

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN MEJORAMIENTO GENÉTICO DE PLANTAS**



**“HABILIDAD COMBINATORIA Y HETEROSIS EN CRUZAS DE
MAÍZ (*Zea mays* L.) AMARILLO DURO EN LA LOCALIDAD DE LA
MOLINA”**

Presentada por:

VICTOR MARIO GARCÍA MORA

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO
MAGISTER SCIENTIAE EN MEJORAMIENTO GENÉTICO DE
PLANTAS**

Lima – Perú

2018

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN MEJORAMIENTO GENÉTICO DE
PLANTAS**

**“HABILIDAD COMBINATORIA Y HETEROSIS EN CRUZAS DE
MAÍZ (*Zea mays* L) AMARILLO DURO EN LA LOCALIDAD DE LA
MOLINA”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO
MAGISTER SCIENTIAE**

Presentada por:

VICTOR MARIO GARCIA MORA

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Dr. Jorge Jiménez Dávalos
PRESIDENTE

Mg.Sc Julián Chura Chuquiya
PATROCINADOR

M.Sc. Ricardo Sevilla Panizo
MIEMBRO

Dr. Javier Arias Carbajal
MIEMBRO

Dedicada

A Mercy y Anahí

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Programa Nacional de Becas y Crédito Educativo (PRONABEC) y a la Secretaria Nacional de Educación Superior Ciencia y Tecnología (SENESCYT) que bajo convenio de amistad entre Perú y Ecuador me brindaron la oportunidad de obtener una beca de estudios la cual he concluido con éxito.

Agradezco a la Universidad Nacional Agraria La Molina, institución que me acogió y de la cual me llevo gratos recuerdos. A mi patrocinador Mg.Sc. Julián Chura y a los miembros del comité consejero, Dr. Jorge Jiménez, M.Sc Ricardo Sevilla y Dr. Javier Arias por su guía y apoyo para la culminación de este trabajo de investigación. Al programa de Investigación y Proyección Social en maíz, por el apoyo técnico para la realización de este experimento y por las labores agronómicas llevadas a cabo por su personal.

Agradezco a mi familia, a mis amigos y compañeros de estudios con los que pasé muchos momentos agradables y de los que aprendí mucho. A todos los profesores del programa de maestría de Mejoramiento Genético de Plantas por compartir sus conocimientos

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISION DE LITERATURA.....	3
2.1. El cultivo de maíz.....	3
2.1.1. Aspectos botánicos y taxonómicos del maíz	3
2.1.2. Diversidad genética del maíz.....	4
2.1.3. Fitomejoramiento en el cultivo de maíz.....	5
2.2. Cruzas dialélicas.....	7
2.2.1. Habilidad combinatoria	7
2.3. Heterosis.....	8
2.4. Interacción genotipo ambiente	9
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
3.1. Ubicación	11
3.1.1. Condiciones meteorológicas	11
3.2. Material vegetal.....	12
3.3. Características de la siembra y de la parcela experimental.....	13
3.3.1. Labores culturales	13
3.4. Variables a evaluar.....	15
3.5. Diseño experimental.....	16
3.5.1. Diseño genético	18
3.5.2. Heterosis.....	21
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	22
4.1. Análisis de varianza combinado.....	22
4.1.1. Altura de planta	23
4.1.2. Altura de la mazorca	25
4.1.3. Días a la floración masculina.....	27
4.1.4. Días a la floración femenina	28
4.1.5. Rendimiento de grano.....	30
4.2. Análisis de habilidad combinatoria.....	32
4.2.1. Altura de planta	34
4.2.2. Altura de la mazorca	36
4.2.3. Rendimiento de grano.....	39
4.2.4. Días a la floración masculina.....	41

4.2.5. Días a la floración femenina	43
4.3. Análisis de la heterosis	45
4.4. Análisis de mejores genotipos	47
V. CONCLUSIONES	52
VI. RECOMENDACIONES	53
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
VIII. ANEXOS	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos comunes de híbridos de maíz y sus características generales.....	6
Tabla 2. Condiciones climáticas durante la primera campaña	11
Tabla 3. Condiciones climáticas durante la segunda campaña.....	12
Tabla 4. Detalles de la parcela experimental	13
Tabla 5. Análisis de variancia individual del diseño de látice cuádruple 5 x 5.....	17
Tabla 6. Fuente de variación del análisis combinado del diseño de látice cuádruple 5 x 5	17
Tabla 7. Cruzamientos dialélicos, obtenidos a partir de seis líneas progenitoras del CIMMYT.....	18
Tabla 8. Análisis de varianza para el sistema de cruzamientos dialélicos, método II, propuesto por Griffing (1956), mostrando los esperados cuadrados medios para los supuestos del modelo I.....	19
Tabla 9. Análisis de varianza combinado para años, del sistema de cruzamientos dialélicos para el método II propuesto por Griffing (1956), mostrando los esperados cuadrados medios.....	19
Tabla 10. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para altura de planta en cm (Aplt), altura de la mazorca en cm (Amz), días a la floración masculina (Fmas), días a la floración femenina (Ffem) y rendimiento de grano en t ha ⁻¹ (Rto).	22
Tabla 11. Cuadrados medios del análisis de varianza para altura de planta en centímetros (Aplt) durante el primer y segundo año.....	24
Tabla 12. Comparación de medias según DMS para altura de planta en centímetros (Aplt) del análisis combinado	24
Tabla 13. Cuadrados medios del análisis de varianza para altura de la mazorca en centímetros (Amz) durante el primer y segundo año	25
Tabla 14. Comparación de medias según DMS para altura de la mazorca en centímetros (Amz) del análisis combinado	26
Tabla 15. Cuadrados medios del análisis de varianza para días a la floración masculina (Fmas) durante el primer y segundo año	27
Tabla 16. Comparación de medias según DMS para días a la floración masculina (Fmas) durante el primer y segundo año.....	28
Tabla 17. Cuadrados medios del análisis de varianza para días a la floración femenina (Ffem) durante el primer y segundo año	29

Tabla 18. Comparación de medias según DMS para días a la floración femenina (Fmas) durante el primer y segundo año.....	29
Tabla 19. Cuadrados medios del análisis de varianza para rendimiento de grano en t ha ⁻¹ (Rto) durante el primer y segundo año	30
Tabla 20. Comparación de medias según DMS para rendimiento de grano en t ha ⁻¹ (Rto) durante el primer y segundo año.....	31
Tabla 21. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para habilidad combinatoria según el sistema de cruzamientos dialélicos por el método II de Griffing (1956) para las variables altura de plantas en cm (Aplt), altura de la mazorca en cm (Amz), días a la floración masculina (Fmas), días a la floración femenina (Ffem) y rendimiento de grano en t ha ⁻¹ (Rto).....	33
Tabla 22. Cuadrados medios del análisis de varianza para habilidad combinatoria según el sistema de cruzamientos dialélicos para el método II, propuesto por Griffing (1956), durante el primer y segundo año para altura de planta en cm (Aplt).....	35
Tabla 23. Efectos de habilidad combinatoria general de seis líneas provenientes del CIMMYT para altura de planta (Aplt)	35
Tabla 24. Efectos de habilidad combinatoria específica de 15 cruzas para altura de planta (Aplt) en el análisis combinado	36
Tabla 25. Cuadrados medios del análisis de varianza para habilidad combinatoria según el sistema de cruzamientos dialélicos para el método II, propuesto por Griffing (1956), durante el primer y segundo año para altura de la mazorca en cm (Amz)	37
Tabla 26. Efectos de habilidad combinatoria general de seis líneas provenientes del CIMMYT para altura de la mazorca (Amz) en el análisis combinado.....	38
Tabla 27. Efectos de habilidad combinatoria específica de 15 cruzas para altura de la mazorca (Amz) en el análisis combinado.....	38
Tabla 28. Cuadrados medios del análisis de varianza para habilidad combinatoria según el sistema de cruzamientos dialélicos para el método II, propuesto por Griffing (1956), durante el primer y segundo año para rendimiento de grano en t ha ⁻¹ (Rto)	39
Tabla 29. Efectos de habilidad combinatoria general de seis líneas provenientes del CIMMYT para rendimiento de grano (Rto) en el análisis combinado.....	40
Tabla 30. Efectos de habilidad combinatoria específica de 15 cruzas para rendimiento de grano (Rto) en el análisis combinado	40

