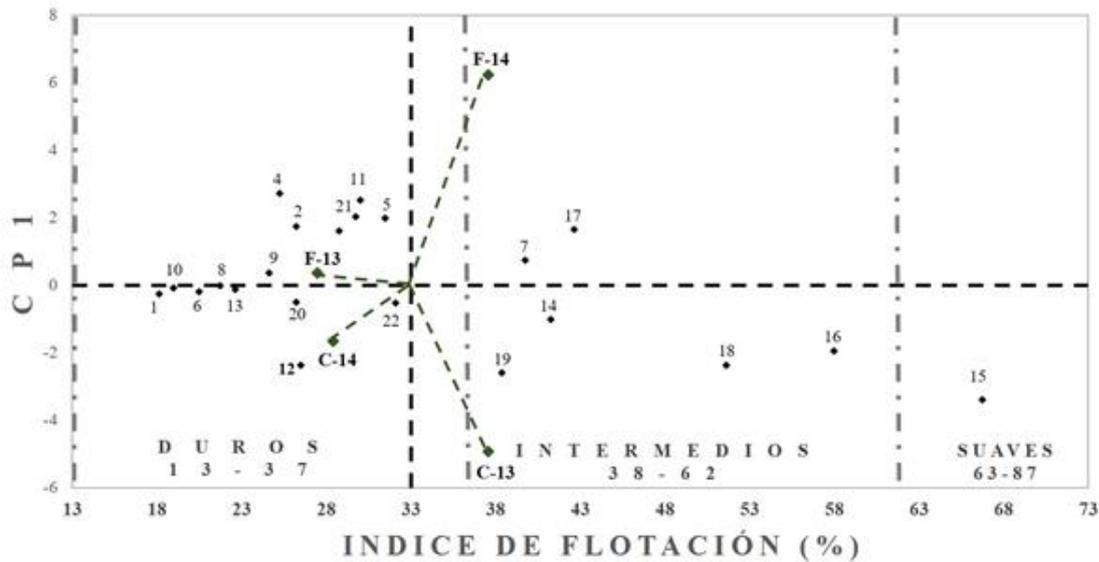


Figura 3.5. Representación gráfica del componente principal 1 para la variable de índice de flotación determinando la dureza promedio de 22 genotipos, con la siguiente descripción para los ambientes F-13 = Ambiente 1 (Fesc-2013); C-13 = Ambiente 2 (CEVAMEX-2013); F-14 = Ambiente 3 (FESC-2014); C-14 = Ambiente 4 (CEVAMEX-2014).

Entre mayor sea el rendimiento del grano, mayor será el peso del grano y con una explicación del CP1 del 64 % (Figura 3.6), los granos de menor peso fueron los cruza simples (15 y 16), se señala tipo de dureza suave, los pesos ≤ 33 g se consideran intermedios, > 33 g se consideran duros, por lo tanto entre menos peso los 100 granos menor será la dureza suave o muy suaves. La localidad CEVAMEX, indican una mayor discriminación y alta variabilidad entre los genotipos, el Genotipo 1 es el más estable, por otro lado los genotipos 5, 6 y 22 son inestables entre ambientes ya que están alejados del eje vertical y horizontal (Vargas *et al.*, 2014), la correlación es alta.

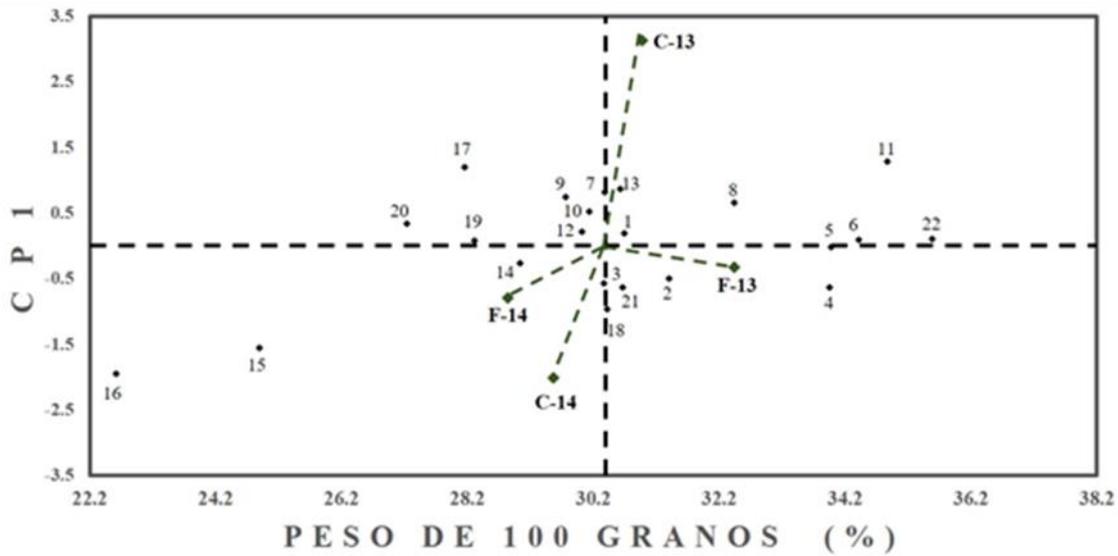


Figura 3.6. Representación grafica del componente principal 1 para la variable de peso de cien granos determinando la dureza, promedio de 22 genotipos, con la siguiente descripción para los ambientes F-13 = Ambiente 1 (Fesc-2013); C-13 = Ambiente 2 (CEVAMEX-2013); F-14 = Ambiente 3 (FESC-2014); C-14 = Ambiente 4 (CEVAMEX-2014).

El nivel más alto de luminosidad **b G** (Figura 3.7), fue el Gen 21 que es perteneciente de la UNAM, por lo tanto a este material se le podría hacer un análisis de carotenos, ya que la intensidad de amarillo tiene que ver con altos niveles de carotenos (Vázquez *et al.*, 2012; Espinosa *et al.*, 2011), por el contrario el testigo blanco ‘H-48’ que su luminosidad es el nivel más bajo.

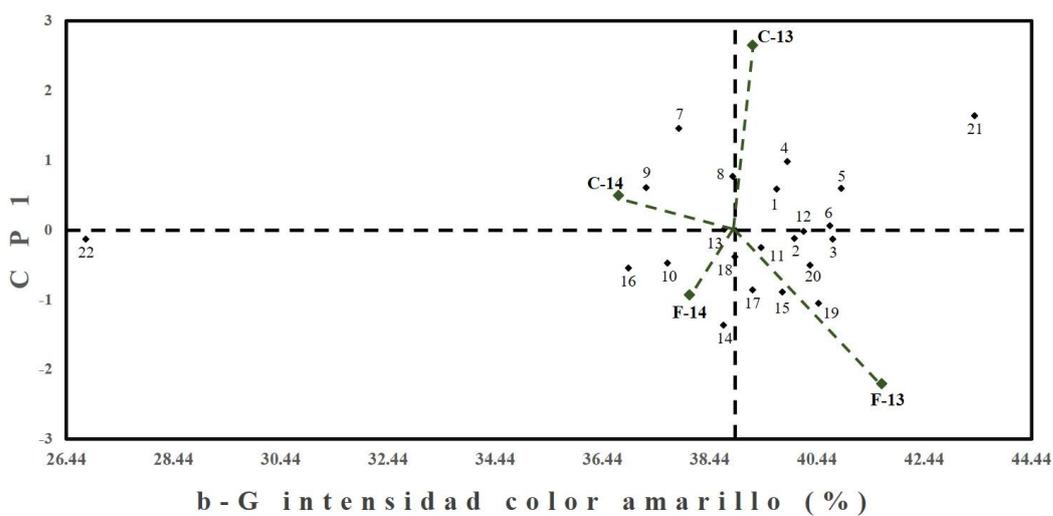


Figura 3.7. Representación grafica del componente principal 1 para la variable **b** lectura con Hunter Lab, promedio de 22 genotipos, con la siguiente descripción para los ambientes F-13 = Ambiente 1 (Fesc-2013); C-13 = Ambiente 2 (CEVAMEX-2013); F-14 = Ambiente 3 (FESC-2014); C-14 = Ambiente 4 (CEVAMEX-2014).

Los ambientes del ciclo 2014 su variabilidad e interacción en baja y los genotipos alrededor a estos se comportan de igual manera por el ángulo menor a 90° C (Williams *et al.*, 2010). Los genotipos más estables 13 y 18; por el contrario a pesar que el gen (21) es inestables entre los ambientes.

En la variable de AC (aceite), el nivel más alto de porcentaje considerando el promedio de los cuatro ambientes fue el Genotipo 11, con 5.2 % (Figura 3.8), considerando que el germen tiene mucho que ver y a esto se le atribuye a la genética, por lo que se puede decir que este genotipo es de un porcentaje alto de germen (Serna *et al.*, 2013), le siguen un conjunto de genotipos 9, 20, 10, 2 y 19, que se expresaron mejor para el ambiente FESC-2013 en un rango de 4.7 - 4.8 %, por el contrario el HNC 18, obtuvo un porcentaje menor en comparación con los demás, la combinación de la variedad con la crusa simple, el tamaño del grano es pequeño, por lo tanto el tamaño del germen de igual manera, se puede atribuir a esta característica. Los ambientes se consideran con alta variabilidad y discriminación con los genotipos, sin embargo, los genotipos más estables fueron 21, 22 y 4 (Vargas *et al.*, 2000 y 2014; Williams *et al.*, 2010).

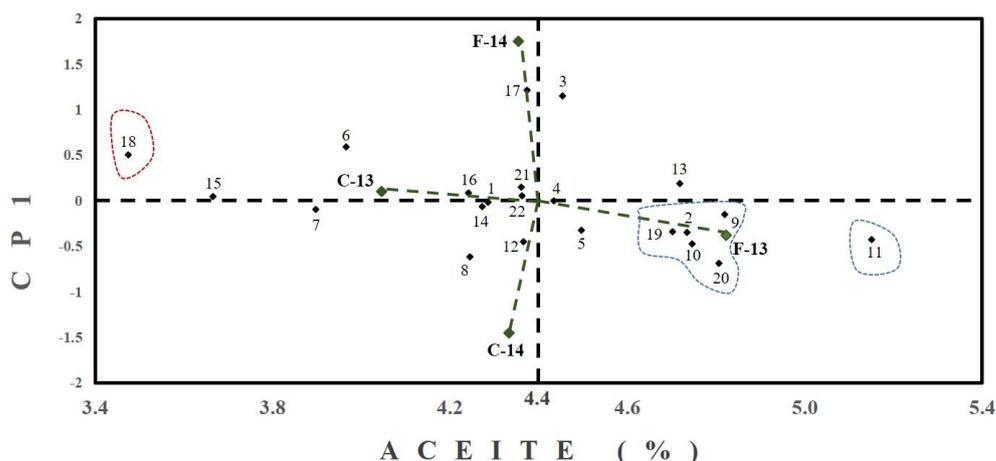


Figura 3.8. Representación grafica del componente principal 1 para la variable Aceite promedio de 22 genotipos, con la siguiente descripción para los ambientes F-13 = Ambiente 1 (Fesc-2013); C-13 = Ambiente 2 (CEVAMEX-2013); F-14 = Ambiente 3 (FESC-2014); C-14 = Ambiente 4 (CEVAMEX-2014).

Calidad de nixtamal. La variable de pérdida de materia seca (PMS), la genética tiene que ver mucho en esta variable, es un carácter heredable, para la remoción, el tiempo de cocción, y el porcentaje de pericarpio, es decir, entre mayor sea el porcentaje de pericarpio menor será la PMS (Robutti, 2006), con respecto al pericarpio durante el proceso de nixtamalización esta estructura es hidrolizada, volviéndose soluble en el agua, por lo tanto se pierde parcialmente en el nejayote y enjuague del nixtamal. La media fue menor a 5.5 % y el pedicelo menor al 2 %, todos los genotipos cumplen los parámetros de la IMT (Figura 3.9) (Salinas *et al.*, 2010 y NMX-034, 2002). Los genotipos 9, 8, 12 y 22 que se encuentran alejados del eje horizontal y vertical, su potencial de la variable es alto en ambientes favorables pero carecen de estabilidad (Tariku *et al.*, 2013). La localidad CEVAMEX-2014, su discriminación y variabilidad es muy débil en comparación con los demás ambientes que hay interacción. Los genotipos más estables son 15, 19, 3, 17 y 2 todos son HNC, por lo tanto hasta el momento estas combinaciones mejoran las características de calidad. La localidad FESC-2014, su discriminación en los genotipos, fue más que el ambiente anterior mencionado. Los genotipos 18, 6 y 15, no cumplen con los parámetros requeridos por la NMX-034/2002, específicamente para esta variable (Figura 3.10), por otro lado hay genotipos inestables como 3, 10, 4, 15, y 21, que se encuentran en la partes extremas de los ambientes y de los ejes, sin embargo, más del 80% son aptos.

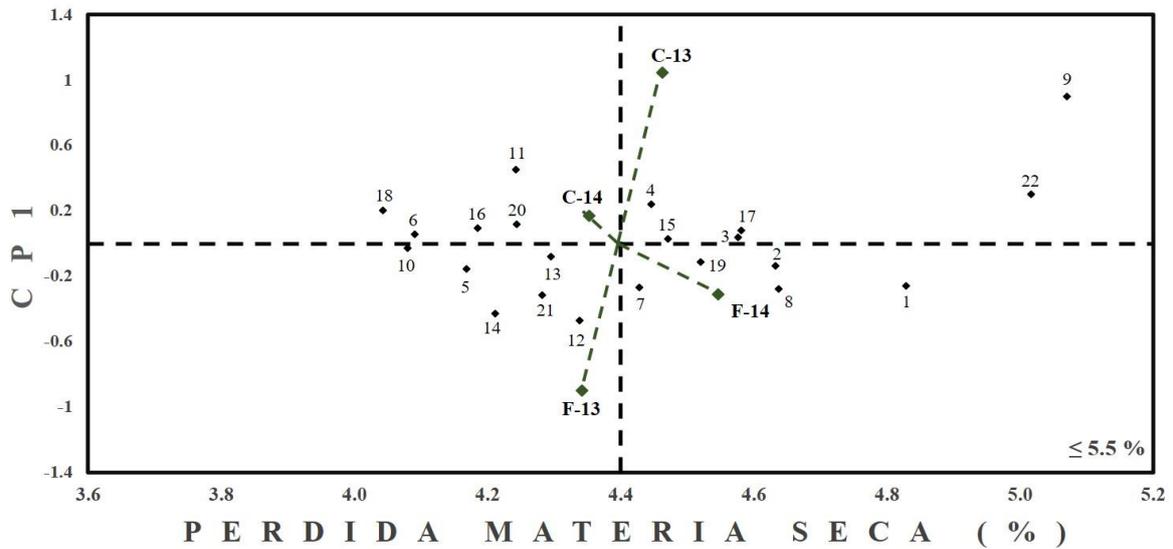


Figura 3.9. Representación grafica del componente principal 1 para la variable materia seca, promedio de 22 genotipos, con la siguiente descripción para los ambientes F-13 = Ambiente 1 (Fesc-2013); C-13 = Ambiente 2 (CEVAMEX-2013); F-14 = Ambiente 3 (FESC-2014); C-14 = Ambiente 4 (CEVAMEX-2014).