Tabla 31. Cuadrados medios del análisis de varianza para habilidad combinatoria según el sistema de cruzamientos dialélicos para el método II, propuesto por Griffing (1956), durante el primer y segundo año para días a la floración masculina (Fmas).....	42
Tabla 32. Efectos de habilidad combinatoria general de seis líneas provenientes del CIMMYT para días a la floración masculina (Fmas) durante el primer y segundo año	42
Tabla 33. Efectos de habilidad combinatoria específica de 15 cruzas para días a la floración masculina (Fmas) durante el primer y segundo año	43
Tabla 34. Cuadrados medios del análisis de varianza para habilidad combinatoria según el sistema de cruzamientos dialélicos para el método II, propuesto por Griffing (1956), durante el primer y segundo año para días a la floración femenina (Fmas).....	44
Tabla 35. Efectos de habilidad combinatoria general de seis líneas provenientes del CIMMYT para días a la floración femenina (Ffem) durante el primer y segundo año.....	44
Tabla 36. Efectos de habilidad combinatoria general de seis líneas del CIMMYT para días a la floración masculina (Fmas) durante el primer y segundo año	45
Tabla 37. Heterosis con relación al promedio de los progenitores en porcentaje (h) para altura de planta (Aplt), altura de mazorca (Amz), días a la floración masculina (Fmas), días a la floración femenina (Ffem) y rendimiento de grano (Rto)	46
Tabla 38. Heterosis con relación al promedio de los progenitores en porcentaje (h') para altura de planta (Aplt), altura de mazorca (Amz), días a la floración masculina (Fmas), días a la floración femenina (Ffem) y rendimiento de grano (Rto)	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Promedios de las variables en estudio. a) Rendimiento en $t\ ha^{-1}$; b) Altura de planta (Aplt) y mazorca (Amz) en centímetros; c) días a la floración masculina y d) días a la floración femenina; 1 = CML-226, 2 = CML-229, 3 = CML-428, 4 = CML-453, 5 = CML-486, 6 = CML-487; DMS ($P \leq 0.05$) en la parte superior y DMS ($P \leq 0.01$) en la parte inferior; Promedios con iguales letras pertenecen al mismo grupo..... 49

Figura 2. Efectos de HCG. a) Altura de planta (Aplt) y mazorca (Amz); b) Días a la floración masculina (Fmas); c) días a la floración femenina (Ffem); d) Rendimiento (Rto); 1 = CML-226, 2 = CML-229, 3 = CML-428, 4 = CML-453, 5 = CML-486, 6 = CML-487..... 50

Figura 3. Efectos de HCE. a) Altura de planta (Aplt) y mazorca (Amz); b) Días a la floración masculina (Fmas); c) días a la floración femenina (Ffem); d) Rendimiento (Rto); 1 = CML-226, 2 = CML-229, 3 = CML-428, 4 = CML-453, 5 = CML-486, 6 = CML-487..... 51

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Fechas de aplicación de riego durante el primer y segundo año	63
Anexo 2. Número de plantas, peso en campo de la mazorca (kg) y humedad del grano (%) para el primer año	64
Anexo 3. Número de plantas, peso en campo de la mazorca (kg) y humedad del grano (%) para el segundo año	65
Anexo 4. Promedios de los genotipos en las diferentes variables para la primera campaña	66
Anexo 5. Promedio de los genotipos en las diferentes variables para la segunda campaña	67
Anexo 6. Promedio en años de los genotipos en las diferentes variables	68
Anexo 7. Promedio de las cruzas dialélicas (F1), promedio entre sus progenitores (P_m) y promedio del progenitor superior (P_s) para días a la floración masculina.....	69
Anexo 8. Promedio de las cruzas dialélicas (F1), promedio entre sus progenitores (P_m) y promedio del progenitor superior (P_s) para días a la floración femenina	70
Anexo 9. Promedio de las cruzas dialélicas (F1), promedio entre sus progenitores (P_m) y promedio del progenitor superior (P_s) para altura de la planta (cm)	71
Anexo 10. Promedio de las cruzas dialélicas (F1), promedio entre sus progenitores (P_m) y promedio del progenitor superior (P_s) para altura de la mazorca (cm)	72
Anexo 11. Promedio de las cruzas dialélicas (F1), promedio entre sus progenitores (P_m) y promedio del progenitor superior (P_s) para rendimiento ($t\ ha^{-1}$)	73
Anexo 12. Esquema de la parcela experimental en la primera campaña	74
Anexo 13. Esquema de la parcela experimental en la segunda campaña.....	75
Anexo 14. Imágenes de las mazorcas de las diferentes líneas y cruzas obtenidas en la primera campaña	76
Anexo 15. Imágenes de las mazorcas de las diferentes líneas y cruzas obtenidas en la segunda campaña	77

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue determinar la habilidad combinatoria general (HCG), la habilidad combinatoria específica (HCE) y heterosis en cruzas de maíz amarillo duro en la localidad de La Molina, durante septiembre de 2016 a febrero de 2017 y agosto de 2017 a febrero de 2018. Seis líneas provenientes del CIMMYT (CML-226, CML-229, CML-428, CML-453, CML-486 y CML-487), las cruzas directas y cuatro testigos (PM-213, EXP-05, DK-7088 y H5070) fueron estudiados. El diseño estadístico fue látice cuádruple 5x5; los efectos de HCG y HCE fueron determinados mediante el diseño dialélico método II propuesto por Griffing (1956); y la heterosis fue determinada en promedio de los progenitores (h) y el progenitor superior (h'). Los genotipos mostraron interacción con años para rendimiento de grano, días a la floración tanto masculina como femenina y contrariamente las alturas de planta y mazorca no presentaron interacción en genotipos por años. Se encontró interacción en HCG por años para días a la floración masculina y HCE por años en días a la floración femenina. Las líneas CML-229 y CML-428 presentaron el mayor efecto de HCG para rendimiento de grano (-0.59) y (0.52); la línea CML-487 obtuvo el mayor efecto de HCG para altura de planta (-18.26), altura de mazorca (-9.37) y días a floración masculina (-1.43). El mayor efecto de HCE para rendimiento de grano (2.24) presentó la cruz CML-453xCML-486. Los mayores valores de heterosis promedio y sobre el progenitor superior para rendimiento de grano fueron obtenidos en las cruzas CML-229xCML-453 ($h = 454.4\%$ y $h' = 433.5$) y CML-453xCML-487 ($h = 440.7\%$ y $h' = 402.6$). Los efectos de HCG fueron muy importantes para altura de planta, días a floración masculina y femenina; los efectos de la HCE para rendimiento de grano y altura de mazorca.