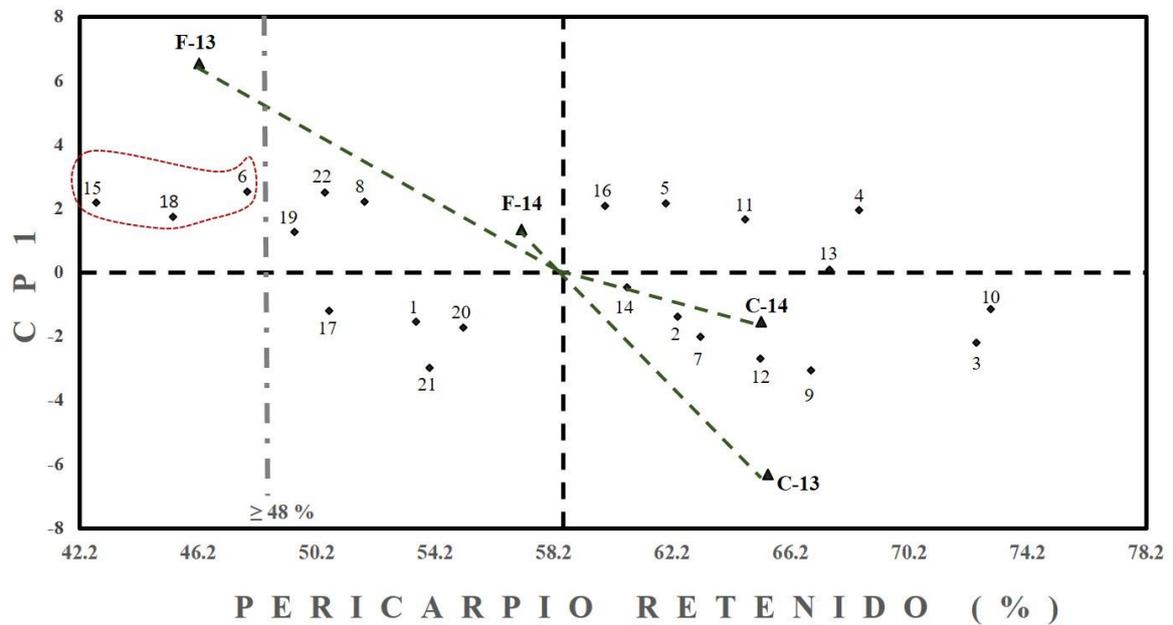


Figura 3.10. Representación grafica del componente principal 1 para la variable pericarpio retenido promedio de 22 genotipos, con la siguiente descripción para los ambientes F-13 = Ambiente 1 (Fesc-2013); C-13 = Ambiente 2 (CEVAMEX-2013); F-14 = Ambiente 3 (FESC-2014); C-14 = Ambiente 4 (CEVAMEX-2014).

Calidad de tortilla. Para **RTF** la correlación es altamente significativa ($r = -0.32^{**}$), es decir, entre mayor sea el rendimiento menor será el rendimiento de tortilla. El 27 % de los genotipos no cumplen con la NMX-034 (1.4-1.5 kg), es decir, que son ≤ 1.3 kg (Figura 3.11). En la localidad CEVAMEX-2013, su variabilidad es menor a las demás, probablemente al clima presentado en las etapas más importantes en la fenología (Figura 3.1), los genotipos más estables son 19 y 17, pero los más inestables 15, 22, 7, 6 y 16.

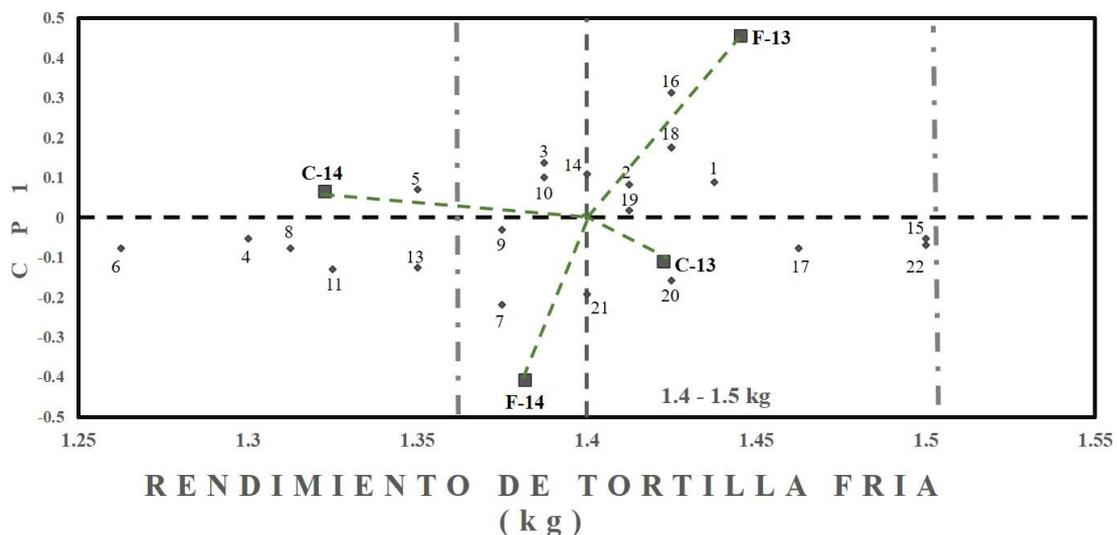


Figura 3.11. Representación grafica del componente principal 1 para la variable rendimiento de tortilla fría a las 24 horas promedio de 22 genotipos, con la siguiente descripción para los ambientes F-13 = Ambiente 1 (Fesc-2013); C-13 = Ambiente 2 (CEVAMEX-2013); F-14 = Ambiente 3 (FESC-2014); C-14 = Ambiente 4 (CEVAMEX-2014).

En la variable **bTV** la correlación con el rendimiento es alta significativamente ($r = -0.32^{**}$), es decir que a mayor lectura de **b** en las tortillas de 24 horas, menor será el rendimiento y en el caso de los genotipos más estables (6, 2, 18, 8 y 9) no fueron los de mayor lectura, pero si están en la parte positiva, por arriba de la media el Gen 15 tuvo la lectura más alta y su rendimiento fue bajo, sin embargo, no en todos los genotipos influye esto, ya que intervienen otros factores ambientales, genéticos (Figura 3.12), hay un grupo de genotipos que se comportan de la misma manera para el ambiente CEVAMEX-2014, los genotipos 13, 16, 18 y 17.

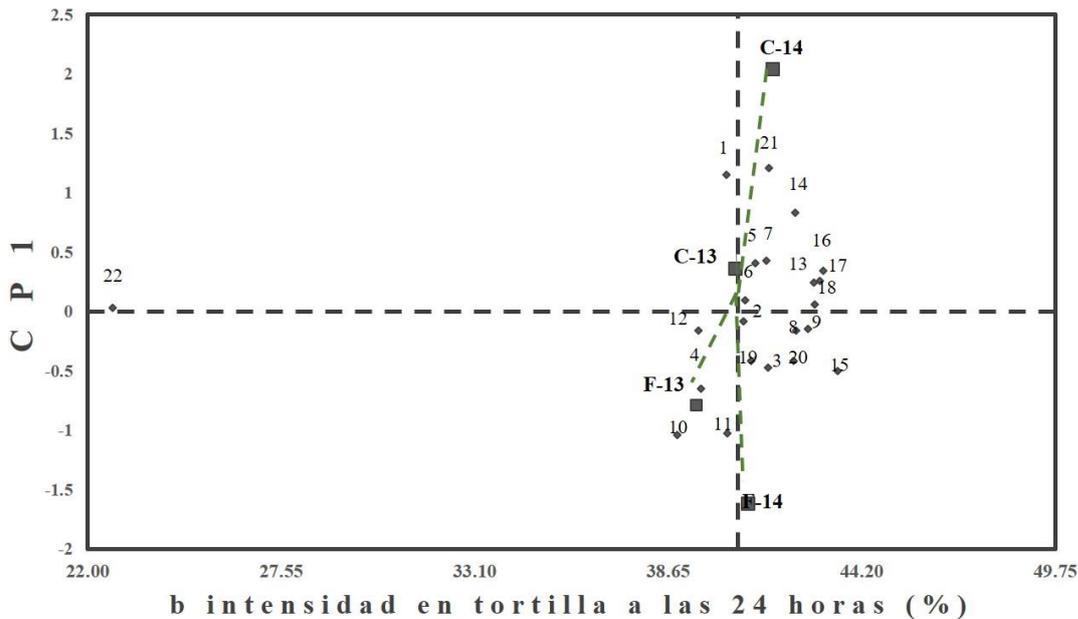


Figura 3.12. Representación grafica del componente principal 1 para la variable b* lectura por Hunter Lab., promedio de 22 genotipos, con la siguiente descripción para los ambientes F-13 = Ambiente 1 (Fesc-2013); C-13 = Ambiente 2 (CEVAMEX-2013); F-14 = Ambiente 3 (FESC-2014); C-14 = Ambiente 4 (CEVAMEX-2014).

Para la fuerza de punción (**FZATV**) en los ambientes FESC-2013, CEVAMEX-2013 y FESC-2014, los genotipos se comportan de igual forma por el grado menor a 90° C (Williams *et al.*, 2010), pero el ambiente CEVAMEX-2013, su variabilidad es menor en comparación con los demás ambientes, es decir no hay IGA, no existe discriminación para los genotipos, sin embargo, el 82 % de los genotipos cumplen con la Norma NMX-034 para la IMT (Figura 3.13), los genotipos más estables son 12, 9, 14 y 22 son HNC y el híbrido comercial H-48, los HNC, conservan la superioridad, ya que son los que predominan y son estables para las normas de calidad. Con una explicación del CP1 del 62 % (Cuadro 3.4), en el biplot, en que también presenta genotipos inestables fueron 20, 16, 3 y 18 para los efectos genéticos ambientales. El rango de 2 horas a 24 horas aumenta la fuerza y esto quiere decir que son aceptables, ya que conservan su elasticidad, gracias a la humedad, pericarpio retenido y el buen sello de la ampolla formada en la cocción de la tortilla (Salinas *et al.*, 2010; Salinas, 2003).

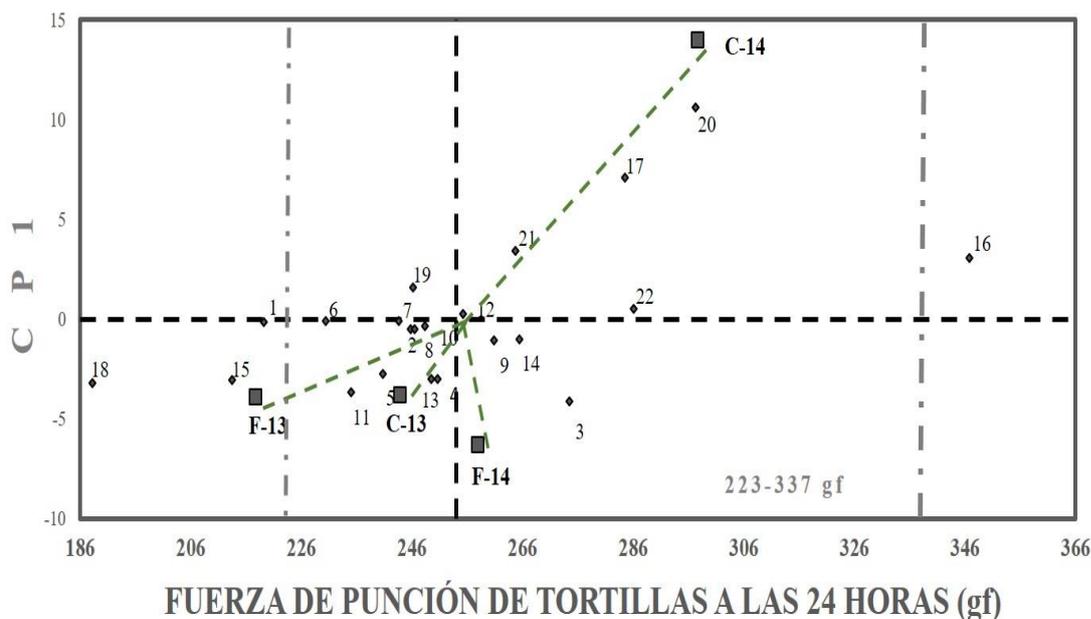


Figura 3.13. Representación grafica del componente principal 1 para la variable Fuerza de punción después de 24 horas promedio de 22 genotipos, con la siguiente descripción para los ambientes F-13 = Ambiente 1 (Fesc-2013); C-13 = Ambiente 2 (CEVAMEX-2013); F-14 = Ambiente 3 (FESC-2014); C-14 = Ambiente 4 (CEVAMEX-2014).

3.6 CONCLUSIONES.

El mejor rendimiento corresponde al genotipo 11 ('324 #'), que rindió 7.2 ton ha^{-1} , consecuentemente el genotipo 22 uso comercial de grano blanco para Valles Altos 'H-48', rindió 6.6 ton ha^{-1} , le siguió un grupo de HNC, que se encuentran entre los más altos en comparación de los demás (4, 6, 5 y 13), cada uno rindió 6.5, 6.3, 6.1 y 6.1 ton ha^{-1} , respectivamente y los genotipos con un bajo rendimiento variedad 20 y la cruza simple 16, que rindieron 3.3 y 2.9 ton ha^{-1} , respectivamente, de acuerdo con el análisis combinado, sin embargo, para el modelo AMMI, el genotipo 11, es inestable.

Características físicas de grano PHEC, PCG, IF, la mayoría de los genotipos son aptos para considerar evaluarlos en la calidad de nixtamal y tortilla, excepto los genotipos 15 y 16, sus valores en estas variables son bajas y en el modelo AMMI, no muestran estabilidad, ni adaptabilidad en los ambientes.

Para la calidad de nixtamalización, los genotipos cumplen con los parámetros de la norma, pero no para la calidad de tortilla, los genotipos 8, 13, 5, 6, 4 y 11 obtuvieron rendimientos de

RTF, menor a lo establecido en la NMX-034/2002, para esta variable en específico, pero son estables en los ambientes, excepto el genotipo 11.

Para la variable de Aceite, casi todos los genotipos están por arriba del 4 %, excepto 7, 16 y 18, su porcentaje fue de 3.9 %, 3.7 % y 3.5 %, respectivamente, pero se recomienda hacer estudios más completos en esta variable para analizar ácidos grasos, al menos en los porcentajes más altos.

En general los HNC, si mejoran la calidad del grano para IMT, características físicas y rendimiento con respecto a sus progenitores, la mayoría conserva estabilidad, dentro de los ambientes evaluados, con el modelo AMMI, sin embargo, se recomienda seguir evaluando en ciclos posteriores.

3.7 LITERATURA CITADA

- Antuna, G. O; Rodríguez, H. S. A; Arámbula, V. G; Palomo, G. A; Gutiérrez, A. E; Espinoza, B. A; Navarro, O. E. F. y Andrio, E. E. 2008. Calidad nixtamalera y tortillera en maíces criollos de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. Vol. 31 (3): 23-27.
- CEDRSSA. 2014. Consumo, distribución y producción de alimentos: el caso del complejo maíz-tortilla. Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria.
- Coutiño, E. B; Vázquez, C. G; Torres, M. B; Salinas, M. Y. 2008. Calidad de grano, tortillas y botanas de dos variedades de maíz de la raza comiteco. *Revista Fitotecnia Mexicana*. Vol. 31 (3): 9-14.
- Crossa, J; Gauch, H.G. y Zobel, R.W. 1990. Additive main effects and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trials. *Crop Sci*, 30: 493-500.

- Crossa, J; Beyene, Y; Kassa S; Pérez, P; Hickey, J; Chen, C; de los Campos, G; Burgueño, J; Windhausen, V; Buckler, E; Jannink, J; López, M. y Babu, R. 2013. Genomic Prediction in Maize Breeding Populations with Genotyping-by-Sequencing. *G3: Genes|Genomes|Genetics*. Vol. 3(11):1903-1926.
- Espinosa, C. A.; Tadeo, R. M.; Tapia, N. A. 2000. Variedades no convencionales como opción para elevar la productividad de maíces locales en Valles Altos de México. *Agronomía Mesoamericana* 11(1): 159-161.
- Espinosa, A., Tadeo, M., Gómez, N., Sierra, M., Virgen, J., Palafox, A., Caballero, F., Vázquez, G., Rodríguez, F., Valdivia, R., Arteaga, I., González, I. 2011. 'V-55 A', variedad de maíz de grano amarillo para los Valles Altos de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 34 (2): 149-150
- Espinosa, A., Tadeo, M., Turrent, A., Sierra, M., Gómez, N., Zamudio, B. 2013. Rendimiento de variedades precoces de maíz grano amarillo para Valles Altos de México. *Agronomía Mesoamericana*. 24(1):93-99.
- Estación meteorológica "ALMARAZ". 2013-2014. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán Campo 4. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Estación meteorológica "CHAPINGO". 2013-2014. Universidad Autónoma de Chapingo, Texcoco, Estado de México.
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto Nacional de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. 246 p.
- Gómez, M. N. O; Cantú, A. M. A; Sierra, M; Hernández, G. C.; Vázquez, C. G; Espinosa, C. A. y González, C. M. 2013. H-565: Nueva alternativa de maíz para el Trópico bajo de México. Centro de Investigaciones Regional Pacifico Sur, Campo Experimental Iguala, Folleto técnico # 19. Iguala, Guerrero.