Palabras claves: maíz, habilidad combinatoria general y específica, heterosis

ABSTRACT

The main objective of the current research was to determine the general combining ability (GCA), specific combining ability (SCA) and heterosis in crosses of yellow corn hard in the La Molina location, during September 2016 to February 2017 and August 2017 to February 2018. Six lines from CIMMYT (CML-226, CML-229, CML-428, CML-453, CML-486 and CML-487), the direct crosses and four controls (PM-213, EXP-05, DK-7088 and H5070) were studied. The statistical design was a quadruplex lattice 5x5; the effects of GCA and SCA were determined by the diallelic design method II proposed by Griffing (1956); and heterosis was determined based on the average of the parents (h) and the superior parent (h'). Genotypes showed interaction with years for grain yield, number of days to male flowering and female; height of plant and corncob did not present interaction genotypes x years. Interaction GCA for years was found out for days to male flowering and SCA for years in number of days to female flowering. The CML-229 and CML-428 lines presented the highest GCA effect for grain yield (-0.59) and (0.52), the CML-487 line had greater effect of GCA for heights of plant (-18.26) and corncob (-9.37) and days to male flowering (-1.43); the greater effect of SCA for grain yield (2.24) was presented by the cross CML-453xCML-486. The highest values of average heterosis and superior parent for grain yield were presented by the crosses CML-229xCML-453 (h = 454.4 % and h' = 433.5) and CML-453xCML-487 (h = 440.7 % and h' = 402.6). The effects of GCA was very important for height of plant, days to male and female flowering; the effects of the SCA for grain yield and height of corncob.

Key words: corn, general combining ability and specific, heterosis

I. INTRODUCCIÓN

El maíz junto con el arroz y el trigo es uno de los más importantes a nivel mundial. Es un producto agrícola estratégico para la seguridad alimentaria humana y animal. En diferentes regiones es usado en forma directa o procesado como grano, mazorca e incluso toda la planta (forraje verde).

Para aumentar los niveles de productividad de maíz en el Perú es necesario utilizar variedades de alto rendimiento. En un proceso de mejoramiento genético es importante tener en cuenta la acción de genes cuantitativos para la adaptación de las plantas a medio ambientes adversos, resistencia a plagas y enfermedades, rendimiento, etc. (Camarena et al. 2012). En el maíz el mejoramiento genético empieza con la formación de líneas endogámicas y al juntar estas, se procura la variabilidad genética. La diversidad fenotípica de una población está dada por el medio ambiente, el genotipo y la interacción entre ambos (Ortiz et al. 1997).

Los diseños dialélicos son sistemas de apareamiento útiles para identificar las mejores cruzas para la formación de híbridos y conocer las líneas por su HCG y HCE. Para obtener híbridos con características de interés es importante el conocimiento del tipo de acción génica (Malacarne y San Vicente 2003 y Betrán et al. 2003, citados por Wong et al. 2007). Es fundamental la selección y evaluación de líneas en generaciones tempranas y avanzadas con el fin de encontrar la mejor crusa entre líneas para explotar la heterosis (Rodríguez et al. 2016).

Ciertas líneas tienen la capacidad de combinarse bien con otras líneas, lo que sugiere que tienen una buena HCG. Cuando una línea se combina bien solo en ciertas cruzas eso significa que tiene una buena HCE. La capacidad de combinación es efectiva para la selección de padres excelentes en las primeras generaciones.

La HCG proporciona una orientación sencilla para pronosticar los efectos aditivos que contribuyen a la heterosis, al igual que la HCE, que igualmente juega una tarea primordial en la heterosis (Melchinger et al. 1987 y Gardner y Eberhart 1966, citados por Zhang et al. 2015).

El rendimiento nacional de maíz amarillo duro para el año 2017 fue de 4.7 t ha⁻¹ (MINAGRI 2018), para lograr rendimientos altos es necesario identificar genotipos superiores que permitan la formación de híbridos adaptados a las condiciones ambientales del lugar de interés.

El objetivo general de la presente investigación fue determinar la habilidad combinatoria y heterosis en cruces de maíz (*Zea mays* L.) amarillo duro en la localidad de La Molina. Los objetivos específicos fueron: estimar los efectos de habilidad combinatoria general (HCG) y habilidad combinatoria específica (HCE), determinar la heterosis en promedio de sus progenitores y sobre el mejor progenitor.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. El cultivo de maíz

El maíz es cultivado desde el nivel del mar hasta los 4000 metros de altitud, desde el ecuador hasta 40° Sur y 48° Norte de latitud. Factores como bajas temperaturas, vientos o excesiva humedad pueden ocasionar bajas en el rendimiento además puede ser cultivado en regímenes de humedad de menos de 400 mm hasta los 3000 mm, lográndose la mejor producción a temperaturas de 21 a 27°C (Reyes 1990, citado por Kato et al. 2009).

El Departamento de Agricultura de Estados Unidos estima una producción mundial de maíz para el año 2017/2018 de 1031.86 millones de toneladas, la producción en 2017 fue de 1067.21 millones de toneladas por tanto se estima una reducción de 3.31% en todo el mundo. Los países que tienen el promedio de producción más alto en el mundo son en la actualidad Estados Unidos, China, Brasil, la Unión Europea y Argentina (UARNT 2018)

En el Perú la superficie sembrada de maíz amarillo duro para la campaña de agosto 2016/julio 2017 fue de 273.9 mil hectáreas y la superficie cosechada fue de 265.1 mil hectáreas, alcanzando un rendimiento de 4.7 t h⁻¹ (MINAGRI 2018)

2.1.1. Aspectos botánicos y taxonómicos del maíz

Es generalmente aceptado que Teosinte y *Zea* pertenecen al mismo género, el maíz es una planta domesticada, cuya evolución ha ido a la par con la humanidad. Se cultiva en todo el mundo y es de consumo básico en muchos países. Perteneciente a la familia de las Poáceas, de la tribu Maydeas (Paliwal 2001a). El maíz tiene la siguiente clasificación taxonómica: reino *Plantae*, división *Magnoliophyta*, clase *Liliopsida*, orden *Poales*, familia *Poacea* (*Gramineae*), Género: *Zea*, especie: *mays* (Tovar 2008)

Onderdonk y Ketcheson (1972), citados por Paliwal (2001b) mencionan que después de que las semillas se hinchan por acción del agua que absorben, germinan después de dos o tres días, esto ocurre en suelos húmedos tropicales con temperaturas altas. y contrario a

esto, las temperaturas bajas provocan en las semillas una emergencia más tardía (seis u ochodías). Las temperaturas muy altas del suelo provocan la muerte de la radícula especialmente si se someten a condiciones de déficit de humedad.

El tallo de maíz es erecto y de dos a cinco metros de altura. Las hojas son lanceoladas y alternas, cubren a las yemas florales y nacen abrazando los entrenudos, tiene raíces primarias y adventicias (Jugenheimer 1988, citado por Kato et al. 2009). Es una planta monoica con flores bien diferenciadas, las flores femeninas aparecen después de las masculinas y este último produce abundante polen transportado por el viento (INTA 2010). Cada semilla de maíz es independiente, es un fruto llamado cariósipide, se encuentra incrustado en la mazorca, su número puede ser de 400 a 1000, dependiendo del número de filas (de 8 a 24) por mazorca. (Kato et al. 2009)

2.1.2. Diversidad genética del maíz

La diversidad de las condiciones ecológicas en el Perú ha conducido a que exista una gran diversidad de razas de maíz.