- Kornfeldt, A. L. y Croon, B. 1981 4- Demethyl-, 4- monomethyl- and 4, 4-dimethylsterols in some vegetable oils. *Lipids* 16:306-314.
- Mazón, G. Ma. De los Á; Escobedo, G. J. S; Herrera, C. E; Macías, L. A; Hernández, P. J; Vázquez, C. G. y Wesche, E. P. A. 2012. Maíz de alto contenido proteínico (*Zea mays* l.) en hogares rurales marginados del estado de Puebla. *Estudios Sociales*, Vol. XX (39): 131-154.
- McGuire, R. G. 1992. Reporting of objective color measurements. *Hort. Science* 27. Pp. 1254-1255.
- Morris, M. L. y López, P. M. A. 2000. Impactos del mejoramiento de maíz en América Latina 1966-1997. CIMMYT. D. F., México. 45 p.
- Norma Mexicana para Maíces Destinados al Proceso de Nixtamalización, NMX-FF-034-2002-SCFI (2002) Productos alimenticios no industrializados para consumo humano cereales maíz blanco para proceso alcalino para tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado-especificaciones y métodos de prueba. Especificaciones y Métodos de Prueba. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Dirección General de Normas. México, D. F. 18 p.
- Ramírez, D. J. L., Vidal, M. V. A., Ledesma, M. A., Chuela, B. M., Peña, R. A., Ruiz, C. J. A. 2013. Propuesta para integrar un patrón heterótico de maíz de grano amarillo para la Zona de Transición de México: I. Método y formación de poblaciones. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 36 (3): 189-199.
- Robutti, J.L. INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Pergamino. Buenos Aires. AR). 2006. Calidad y usos del maíz. p. 101-104.
- Ruíz, T. N. A; Rincón, S. F; Hernández, L. V. M; Figueroa, C. J. P. y Loarca, P. Ma. G. 2008. Determinación de compuestos fenólicos y su actividad antioxidante en granos de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 31 (3): 29-34.

- Salinas, M.Y. y Vázquez, C. G. 2003 Calidad del maíz para las industrias molinero-tortillera y de harinas nixtamalizadas. In: 60 años de Investigación al Servicio de México. Campo Experimental Valle de México "El Horno". Memoria Técnica No. 6. Chapingo, México. Pp: 61-65.
- Salinas, M. Y. y Aguilar, M. L. 2010. Efecto de la dureza del grano de maíz (*Zea mays* L.) sobre el rendimiento y calidad de la tortilla. Departamento de Ingeniería Agroindustrial, UACH, e INIFAP, Texcoco, México.
- SAS Institute. 2002. Statistical Analysis System User's Guide. SAS Institute. Cary. USA. 956 p.
- Serna, S. S. R. 2009. Química almacenamiento e industrialización de los cereales. D. F. México: AGT editor.
- Serna, S. S. O. 2010 Cereal Grains: Properties, Processing, and Nutritional Attributes. CRC Press, Boca Raton, FL, USA. 747 p.
- Serna, S. S. O; Gutiérrez, U., J. A; Mora, R. S. y García, L. S. 2013. Potencial Nutraceutico de los maíces criollos y cambios durante el procesamiento tradicional y con extrusión. Revista Fitotecnia Mexicana. Vol. 36 (3): 295-304.
- Sierra, M. M; Palafox, C. A; Rodríguez, M. F; Espinosa, C. A; Vázquez, C. G; Gómez, M. N. y Barrón, F. S. 2011. H-564C, Híbrido de maíz con alta calidad de proteína para el Trópico Húmedo de México. Revista Fitotecnia Mexicana. Vol. 2 (1): 71-84.
- Tariku¹, S; Lakew, T; Bitew, M. and Mitiku Asfaw. 2013. Genotype by environment interaction and grain yield stability analysis of rice (*Oryza sativa* L.) genotypes evaluated in northwestern Ethiopia. Net Journal of Agricultural Science, Vol. 1 (1): 10-16.
- Vargas, H. M. and Crossa, J. 2000. The AMMI analysis and graphing the biplot. Universidad Autónoma de Chapingo, México, Biometrics and Statistics Unit, CIMMYT, México.

- Vargas, M; Glaz, B; Alvarado, G; Pietragalla, G; Morgounov, A; Zelenskiy, Y. and Crossa, J. 2014. Analysis and Interpretation of Interactions in Agricultural Research. Agronomy Journal. Research Gate.
- Vázquez, C. G; Escobedo, M. D; González, C. A; Turrent, F. A. y Tut, C. C. 2005. Contenidos de proteína, lisina y triptófano en maíces de calidad proteínica (ACP) con diferente manejo agronómico. Agricultura Técnica en México. Vol. 31 (2): 191-202.
- Vázquez, C. Ma. G; Ramírez, D. J. R.; Vidal, M. V. A.; Chuela, B. M.; Velázquez C. G. A.; Betanzos, M. E.; Salinas, M. Y. 2008. Caracterización de maíces subtropicales del INIFAP para la producción de harina nixtamalizada y tortillas. Centro de Investigaciones Regional del Pacífico Centro, Campo Experimental Centro-Altos de Jalisco. Folleto Técnico Número 2. SAGARPA.
- Vázquez, C. G; Pérez, C. J. P; Hernández, C. J. M; Marrufo, D. Ma. De la L. y Martínez, R. E. 2010. Calidad de grano y de tortillas de maíces criollos del altiplano y Valle del mezquital, México. Revista Fitotecnia Mexicana. Vol. 33 (4): 49-56.
- Vázquez, C G; García, L. S; Salinas, M. Y; Bergvinson, D J. y Palacios, R. N. 2011. Grain and tortilla quality in landraces and improved maize grown in the highlands of Mexico. Plant Foods Human Nutr. 66:203-208.
- Vázquez, C. G; Ramos, D. S; Salinas, M. Y; Rojas, M. I; Arellano, V. J; Velázquez C. G. A y Espinosa, C. A. 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. Vol. 35 (3): 229-237.
- Vázquez, C.Ma. G; Arellano, V. J. y Santiago, R. D. 2015. Rendimiento y calidad de grano y tortilla de maíces híbridos de Valles Altos de México crecidos en riego y temporal. Revista Fitotecnia Mexicana. Vol.38 (1):

- Vidal, M. V. A; Vázquez, C. G; Coutiño, E. B; Ortega, C. A; Ramírez, D. J. L; Valdivia, B. R; Guerrero, H. M; Caro, V. F. y Cota, A. O. 2008. Calidad proteínica en colectas de maíces criollos de la sierra de Nayarit, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, Vol. 31 (3): 15-21.
- Williams, A. H; Pecina, Q. V; Zavala, G. F; Montes, G. N; Gámez, V. A. J; Arcos, C. G; García, G. M. A; Montes, H. S; Alcalá, S. L. 2010. Modelo de finlay y wilkinson vs. El modelo AMMI para analizar la interacción genotipo-ambiente en sorgo. *Revista Fitotecnia Mexicana*, Vol. 33 (2): 117-123.
- White, P. E. y Weber. J. 2003. Lipids of the kernel. In: *Corn: Chemistry and Technology*. P White, L Johnson (eds). American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul Minnesota, USA. pp: 355-406.
- Zobel R W, M J Wright, H G Gauch J (1988) Statistical analysis of a yield trial. *Agron. J.* 80:388-393.

IV. DISCUSIÓN GENERAL

México al requerir 32.5 millones de toneladas de grano de maíz para cubrir su demanda aparente de alimentos; de las cuales se producen aproximadamente 22.5 millones de toneladas de grano blanco, por lo que actualmente requiere importar diez millones de toneladas de maíz de grano amarillo, las cuales se pueden obtener a través de incrementar la producción en dicho cultivo en México siendo un grano amarillo de ciclo precoz, puede ser una alternativa de muchas que otros Investigadores, han divulgado en otras investigaciones. La superficie cultivada nacional de maíz, entre altitudes 2200 a 2600 msnm, en la región denominada como los Valles Altos de la Mesa Central, 800 mil hectáreas se cultivan bajo condiciones de temporal estricto, el cual generalmente es deficiente y se presenta en forma tardía, lo que limita la fecha de siembra y con ello el potencial de la productividad del cultivo (1.2 t ha^{-1}), que es la media estatal, esta producción tiene un riesgo adicional debido a la incidencia de heladas tempranas al final del ciclo de cultivo.