La diversidad intraespecífica del maíz se clasifica en razas, por la diferencia entre características morfológicas, fenológicas, adaptación y usos. En la costa norte del Perú la primera colecta se realizó en la década de 1950 y el registro de dichas colecciones reposa en el banco de germoplasma del PCIM-UNALM. Las razas encontradas con mayor frecuencia fueron Tumbesino en Tumbes, Alazán en Piura; Alazán y Mochero en Lambayeque; Mochero, Pagaladroga y Arizona en La Libertad y Perla y Rienda en la costa de Ancash. Otra colección se hizo en 1980, encontrándose las mismas razas, aun cuando ya casi todas las áreas de siembra estaban ocupadas por maíz híbrido, parte de dicha colecta se encuentra en el banco de germoplasma del PCIM-UNALM y otra en tres bancos de germoplasma en el exterior por un prolongado tiempo (MINAM 2013).

Para la obtención de maíz híbrido, el conocimiento de las relaciones genéticas entre líneas es útil para la organización del germoplasma y la protección del cultivar. Las líneas endogámicas pueden agruparse tomando en cuenta la similitud genética y con ello obtener grupos heteróticos. Por tanto, conocer la diversidad genética de las líneas obtenidas por selección es trascendental para el mejoramiento genético de los cultivos (Van Inghelandt 2010)

2.1.3. Fitomejoramiento en el cultivo de maíz

FAO (2006), citado por Noh (2017), menciona que en los países en vías de desarrollo solo el 20% del potencial productivo de los cultivos es explotado, generalmente como consecuencia del uso de suelos con bajo contenido de nutrientes, sequías y otros, de igual manera problemas con organismos bióticos, tales como ataque de maleza, plagas y enfermedades. Entonces, el fitomejoramiento hace una contribución importante en la búsqueda y desarrollo de variedades que se adapten a medio ambientes adversos, con énfasis en la productividad.

Poehlman y Sleper (1995) mencionan que el mejoramiento genético es el arte y la ciencia que permite explotar los caracteres de la herencia. La forma más temprana de mejoramiento vegetal fue la selección de plantas o semillas. Los primeros fitomejoradores fueron buenos observadores que reconocieron en las plantas variantes que mejoraría el rendimiento. El mejoramiento genético se convirtió en ciencia a medida que avanzaban los conocimientos de genética y la ciencia de las plantas.

En la agricultura tradicional se usan variedades y para producción extensiva o comercial, se usan los híbridos, por tanto, si se desea obtener el primero se recurre al mejoramiento genético por selección recurrente y el segundo por métodos de hibridación. Para la obtención de ambos es necesario desarrollar líneas a través de autofecundaciones controladas con el fin de incrementar la homocigosis (Pardey 2014)

Dos líneas no emparentadas con una configuración genética única resultan en la producción de un híbrido de maíz, la cual tiene características deseables en cuanto a rendimiento, resistencia a plagas y enfermedades, etc. Las líneas normalmente son de aspecto más deprimente que sus cruza, debido a la depresión endogámica. Sin embargo, el vigor híbrido se ve reflejado en sus cruza. Los híbridos llevan en su constitución genética las mejores características de sus progenitores por lo cual son útiles comercialmente (MacRobert et al. 2014).

Dos líneas endogámicas generan un híbrido de cruza simple, este a su vez al cruzarse con una línea endogámica genera un híbrido de cruza triple y para formar un híbrido de cruza doble se cruzan dos híbridos de cruza simple. Dos variedades de polinización libre sin estar

emparentados generan un híbrido intervarietal y una variedad de polinización libre con una línea resulta en un híbrido mestizo (MacRobert et al. 2014). En la tabla 1 se presenta lo mencionado.

Tabla 1. Tipos comunes de híbridos de maíz y sus características generales

Tipo de híbrido	Progenitor hembra	Progenitor macho	Rendimiento de semilla	Precio de la semilla	Característica de los híbridos	Rendimiento del grano
Simple	Línea endogámica	Línea endogámica	El más bajo	Alto	Uniforme	El más alto
Triple	Híbrido simple	Línea endogámica	Alto	Moderado	Apenas variable	Alto
Doble	Híbrido simple	Híbrido simple	El más alto	Bajo	Muy variable	De moderado a alto
Mestizo	VPL	Línea endogámica	Moderado	Bajo	Muy variable	Moderado
Intervarietal	VPL	VPL	De moderado a alto	Bajo	Muy variable	De moderado a bajo

Fuente: MacRobert et al. (2014)

Se conoce como variedades sintéticas a un grupo seleccionado de líneas autofecundadas que se han cruzado por polinización libre (Chávez 1995, citado por Sesmas 2017). Las variedades sintéticas a menudo acumulan genes favorables, lo cual las hace utilizables para su multiplicación o también como almacén de genes (Ramírez 2006).

Debido al alto costo de las semillas de variedades híbridas de maíz, las variedades sintéticas son una alternativa para el agricultor (Márquez 2010). La depresión endogámica que se produce en las variedades híbridas en generaciones posteriores pone como alternativa válida a las variedades sintéticas (Sahagún et al. 2005)

En el Perú, el germoplasma CIMMYT se probó con germoplasma local para analizar la heterosis. Los resultados mostraron incremento sustancial en el rendimiento, al cruzarse germoplasma foráneo proveniente del CIMMYT con germoplasma existente en el PCIM (Programa de investigación y proyección social en maíz), se observó que hubo una mejor combinación para rendimiento entre germoplasma CIMMYT con la raza perla y cuba. En relación a la altura de la planta se observó que hubo una disminución del tamaño de los híbridos al utilizarse germoplasma CIMMYT (PCIM 2004).

2.2. Cruzas dialélicas

Camarena et al. (2012) mencionan que en 1903 el danés Johansen propuso el concepto de línea pura y se definió genotipo y fenotipo. Basado en la conclusión de que la selección de una línea pura por sus diferentes características fenotípicas es ineficiente, fue la causa de la búsqueda de metodologías para distinguir entre el fenotipo y el genotipo.

Los diseños genéticos permiten definir los parámetros genéticos mediante la HCG y HCE para determinar el mejor método de mejoramiento a utilizar y la evaluación de la mejor combinación híbrida que permita explotar la heterosis (Wong et al. 2007). Los diseños dialélicos permiten obtener información de los efectos de HCG o HCE cuando los padres son seleccionados o cuando son elegidos aleatoriamente.

La cruce de p líneas genera $p(p-1)$ progenies incluidas las cruces recíprocas y sin incluir el número de progenies es igual a $p(p-1)/2$. Los parentales son líneas homocigotas o con algún grado de heterocigosis (Griffing 1956). El número de progenitores es una limitante del cruzamiento dialélico ya que con $p = 10$; $p=15$ o $p=20$ número de cruzamientos, sin incluir recíprocos, produce 45, 105 y 190, respectivamente cruces posibles. Es por ello que en trabajos sobre cruces dialélicas el número de progenitores por lo común no sobrepasa los diez (Vallejo y Estrada 2002).

Griffing (1956) menciona cuatro métodos de análisis para los cruzamientos dialélicos según el material a experimentar, de los cuales el método II incluye a los progenitores y sus cruces pero no incluye las cruces recíprocas, comprende los materiales presentes en la diagonal y encima de la diagonal $p(p+1)/2$ combinaciones. Los análisis de aptitud combinatoria se pueden utilizar fácilmente con varios diseños experimentales.

2.2.1. Habilidad combinatoria

La habilidad combinatoria es la capacidad de una línea de transmitir las características deseables que busca el fitomejorador hacia su progenie. Si en medio de una combinación híbrida la línea mantiene su comportamiento se denomina habilidad combinatoria general, sin embargo, el comportamiento de dos líneas reflejado en las características de una cruce híbrida se denomina habilidad combinatoria específica (Poehlman 1974, citado por Musito 2000).

Las líneas endogámicas presentan cierto comportamiento en combinaciones entre sí, que generan híbridos que al ser analizados posibilita la selección de las mejores líneas para la formación de híbridos mejorados, a ello se le conoce como habilidad combinatoria general (Jugenheimer 1990, citado por Martínez 2016). La habilidad combinatoria específica es el comportamiento de las cruzas en comparación a las líneas parentales, dicho comportamiento difiere, pues depende de la combinación entre una línea a otra (Sprague y Tatum 1942, citados por Martínez 2016).

La habilidad combinatoria general es principalmente una medida de los efectos aditivos, que son susceptibles de selección. La habilidad combinatoria específica incluye la varianza de dominancia, la epistásis y los efectos de interacción. (Sprague y Tatum 1942, citados por Machikowa et al. 2011).

De la Cruz et al. (2009) al estudiar cruzas dialélicas de ocho poblaciones de maíz provenientes del CIMMYT, menciona que poblaciones con mayor HCG pueden usarse para obtener variedades sintéticas, asimismo las cruzas con mayores efectos de HCE se pueden incluir en un programa de mejoramiento genético con el fin de obtener híbridos.

2.3. Heterosis

Gutiérrez et al. (2002), citados por Guerrero et al. (2014), mencionan que la heterosis es un fenómeno donde la F1 que resulta de la cruce entre dos genotipos, tiene un comportamiento superior en características deseables para el fitomejorador tales como altura, rendimiento, etc. El nivel deseable de la heterosis en cruzas es de al menos 20%. Falconer y Mackay (1996), citados por Guzmán et al. (2017) mencionan que la heterosis es el desempeño de una cruce híbrida respecto a sus parentales. La heterosis restaura el vigor perdido en los parentales por efecto de la homocigosis, lo cual se ve reflejado en la progenie.

El vigor híbrido se manifiesta por la alta HCE en las cruzas, obtenidas de líneas seleccionadas. El desarrollo de híbridos es un proceso que requiere alto conocimiento del germoplasma y exhaustivas pruebas con el fin de obtener patrones heteróticos para seleccionar líneas endogámicas como posible reserva de semillas híbridas. El control de los padres que expresan heterosis en combinaciones híbridas es muy importante. La heterosis o vigor híbrido y la depresión endogámica son complementarios, y los dos fenómenos a

menudo se observan en los mismos estudios. Los métodos de mejora del maíz se han desarrollado para aprovechar la manifestación de la heterosis en cruces de líneas endogámicas. (Hallauer et al. 2010).

Durante muchos años se ha atribuido el fenómeno de dominancia o sobredominancia a la heterosis y la epistasis también juega un papel importante. La heterosis no está controlada por un solo locus (Budak et al. 2002).

Sobredominancia

La hipótesis de la sobredominancia para la heterosis involucra a los alelos que actúan de una manera dosificadora ajustada, en la que ninguno de los homocigotos es mejor que el heterocigoto. Por lo tanto, con esta hipótesis, se cree que la heterocigosidad sola es responsable de la heterosis o el vigor híbrido. Muchos fisiólogos pensaron que un aumento en el tamaño de la semilla híbrida era la razón de la heterosis en las plantas híbridas. Estudios realizados previamente habían demostrado que las semillas híbridas eran más grandes que las semillas endogámicas. Por lo tanto, se pensó que el aumento en el tamaño de la semilla contribuyó a un mayor rendimiento híbrido. Sin embargo, no contribuía a la heterosis en la planta madura, y dichas plantas solo crecieron más rápido durante dos semanas en la etapa de plántula, después de lo cual no se detectó diferencia en la tasa de crecimiento. (Budak et al. 2002).

Dominancia

Los alelos dominantes son favorecidos sobre los alelos recesivos. Por tanto, en una cruce de maíz un alelo dominante de uno de los padres reprime el alelo recesivo del otro parental. Entonces la acumulación de los alelos dominantes en las líneas parentales da como resultado la formación de una progenie híbrida con características superiores al de sus padres. En primer lugar, se esperaría que los alelos dominantes ventajosos, siempre se seleccionen en poblaciones, sin embargo, no todos los alelos recesivos son perjudiciales y algunos contribuyen a importantes rasgos agronómicos (Fu et al. 2015).

2.4. Interacción genotipo ambiente

Evaluar la interacción genotipo ambiente (IGA) es muy importante para desarrollar nuevos genotipos, lo cual determina la estabilidad fenotípica ante los ambientes a los cuales el

material genético es sometido. En un programa de mejoramiento genético es algo muy importante a tomar en cuenta. (Sánchez et al. 2015). La IGA afecta todos los procesos biológicos, es un componente central para adaptar material a condiciones medioambientales. Estadísticamente tiene un componente dentro de la varianza genética. La IGA es vista como una fuente de error que afecta a la selección del material por lo que se procura realizar ensayos en un rango de ambientes lo más ampliamente posible. El éxito del mejoramiento se basa de cuanto se entienda de los efectos de la IGA y de su repetibilidad y predicción (Ceretta et al. 2001).

El rendimiento de los cultivos depende del genotipo, el entorno que le acompaña y la interacción del genotipo con el ambiente. Factores como plagas, enfermedades, maleza, etc. pueden ser controlados, pero los factores ambientales como la luz, lluvias o propiedades del suelo, son complicados de modificar. Un fitomejorador puede evaluar y controlar solo aquellos factores que así lo permiten por lo que es de esperarse que los factores ambientales cambien de un sitio a otro. Se puede evaluar sobre el rendimiento de los tratamientos. Lo más común para evaluar los efectos incontrolables del ambiente sobre la respuesta de los cultivos es repetir el experimento en varios años, localidades o ambos (Gómez y Gómez 1976).

Sánchez (2009) evaluó el comportamiento de híbridos dobles de maíz, en dos localidades en la Universidad Nacional Agraria La Molina. Los resultados del análisis combinado mostraron diferencias altamente significativas en las variables en estudio por lo que hubo diferencias en cada localidad, concluyó que los efectos de habilidad combinatoria general fueron más importantes que los efectos de habilidad combinatoria específica para rendimiento de grano. Ocho híbridos dobles fueron superiores en productividad a los híbridos comerciales.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación

El presente trabajo se desarrolló en el campo “Chiquero” de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), ubicado en el distrito La Molina, Provincia de Lima, Departamento de Lima a 251 m.s.n.m, latitud Sur 12°05’06’’ y longitud Oeste 76°59’07’’.

3.1.1. Condiciones meteorológicas

Durante la primera campaña del ensayo (Tabla 2), la precipitación acumulada, temperatura y humedad relativa promedio fueron de 5.3 mm, 20.7 °C y 74.1 %, respectivamente (SENAMHI 2018).