Para incrementar la producción y atender la demanda de grano de maíz amarillo es el uso de variedades mejoradas de ciclo corto, que aprovechen las condiciones agroclimáticas disponibles; para ello se desarrollaron en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, de la Universidad Nacional Autónoma de México (FESC, UNAM), algunas variedades de maíz de grano amarillo, de ciclo precoz como Oro Ultra 3C, Oro Ultra 2C, Oro Plus 2D, pero aun no son comerciales y el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en los últimos años se ha promovido el uso de tres variedades comerciales de grano amarillo de ciclo precoz denominadas V-53 A, V-54 A, V-55. Una posibilidad para elevar el rendimiento de estas variedades de la FESC y el INIFAP, es integrar a partir de ellas híbridos no convencionales; estos últimos se obtienen a partir de la combinación de progenitores que no cumplen con la conformación clásica y generalmente presentan facilidad para la producción de semilla, así como heterosis en el rendimiento, que es con frecuencia superior s

sus progenitores. Tras varios años de trabajado los Investigadores mexicanos en cruzamientos de variedades de grano amarillo con cruza simples, líneas, variedades, obteniendo híbridos no convencionales, con cuya semilla se han evaluado estos materiales durante años, algunos de estos híbridos destacaron respecto a las variedades progenitoras, por lo que en la presente investigación se evaluaron híbridos no convencionales y sus progenitores de alto rendimiento, en torno a los cuales se estableció como objetivos determinar la productividad, heterosis, precocidad y calidad industrial de 12 híbridos no convencionales, si mejoran la calidad en la fabricación de tortillas.

Por la fuerte demanda del grano amarillo en la industria que genera almidón, glucosa, alta fructosa, gluten, fibra, sorbitol (jarabe), aceites, maltodextrinas, color caramelo, dextrosa, proteínas y sus aplicaciones, por lo que se requiere grandes volúmenes de maíz amarillo, además la demanda de maíz para la elaboración de etanol en los EE. UU, debemos estar preparados, para el uso de semilla mejorada con altos rendimientos, para alcanzar niveles competitivos en la producción y ser un país autosuficientes de lo contrario el país seguirá en la compra dependiendo del valor que se estipule por la demanda.

Si bien las variedades amarillas de polinización libre liberadas por el INIFAP, de ciclo corto como el 'V-54 A' y 'V-55 A', cubren requisitos de precocidad, con expresión de rendimientos aceptables no hay duda que conviene ofrecer a los productores de maíz, materiales que posean mayores rendimientos. En ambas investigaciones el rendimiento de la variedad '324 #', fue superior al testigo 'H-48', semilla comercial para Valles Altos, pero el interés por los HNC ('V-53A', 'V-55A y 'V-54A) x 324 #', mostraron excelente rendimiento, siendo una variedad subtropical y tardía, que podría limitar su adopción a los Valles Altos, pero la combinación es ventajosa, ya que las variedades de Valles Altos pueden heredar el carácter de la precocidad, situación que se dio, aportando variedades más rendidoras, manteniendo la precocidad de las variedades V-53 A, V-54 A y V-55 A, sin embargo, la

heterosis fue negativa, debido al origen pueda ser muy similar, para el caso de calidad industrial ratificamos que la conformación en híbridos no convencionales es ventajosa, para la fabricación de tortilla, sin embargo para estas combinaciones todas las variables fueron excelentes, excepto para RTF y FZATV, lo que se le atribuye al pericarpio sea delgado por la genética de la combinación o el lavado de nejayote siendo hidrolizado el grano y hace más factible la pérdida del pericarpio que ayuda a tener una buena textura de tortilla y menor pérdida de humedad o en su defecto el proceso de refrigeración de 2 horas a las 24 horas. La determinación de calidad industrial evaluada, siendo los genotipos de cruce simple CS (CML 460 x CML 462) y (CML 461 x CML 462), no cumplieron con parámetros de características físicas en el primer proceso para IMT, bajo la NMX-034/2002, por si solas las CS, no son aptas, sin embargo, mejora las características físicas, calidad de nixtamal y tortilla al combinarse con otras variedades, que finalmente se pretendía confirmar la hipótesis planteada.

En un rango de 5.0-6.5 ton ha⁻¹, son HNC para rendimiento, para la adaptabilidad y estabilidad bajo el modelo AMMI, son más estables en los ambientes, aportando caracteres adaptables de Valles Altos y caracteres heredables genéticos en la construcción y formación de la composición del grano.

V. CONCLUSIONES GENERALES

Los híbridos no convencionales, no solo son productivos, si no mantienen su precocidad ante sus progenitores y la calidad industrial de grano, mantienen buenos estándares, bajo el modelo AMMI, no todos los HNC, son estables, pero podemos deducimos que conforme se sigan sembrando en posteriores ciclos se genere adaptabilidad, siendo las combinaciones con variedades locales interactúen menos con el ambiente y sean más estables, que los que son introducidos de un ambiente más exótico, como en el caso de la variedad subtropical, ya que la inestabilidad es el resultado de la interacción de los genotipos y los ambientes, asumiendo que las condiciones climáticas poseen un papel importante en las diferencias fenotípicas.

Se sugiere continuar evaluando más ciclos, para obtener mayor número de ambientes, para conocer si hay cambios en los materiales de la presente investigación, ambientes no tan favorables, para estimar la interacción y si esta afecta la calidad industrial; así como determinar ácidos grasos y carotenos, para un análisis completo y así recomendar el consumo al que va dirigido en caso de no contener los suficientes nutrientes necesarios para consumo humano, consumo pecuario o la industria aceitera y no solo la industria de la masa y tortilla.

LITERATURA CITADA EN INTRODUCCIÓN GENERAL

- Álvarez, B. E. R y Piñeyro, N. A. 2013. El maíz en peligro ante los transgénicos: un análisis integral sobre el caso de México: UNAM, Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias, Unión de Científicos Comprometidos con la Sociedad. Colección debate y reflexión. 568 p.
- Antuna, G. O; Rodríguez, H. S. A; Arámbula, V. G; Palomo, G. A; Gutiérrez, A. E; Espinoza, B. A; Navarro, O. E. F. y Andrio, E. E. 2008. Calidad nixtamalera y tortillera en maíces criollos de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, Vol. 31 (3): 23-27.
- Espinosa C., A.; Turrent F., A.; Tadeo R., M.; Gómez M., N.; Sierra M., M. y Caballero H., F. 2008. Importancia del uso de semilla de variedades mejoradas y nativas de maíz en México. En: Desde los colores del maíz, una agenda para el campo mexicano. Editor J. Luis Seefoó Lujan. Volumen I, El Colegio de Michoacán, CONACYT. Zamora, Michoacán. pp. 233-255.
- Espinosa, A., Tadeo, M., Gómez, N., Sierra, M., Virgen, J., Palafox, A., Caballero, F., Vázquez, G., Rodríguez, F., Valdivia, R. 2010. 'V-54' A, nueva variedad de maíz de grano amarillo para siembras de temporal retrasado en los Valles Altos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 1(4): 677-680.
- Espinosa, A., Tadeo, M., Gómez, N., Sierra, M., Virgen, J., Palafox, A., Caballero, F., Vázquez, G., Rodríguez, F., Valdivia, R., Arteaga, I., González, I. 2011. 'V-55 A', variedad de maíz de grano amarillo para los Valles Altos de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 34 (2): 149-150.
- FAO (2015) <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/es/> consultado el 30 de julio de 2015.