Tabla 2. Condiciones climáticas durante la primera campaña

Primera campaña	Precipitación acumulada (mm)	Temperatura media (°C)	Humedad relativa promedio (%)
12/Sept/2016 al 30/sept/2016	0.3	17.0	81.1
Octubre/2016	0.1	17.8	77.4
Noviembre/2016	0.0	19.3	74.5
Diciembre/2016	0.9	21.3	73.7
Enero/2017	4.0	24.6	69.0
1/feb/2017 al 13/feb/2017	0.0	25.3	68.5
Total	5.3	20.7	74.1

Fuente: SENAMHI (2018)

En la segunda campaña del ensayo (Tabla 3), la precipitación acumulada, temperatura y humedad relativa promedio fueron de 9.2 mm, 18.4 °C y 77.3 %, respectivamente (SENAMHI 2018).

Tabla 3. Condiciones climáticas durante la segunda campaña

Segunda campaña	Precipitación acumulada (mm)	Temperatura media (°C)	Humedad relativa promedio (%)
16/ago/2017 al 31/ago/2017	2.4	15.5	82.3
Septiembre/2017	4.6	15.7	82.4
Octubre/2017	0.3	17.0	78.2
Noviembre/2017	0.3	17.8	76.3
Diciembre/2017	0.4	20.0	76.3
Enero/2018	1.2	22.5	71.3
1-feb-2018 al 2-feb-2018	0.0	22.5	72.1
Total	9.2	18.4	77.3

Fuente: SENAMHI (2018)

3.2. Material vegetal

El material experimental estuvo conformado por seis líneas provenientes del CIMMYT, sus cruza directas (15 genotipos) y cuatro testigos comerciales. En total fueron 25 genotipos.

Líneas provenientes del CIMMYT:

1 = CML-226

2 = CML-229

3 = CML-428

4 = CML-453

5 = CML-486

6 = CML-487

Testigos comerciales:

T1 = PM-213

T2 = EXP-05

T3 = DK-7088

T4 = H5070

3.3. Características de la siembra y de la parcela experimental

El experimento constó de dos campañas, cuya siembra para la primera campaña fue el 12 de septiembre de 2016 y la cosecha el 13 de febrero de 2017. La siembra para la segunda campaña fue el 16 de agosto de 2017 y la cosecha fue el 2 de febrero de 2018.

Se colocaron tres semillas por golpe, con un distanciamiento de siembra de 0.4 m entre plantas x 0.8 m entre surcos, lo que resultó en un área de 0.32 m² por golpe. La parcela experimental de 10.24 m², tuvo 32 golpes, en dos surcos de 16 golpes cada uno. Cada genotipo fue replicado cuatro veces, lo que resultó en 100 unidades experimentales para los 25 genotipos. Los detalles de la parcela son dados en la tabla 4.

Tabla 4. Detalles de la parcela experimental

Características	Valor
Distanciamiento entre surcos (m)	0.8
Distanciamiento entre golpe (m)	0.4
Área neta por cada golpe o sitio (m ²)	0.32
Golpes por surco	16
Golpes por parcela	32
Longitud de surco (m)	6.4
Número de surcos por tratamiento o parcela	2
Número de semillas o golpe	3
Número de plantas al deshije	2
Número de tratamientos	25
Número de repeticiones	4
Número de parcelas o unidades experimentales	100
Ancho de calle (m)	1.2
Área neta del campo experimental (m ²)	1024
Área total del campo experimental (m ²)	1278.4

3.3.1. Labores culturales

La preparación del suelo para los dos años de siembra constó primeramente de un riego de machaco con el fin de mantener húmedo el suelo hasta días después de la siembra, luego se realizó un arado de disco con el suelo a capacidad de campo, luego un pase de rastra y

posteriormente un pase de gradas, para que el suelo quede suelto y tenga cierta capacidad de captación de humedad. Finalmente se realizó el surcado a 0.80 metros de distancia entre cada uno. La siembra se realizó manualmente utilizando un cordel sembrador y con la ayuda de lampas se abrieron hoyos para colocar las semillas.

La fertilización fue realizada manualmente el 7 de octubre de 2016 en el primer año y el 5 de septiembre de 2017 en el segundo año. Se fraccionó la aplicación de nitrógeno al 50 % y se aplicó todo el fósforo y potasio en la primera aplicación. El restante 50 % de nitrógeno se aplicó al momento del aporque mismo que se realizó el 28 de octubre de 2016 en el primer año y el 22 de septiembre de 2017 en el segundo año. Las fuentes fueron urea (46% de N) cuya dosis fue 200 kg ha⁻¹ en cada aplicación, fosfato diamónico 175 kg ha⁻¹ (18 N-46 P₂O₅) y cloruro de potasio 100 kg ha⁻¹ (60 K₂O) en total se aplicó 215 kg ha⁻¹ de N, 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ y 60 kg ha⁻¹ de K₂O.

Los controles fitosanitarios, principalmente de insectos se realizó con Lorsban (Chlorpyrifos) 1.5 l ha⁻¹ o 0.4 l por 200 l de agua y Tifón (Chlorpyrifos) 1.5 l ha⁻¹ o 0.4 l por 200 l de agua en diferentes etapas del cultivo, contra el ataque de *Pylophaga spp*, *Agrotis ipsilon*. Para el control de gusano del cogollo (*Spodoptera frugiperda*) se aplicó Dipterex (Triclorfón) 10 kg ha⁻¹ durante la etapa de floración. Las aplicaciones durante el primer año fueron en las fechas del 4, 11 y 26 de octubre y el 2 de noviembre del 2016; para el segundo año fueron el 1, 8 y 25 de septiembre, 24 de octubre y 17 de diciembre del 2017.

Con la finalidad de mantener en campo las dos mejores plantas se realizó la eliminación de las plantas más débiles o deshije el 25 de octubre del 2016 en el primer año y el 18 de octubre en el segundo año. El control de malezas se realizó con herbicida Atrazina con dosis de 1.8 kg/ha. En el primer año de siembra se aplicó en las fechas del 27 de septiembre de 2016, 16 de noviembre de 2016 y 19 de enero de 2017; se realizó un deshierbe el 10 de octubre de 2016. Para la segunda campaña las aplicaciones fueron realizadas el 3 de octubre y el 11 de diciembre del 2017

El riego fue realizado por gravedad y aplicado según las condiciones climáticas ya que a mayor sequía fue menor la frecuencia, con la finalidad de mantener el suelo a capacidad de campo. Durante toda la etapa del cultivo se realizaron ocho riegos en el primer año y 15 riegos en el segundo año siendo más importante durante la floración y el llenado de grano.