- Jiménez, J. A; Arámbula, V. G; De la Cruz, L y Aparicio, T. MA. 2012. Característica del grano, masa y tortilla producida con diferentes genotipos de maíz del trópico mexicano. *Universidad y Ciencia*. Vol. 28 (2): 145-152.
- Jiménez, J. A; Arámbula, V. G; De la Cruz, L y Aparicio, T. MA. 2015. Calidad nixtamalera y tortillera de maíces del trópico húmedo de México. *OYTON, Revista Internacional de Botánica Experimental*. Vol. 84.
- Mazón, G. Ma. De los Á; Escobedo, G. J. S; Herrera, C. E; Macías, L. A; Hernández, P. J; Vázquez, C. G. y Wesche, E. P. A. 2012. Maíz de alto contenido proteínico (*Zea mays* l.) en hogares rurales marginados del estado de Puebla. *Estudios Sociales*. Vol. XX (39): 131-154.
- Ortiz, C. J., Ortega, P. R., Molina, G. J., Mendoza, R. M., Mendoza, C. C., Castillo, G. F., Muñoz, O. A., Turrent, F. A., Kato, Y. T. A. 2007. Análisis de la Problemática de la producción nacional de maíz y propuestas de acción. Grupo Xilonen, Universidad Autónoma Chapingo-Colegio de Postgraduados-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Chapingo, México. 29 p.
- Rooney, L. W. y Suhendro, E. L. 1999. Perspectives on nixtamalization (alkaline cooking) of maize for tortillas and snacks. *Cereal Food World*. 44: 466-470.
- Salinas, M. Y. y Aguilar, M. L. 2010. Efecto de la dureza del grano de maíz (*Zea mays* L.), sobre el rendimiento y calidad de la tortilla. Departamento de Ingeniería Agroindustrial, UACH e INIFAP, Texcoco, México.
- Salinas, M. Y; Castillo, L. E. B; Vázquez, C. G. y Buendía, G. M. B. 2011. Mezclas de maíz normal con maíz ceroso y su efecto en la calidad de tortilla. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2: 689-702.
- Schwentesius, R. R. y Ayala, G. A. V. 2014. Seguridad y Soberanía Alimentaria en México, Análisis y Propuestas de Política. Editorial Plaza y Valdés.

- Tadeo R., M. 2015. Productividad de semilla, grano, forraje y uso de androesterilidad en el híbrido de maíz Tsíri Puma. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. 108 pp.
- Tadeo, M., Espinosa, A., Guzmán, R., Turrent, A., Zaragoza, J., Virgen, J. 2015. Productividad de híbridos de híbridos varietales de maíz de grano amarillo para Valles Altos de México. Revista Agronomía Mesoamericana. 26 (1): 65-72.
- Tadeo, R. M.; Zaragoza, E. J; Espinosa, C. A; Turrent, F. A; Zamudio, G. B.; Virgen, V. J; Mora, G. K. Y. y Valdivia, B. R. 2016. Productividad de la generación F1 y F2 de híbridos de maíz (*Zea mays l.*) De Valles Altos de México. Agrociencia. 50 (1): 33-41.
- Turrent, F. A. 2009. El potencial productivo del maíz. En: Ciencias. Revista de Difusión de la Facultad de Ciencias de la UNAM. 92-93:126-129.
- Vázquez, C. Ma. G; Ramírez, D. J. R.; Vidal, M. V. A.; Chuela, B. M.; Velázquez C. G. A.; Betanzos, M. E.; Salinas, M. Y. 2008. Caracterización de maíces subtropicales del INIFAP para la producción de harina nixtamalizada y tortillas. Centro de Investigaciones Regional del Pacífico Centro campo experimental Centro-Altos de Jalisco. Folleto Técnico Número 2. Sagarpa.
- Vázquez, C. G; Pérez, C. J. P; Hernández, C. J. M; Marrufo, D. Ma. De la L. y Martínez, R. E. 2010. Calidad de grano y de tortillas de maíces criollos del altiplano y Valle del mezquital, México. Revista Fitotecnia Mexicana. Vol. 33 (4): 49-56.

ANEXO

1A. Comparación de medias de análisis de calidad de grano amarillo de características físicas, nixtamalización, estructurales y químicas de dos localidades en los años 2013 y 2014.

AMB	FESC	CEVAMEX	FESC	CEVAMEX	DHS
VAR	(2013)	(2013)	(2014)	(2014)	(0.05)
PHEC	75.3	74.8	72.1	79.1	0.85
PCG	32.4	31	28.8	29.6	0.59
IF	27	38	38	28	3.7
PI	0.65	0.77	0.87	0.92	0.11
PER	4.0	3.8	3.8	3.7	0.38
GER	8.9	9.0	8.9	8.8	0.59
HN	45.5	45.5	48.0	46.8	0.84
HM	60.0	58.9	58.9	59.6	1.18
HT	45.1	44.6	43.4	41.0	1.10
HTV	41.9	42.2	38.4	38.3	2.57
PS	4.3	4.5	4.6	4.3	0.05
PR	46.2	68.0	57.3	66.2	1.75
RM	2.1	2.1	2.0	2.1	0.04
RTC	1.5	1.4	1.4	1.4	0.01
RTF	1.4	1.4	1.4	1.3	0.01
FZATR	178	206	231	233	10.9
FZATV	217	243	252	302	14.9
DTTR	6.4	6.5	6.8	6.4	0.28
DTTV	5.1	4.7	5.1	5.1	0.23
Ac	4.8	4.1	4.3	4.4	0.15
Prt	10.3	11.4	7.7	8.6	0.40

AMB: ambiente; VAR: variable; PHEC = Peso hectolitrico (kg hL^{-1}); PCG= peso de 100 granos (gr); IF= Índice de flotación (%); PI= pico (%); PER= pericarpio (%); GER= germen (%); Prt = proteína (%); HN= humedad de nixtamal (%); HM= humedad de masa (%); HT= humedad de tortilla (%); HTV= humedad de tortilla 24 hrs. (%); PS= peso de sólidos (%); PR= pericarpio retenido (%); RM= rendimiento de masa (kg); RTC= rendimiento de tortilla caliente (kg); RTF= rendimiento de tortilla fría (kg); FZATR= fuerza de tortilla recién hecha (gf); DTTR= distancia de rompimiento (mm); FZATV= fuerza de tortilla 24 hrs., DTTV= distancia de rompimiento (mm-).

2A. Comparación de medias solo para la variable de color para grano, harina, tortilla a las 2 horas y 24 horas para Híbridos Varietales y sus progenitores de maíz de grano amarillo considerando en el promedio de cuatro ambientes de evaluación ciclo primavera verano 2013 y 2014.

VAR	AMB	FESC	CEVAMEX	FESC	CEVAMEX	DHS (0.05)
		(1)	(2)	(3)	(4)	
LG		60.49	62.11	62.88	63.10	0.69
AG		12.21	14.17	14.42	13.90	0.68
BG		41.76	39.24	38.06	36.74	1.56
HUEG		73.79	70.36	69.54	69.55	0.72
CROMAG		43.58	41.83	40.76	39.33	1.58
LH		78.26	80.31	81.84	81.64	1.38
AH		3.98	4.10	4.31	3.6	0.35
BH		35.05	36.12	36.30	35.48	1.02
HUEH		83.63	82.24	83.43	84.37	2.05
CROMAH		35.28	36.52	36.56	35.67	1.08
LTR		66.61	67.68	67.57	67.58	0.87
ATR		81.22	82.63	82.20	83.27	0.70
BTR		40.32	40.84	42.33	42.27	1.73
HUETR		26.39	26.28	27.23	26.88	1.13
CROMATR		90.74	92.29	92.48	93.52	0.48
LTV		66.17	67.60	68.29	67.45	1.66
ATV		81.76	82.73	82.45	83.40	0.59
BTV		40.36	40.49	42.12	41.82	1.72
HUETV		26.26	26.06	27.05	26.61	1.10
CROMATV		91.24	92.23	92.59	93.43	0.43

LG= Luminosidad grano (L); AG= lectura en **a** para grano ;BG= lectura en **b** para grano; HUEG= lectura de **a** en ángulo para grano; CROMAG = Lectura en **b** en ángulo para grano; (%); LH= Luminosidad harina (L); AH= lectura en **a** de harina; BH= lectura en **b** en harina; HUEH= lectura de **a** en ángulo de harina; CROMAH = Lectura en **b** en ángulo en harina; LTR= Luminosidad tortilla recién hecha (L); ATR= lectura en **a** tortilla recién hecha ;BTR= lectura en **b** tortilla recién hecha; HUETR= lectura de **a** en ángulo tortilla recién hecha; CROMATR = Lectura en **b** en ángulo tortilla recién hecha; LTV= Luminosidad tortilla 24 horas; (L); ATV= lectura en **a** tortilla 24 horas; BTV= lectura en **b** tortilla 24 horas; HUETV= lectura de **a** en ángulo tortilla 24 horas.; CROMATV= Lectura en **b** en ángulo tortilla 24 horas.