Todos los riegos fueron importantes, pero durante el desarrollo de polen, aparición del estigma y llenado del grano son considerados períodos críticos por ello el riego durante los meses de noviembre y diciembre fueron constantes, con intervalos de aplicación de siete días. La cosecha fue realizada manualmente separando los genotipos para su posterior evaluación en las fechas del 13 de febrero de 2017 para la primera campaña y el 2 de febrero de 2018 para la segunda campaña

3.4. Variables a evaluar

Después de realizar el etiquetado para la identificación de los genotipos, fueron evaluadas las siguientes variables:

a. Altura de planta (Aplt)

Esta observación, fue realizada después de la floración, donde, se midió la altura desde el cuello de la planta hasta el punto de unión de la hoja bandera con el tallo. Fueron consideradas diez plantas al azar dentro de cada unidad experimental.

b. Altura de la mazorca (Amz)

Esta medición fue tomada desde el cuello de la planta hasta el nudo de inserción de la mazorca superior en el tallo de la planta. Fueron consideradas diez plantas al azar dentro de cada unidad experimental.

c. Días a la floración masculina (Fmas)

Se determinó el número de días, desde la siembra hasta la aparición de la flor masculina, cuando se observó más del 50% de la emisión del polen.

d. Días a la floración femenina (Ffem)

Se determinó el número de días, desde la siembra hasta la aparición de la flor femenina cuando se observó más del 50 % de la emisión del estigma.

e. Rendimiento de grano (Rto)

Se contabilizó el número de plantas existentes en cada unidad experimental al momento de la cosecha. Como factor de ajuste por planta faltante (Ff) se aplicó la siguiente expresión:

$$Ff = [N^{\circ} \text{ de plantas} - 0.3 (N^{\circ} \text{ de plantas faltantes})] / [N^{\circ} \text{ de plantas} - N^{\circ} \text{ de plantas faltantes}]$$

Para determinar el contenido de humedad de los granos de maíz cosechados se usó un medidor de humedad, utilizando 300 gramos del grano, obtenidos de tres hileras de una muestra de diez mazorcas para cada unidad experimental. Para ajustar la humedad al 14% se utilizó la siguiente expresión (Fh).

$$Fh = [100 - \% \text{ de humedad del peso a la cosecha}]/[100-14]$$

Se determinó el peso en campo (P.C.) del total de las mazorcas en cada unidad experimental. El porcentaje de desgrane (D) fue determinado mediante la siguiente expresión:

$$D = [\text{peso de grano}]/ [\text{peso de mazorca}]$$

Finalmente se aplicó la siguiente expresión para determinar el rendimiento en kg ha^{-1}

$$\text{Rdto (kg ha}^{-1}\text{)} = [10000 \text{ m}^2/\text{Área parcela}] \times 0.971 \times \text{Ff.} \times \text{Fh} \times \text{P.C.} \times \text{D} \quad \text{Donde:}$$

0.971 = Constante de efecto de borde

3.5. Diseño experimental

El diseño experimental utilizado fue látice cuádruple 5x5, donde los genotipos correspondieron al modelo I o fijo, debido a que las líneas fueron seleccionadas mediante un probador de base genética estrecha.

El modelo aditivo lineal que se utilizó para el análisis de varianza fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + R_k + \tau_i + \text{Bl}_{j(k)} + \varepsilon_{ijk} \quad \text{Donde:}$$

Y_{ijk} : Observación del genotipo i -ésimo, del j -ésimo bloque incompleto dentro de la k -ésima repetición.

μ : Es la media general del experimento.

R_k : Efecto de la repetición k -ésima.

τ_i : Efecto del i -ésimo genotipo.

$BI_{j(k)}$: Efecto del j-ésimo bloque incompleto dentro de la k-ésima repetición.

ε_{ijk} : Es el efecto residual intra BI o error intra bloque incompleto, que se considera que está normal e independientemente distribuido con media cero y varianza σ_e^2 .

Tabla 5. Análisis de variancia individual del diseño de látice cuádruple 5 x 5

Fuente de variación		Grados de libertad (GL)
Repetición	$r - 1$	3
Genotipos (sin ajustar)	$k^2 - 1$	24
Bloques incompletos (ajustados)	$r(k - 1)$	16
Error intra bloques	$(k - 1)(rk - k - 1)$	56
Total	$rk^2 - 1$	99

El análisis de variancia combinado fue realizado después de la prueba de homogeneidad de varianza de los errores, considerando fijo a los genotipos y aleatorio a las campañas (años).

El modelo aditivo lineal utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ijkm} = \mu + A_m + R_{k(m)} + \tau_i + (\tau A)_{im} + BI_{j(km)} + \varepsilon_{ijkm} \quad \text{Donde:}$$

Y_{ijkm} : Observación del genotipo i-ésimo, del j-ésimo bloque incompleto dentro de la k-ésima repetición del m-ésimo año.

μ : Media general del experimento

A_m : Efecto del m-ésimo año.

$R_{k(m)}$: Efecto de la k-ésima repetición en el m-ésimo año.

τ_i : Efecto del i-ésimo tratamiento o genotipo.

$(\tau A)_{im}$: Efecto de la interacción entre el i-ésimo genotipo al m-ésimo año.

$BI_{j(km)}$: Efecto del j-ésimo bloque incompleto de la k-ésima repetición al m-ésimo año.

ε_{ijkm} : Es el efecto residual intra BI o error intra bloque incompleto asociado a la Y_{ijkm} observación.

Tabla 6. Fuente de variación del análisis combinado del diseño de látice cuádruple 5 x 5

Fuente de variación	Grados de libertad (GL)	
Años (A)	$a - 1$	1
Repeticiones/A	$a(r - 1)$	6
Genotipos sin ajustar (G)	$k^2 - 1$	24
AxG	$(a - 1)(k^2 - 1)$	24
Bloques incompletos (ajustados)/A	$ar(k - 1)$	32
Error intra bloques conjuntos	$a(k - 1)(rk - k - 1)$	112
Total	$ark^2 - 1$	199

La comparación de medias fue realizada con la prueba de diferencia mínima significativa (DMS).

3.5.1. Diseño genético

Se usó el método II propuesto por Griffing (1956), donde, los progenitores (p) y el conjunto de las F1 fueron incluido, sin considerar las cruzas recíprocas. El cruce dialélico del método II se da por $p(p + 1)/2$ genotipos diferentes, tal como se muestra en la Tabla 7. En total fueron incluidas seis líneas endogámicas provenientes del CIMMYT y sus cruzas directas (15 genotipos), lo que resultó en 21 genotipos.

Tabla 7. Cruzamientos dialélicos, obtenidos a partir de seis líneas progenitoras del CIMMYT

Progenitores (p)	Progenitores (p)					
	1	2	3	4	5	6
1	1	1x2	1x3	1x4	1x5	1x6
2		2	2x3	2x4	2x5	2x6
3			3	3x4	3x5	3x6
4				4	4x5	4x6
5					5	5x6
6						6

Tabla 8. Análisis de varianza para el sistema de cruzamientos dialélicos, método II, propuesto por Griffing (1956), mostrando los esperados cuadrados medios para los supuestos del modelo I

Fuente de variación	Grados de libertad	Esperados cuadrados medios
		Modelo I
Repetición	$r - 1$	
Genotipos	$g - 1$	
HCG	$p - 1$	$\sigma_e^2 + r \sum \text{HCG}^2 / \text{GL}_{\text{HCG}}$
HCE	$p(p - 1)/2$	$\sigma_e^2 + r \sum \text{HCE}^2 / \text{GL}_{\text{HCE}}$
Error intra bloques	$(k - 1)(k^2 - 1)$	σ_e^2

HCG = Habilidad combinatoria general, HCE = Habilidad combinatoria específica

Para el modelo I, la ecuación matemática para el análisis de habilidad combinatoria fue:

$$x_{ij} = \mu + g_i + g_j + s_{ij} + \frac{1}{bc} \sum_k \sum_l e_{ijkl} \quad \text{Donde:}$$

μ : Es la media de la población

x_{ij} : es el efecto del genotipo ij

g_i : es la HCG efecto del i-ésimo parental

g_j : es la HCG efecto del j-ésimo parental

s_{ij} : es la HCE vigente para el cruce entre el i-ésimo y j-ésimo parenta

Tabla 9. Análisis de varianza combinado para años, del sistema de cruzamientos dialélicos para el método II propuesto por Griffing (1956), mostrando los esperados cuadrados medios