3A. Comparación de medias de características físicas y estructurales de maíz de grano amarillo para Híbridos Varietales y sus progenitores considerando el promedio de cuatro ambientes de evaluación ciclo primavera verano 2013 y 2014.

GENOTIPO	REN	PHEC	PCG	IF	PI	PER	GER
V-54A	5.0	77.5	32.4	22	0.83	3.7	9.2
OU3C	3.3	77.4	27.2	26	0.75	3.6	8.8
V-55A	4.6	77.1	29.7	25	0.70	3.6	8.9
OP2D	3.8	77.0	30.6	30	0.62	3.6	8.5
V-53A x 351 #	6.5	76.9	30.7	18	0.84	4.1	9.2
351 #	3.9	76.8	30.13	19	0.77	3.6	9.2
V-54A x 351 #	5.5	76.4	31.4	26	0.83	3.6	9.3
(CML461xCML462)x V-54A	5.3	76.2	30.0	26	0.81	3.9	8.7
(CML461xCML462) x OU2C	5.0	76.0	29.0	41	0.74	3.8	8.5
CML461xCML462) x V-55A	6.1	75.7	30.6	23	0.75	3.9	9.2
V-55A x 351 #	5.3	75.5	30.4	29	0.92	3.5	8.6
(CML460xCML462) x V-54A	4.2	75.3	28.3	38	0.81	3.7	8.7
CML461xCML462) x OP2D	4.3	75.1	30.4	52	0.68	4.4	7.6
V-54A x 324 #	6.1	75.0	33.9	31	0.85	3.6	9.6
(CML461xCML462) x V-53A	4.8	74.8	28.1	43	0.81	4.1	8.8
V-53A	4.8	74.8	30.4	40	0.75	3.7	8.9
V-55A x 324 #	6.3	74.8	34.4	20	0.88	3.7	9.6
V-53A x 324 #	6.5	74.6	33.9	25	0.68	4.1	9.0
324 #	7.2	74.3	34.8	30	0.96	4.5	9.7
H-48	6.6	72.8	35.6	32	0.91	4.1	9.9
CML461 x CML462	4.1	72.3	22.6	58	0.79	3.5	7.5
CML460 x CML462	2.9	70.8	24.9	67	1.0	4.7	7.5
DSH (0.05)		2.8	1.9	12.3	0.39	1.3	2.0

REN = rendimiento (ton ha⁻¹); PHEC = Peso hectolitrico (kg hL⁻¹); PCG = peso de 100 granos (gr); IF = Índice de flotación (%); PI = pico (%); PER = pericarpio (%); GER = germen (%); DSH = Diferencia significativa honesta.

4A. Comparación de medias de calidad de nixtamalización de maíz de grano amarillo para Híbridos Varietales y sus progenitores considerando el promedio de cuatro ambientes de evaluación ciclo primavera verano 2013 y 2014.

GENOTIPO	HN	HM	HT	HTV	RM	RTC	RTF
V-54A	47.7	58.2	41.3	33.1	2.0	1.3	1.3
OU3C	47.2	59.2	44.7	42.6	2.1	1.5	1.4
V-55A	46.6	59.2	42.1	44.5	2.1	1.4	1.4
OP2D	45.4	61.5	43.3	39.0	2.1	1.4	1.4
V-53A x 351 #	44.4	59.2	45.1	41.8	2.1	1.5	1.4
351 #	47.3	59.7	43.4	40.5	2.1	1.4	1.4
V-54A x 351 #	46.3	58.9	43.3	41.5	2.1	1.4	1.4
(CML461xCML462)x V-54A	47.1	59.3	42.7	39.4	2.1	1.5	1.4
(CML461xCML462) x OU2C	46.5	59.5	40.9	38.2	2.1	1.4	1.4
CML461XCML462) x V-55A	46.1	59.2	42.9	39.7	2.1	1.4	1.3
V-55A x 351 #	45.8	58.9	43.6	40.0	2.1	1.4	1.4
(CML460xCML462) x V-54A	47.1	59.5	44.9	41.4	2.1	1.4	1.4
CML461xCML462) x OP2D	46.7	60.0	44.1	39.5	2.1	1.5	1.4
V-54A x 324 #	45.0	58.4	43.2	36.6	2.1	1.4	1.3
(CML461xCML462) x V-53A	46.4	60.4	44.8	41.5	2.1	1.5	1.4
V-53A	46.8	59.3	44.3	39.3	1.9	1.4	1.4
V-55A x 324 #	45.5	58.4	42.5	41.3	2.0	1.3	1.3
V-53A x 324 #	46.5	59.1	45.2	41.9	2.0	1.3	1.3
324 #	46.4	58.2	43.4	40.3	2.1	1.4	1.3
H-48	46.7	59.5	44.1	42.1	2.1	1.5	1.5
CML461 x CML462	47.0	61.4	44.4	39.7	2.2	1.5	1.4
CML460 x CML462	47.6	60.8	45.7	41.8	2.1	1.5	1.5
DSH (0.05)	2.88	4.03	3.76	8.7	0.16	0.04	0.05

HN = humedad de nixtamal (%); HM = humedad de masa (%); HT = humedad de tortilla a las 2 horas (%); HTV = humedad de tortilla 24 horas. (%); RM = rendimiento de masa (kg); RTC = rendimiento de tortilla caliente (kg); RTF = rendimiento de tortilla fría (kg).

5A. Comparación de medias de calidad de tortilla y químicas de maíz de grano amarillo para Híbridos Varietales y sus progenitores considerando el promedio de cuatro ambientes de evaluación ciclo primavera verano 2013 y 2014.

GENOTIPO	PS	PR	Prt	AC	FZATR	FZATV	DTTR	DTTV
V-54A	4.6	51.8	10.0	4.2	222	246	6.8	4.6
OU3C	4.3	55.1	8.7	4.8	219	295	6.6	4.5
V-55A	5.1	66.8	9.8	4.8	217	261	6.2	4.7
OP2D	4.3	54.0	9.6	4.4	181	265	6.1	5.1
V-53A x 351 #	4.8	53.5	9.3	4.3	207	219	6.7	5.3
351 #	4.1	72.9	9.6	4.7	246	248	6.4	4.7
V-54A x 351 #	4.6	62.4	9.7	4.7	214	238	6.4	5.1
(CML461xCML462)x V-54A	4.3	65.2	10.0	4.4	224	255	6.5	5.0
(CML461xCML462) x OU2C	4.2	60.6	9.3	4.3	225	265	6.5	5.3
CML461XCML462) x V-55A	4.3	67.5	9.6	4.7	237	249	6.4	5.3
V-55A x 351 #	4.6	72.5	9.6	4.4	195	274	7.2	5.1
(CML460xCML462) x V-54A	4.5	49.4	9.7	4.7	210	246	6.4	5.6
CML461xCML462) x OP2D	4.0	45.3	9.2	3.5	172	188	6.1	4.7
V-54A x 324 #	4.1	62.0	9.2	4.5	199	241	6.5	5.2
(CML461xCML462) x V-53A	4.6	50.6	9.1	4.4	200	284	6.4	5.0
V-53A	4.4	63.1	9.2	3.9	206	244	6.8	5.1
V-55A x 324 #	4.1	47.8	8.9	4.0	202	230	6.5	4.9
V-53A x 324 #	4.5	68.5	9.7	4.4	220	251	7.5	5.1
324 #	4.2	64.7	9.8	5.1	214	235	6.6	5.1
H-48	5.0	50.4	9.6	4.4	179	286	6.1	4.6
CML461 x CML462	4.2	59.9	9.4	4.2	281	347	7.0	5.3
CML460 x CML462	4.5	42.7	9.5	3.7	181	213	6.2	5.3
DSH (0.05)	0.2	5.9	1.37	0.5	37.2	50.7	0.98	0.79

PS = peso de sólidos (%); PR = pericarpio retenido (%); Prt = proteína (%); AC = aceite (%); FZATR = fuerza de tortilla recién hecha (gf); DTTR = distancia de rompimiento (mm); FZATV = fuerza de tortilla 24 horas (gf); DTTV = distancia de rompimiento (mm).