Fuente de variación	Grados de libertad	Esperados cuadrados medios
		Modelo mixto
Años (A)	$a - 1$	$\sigma_e^2 + r\sigma_A^2$
HCG	$p - 1$	$\sigma_e^2 + r\sigma_{\text{HCG}^*A}^2 + ra \sum \text{HCG}^2 / \text{GL}_{\text{HCG}}$
HCE	$p(p - 1)/2$	$\sigma_e^2 + r\sigma_{\text{HCE}^*A}^2 + ra \sum \text{HCE}^2 / \text{GL}_{\text{HCE}}$
HCG*A	$(p - 1)(a - 1)$	$\sigma_e^2 + r\sigma_{\text{HCG}^*A}^2$
HCE*A	$[p(p - 1)/2][a - 1]$	$\sigma_e^2 + r\sigma_{\text{HCE}^*A}^2$
Error conjunto	M	σ_e^2

Los efectos de la HCG de cada parental fueron estimados de la siguiente manera:

$$\hat{g}_i = \bar{y}_i - \bar{y}_{..}$$

$$\hat{g}_j = \bar{y}_{.j} - \bar{y}_{..}$$

Para los efectos de la HCE fue estimada de la siguiente manera:

$$\hat{S}_{ij} = \bar{y}_{ij} - \bar{y}_i - \bar{y}_{.j} - \bar{y}_{..}$$

Dónde:

\hat{g}_i : es el efecto HCG del i-ésimo genotipo parental \hat{g}_j : es el efecto HCG del j-ésimo genotipo parental

\hat{S}_{ij} : es la HCE vigente para el cruce entre el i-ésimo y j-ésimo genotipo parental

\bar{y}_{ij} : Promedio observado del resultado de la cruce entre el i-ésimo genotipo al j-ésimo genotipo.

\bar{y}_i : Promedio observado de todos los genotipos donde interviene el i-ésimo genotipo parental.

$\bar{y}_{.j}$: Promedio observado de todos los genotipos donde interviene el j-ésimo genotipo parental.

$\bar{y}_{..}$: Promedio observado de todos los genotipos resultantes de la cruza entre parentales.

La importancia relativa de HCG y HCE fue evaluada con la fórmula siguiente, propuesta por Baker (1978):

$$\frac{[2 * CM_{HCG}]}{[2 * CM_{HCG} + CM_{HCE}]}$$

Donde,

CM_{HCG} = Cuadrado medio de habilidad combinatoria general

CM_{HCE} = Cuadrado medio de habilidad combinatoria específica

Valores de la relación HCG:HCE cercanos a uno, indican mayor predisposición de los genotipos para basar su comportamiento a los efectos de HCG.

3.5.2. Heterosis

La heterosis fue estimada como sigue:

a. Heterosis con respecto al promedio de los progenitores (h)

Es la relación entre el valor promedio de cada una de las F1 y el promedio de los dos progenitores (P_m), expresado en porcentaje.

$$h = [(F_1 - P_m)/P_m] \times 100$$

Donde,

$$P_m = (P_i + P_j)/2 \text{ y}$$

F_1 = primera generación de la cruce

b. Heterosis con respecto al progenitor superior (h')

Es la relación entre el valor promedio de cada uno de las F1 y el promedio del progenitor superior (P_s), expresado en porcentaje.

$$h' = [(F_1 - P_s)/P_s] \times 100$$

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Análisis de varianza combinado

El análisis de varianza combinado para altura de planta (Aplt), altura de mazorca (Amz), días a la floración masculina (Fmas), días a la floración femenina (Ffem) y rendimiento de grano (Rto) se encuentra en la Tabla 10. Se puede observar que hubo diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) en años para las variables altura de planta, días a la floración masculina y días a la floración femenina, lo que indica que el comportamiento de estas variables fue diferente en cada año; para rendimiento de grano y altura de la mazorca no hubo diferencia estadística.

Tabla 10. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para altura de planta en cm (Aplt), altura de la mazorca en cm (Amz), días a la floración masculina (Fmas), días a la floración femenina (Ffem) y rendimiento de grano en $t\ ha^{-1}$ (Rto).

Fuente de Variación	GL	Aplt	Amz	Fmas	Ffem	Rto
Años (A)	1	18620.64 **	219.66	9045.13 **	9004.82 **	0.32
Repeticiones/años	6	1189.70 **	813.50 **	12.05 **	13.30	2.45 *
Genotipos (s.aj.) (G)	24	8876.19 **	3875.35 **	52.90 **	61.77 **	41.46 **
G x A	24	423.45	127.34	4.90 **	12.84 *	2.18 **
BI (ajustados)/A	32	929.13	253.91	3.02	7.92	2.07
Error Intra Bloque conjunto	112	311.65	79.79	1.33	7.33	1.02
Promedio	–	173.92	88.22	91.67	94.25	5.738
C.V. (%)	–	10.2	10.1	1.3	2.9	17.6

** = altamente significativo ($P \leq 0.01$), * = significativo ($P \leq 0.05$), F.V. = fuente de variación, BI = bloques incompletos, CV (%) = coeficiente de variación en porcentaje, GL = grados de libertad,

Los genotipos tuvieron diferencias altamente significancias ($P \leq 0.01$) en todas las variables. La interacción genotipos x años tuvo diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) en rendimiento de grano, días a la floración masculina y días a la floración femenina, por lo que los promedios de dichas variables fueron analizados en cada año, mientras que

en altura de planta y altura de la mazorca no hubo diferencia estadística, por tanto, las observaciones de los promedios de dichas variables se realizaron en promedio de años.

El mayor coeficiente de variación presentó la variable rendimiento de grano (17.6%), seguido de altura de planta (10.2 %), altura de la mazorca (10.1 %), días a la floración femenina (2.9 %) y días a la floración masculina (1.3 %), en relación a esto López et al. (2017) sugieren que un coeficiente de variación menor del 20% puede considerarse como aceptable de la variabilidad del error experimental.

Al encontrarse significación estadística en la interacción genotipos por años nos indica que los genotipos tienen un comportamiento diferente en cada año. Al respecto Silva et al. (2009) indican que puede ser debido a las diferencias en el origen genético de las líneas, además del efecto de las condiciones climáticas durante el desarrollo del cultivo, también mencionan que las variables estudiadas en esta investigación son aquellas que tendrán impacto directo con los híbridos además de hacer aceptable a las líneas parentales.

4.1.1. Altura de planta

En la Tabla 11 se encuentra el análisis de varianza para altura de planta, donde se puede observar que, para repeticiones durante el primer año hubo diferencias significativas ($P \leq 0.05$) y para el segundo año las diferencias fueron altamente significativas ($P \leq 0.01$); para genotipos las diferencias fueron altamente significativas ($P \leq 0.01$) en ambos años. El coeficiente de variación fue de 12.8 % en el primer año y 5.0 % en el segundo año

La comparación de medias para altura de planta en promedio de años, se puede observar en la tabla 12. Los valores variaron entre 99 a 232 cm. Tomando en cuenta que una menor altura de planta es deseable, las cruzas con esta característica fueron 1x6 (158 cm), 2x6 (171 cm), 4x6 (172 cm) y 3x6 (177 cm), todos estadísticamente diferentes según DMS ($P \leq 0.05$) y superados por los testigos comerciales. Estos resultados coinciden con lo obtenido por García y Watson (2003) donde el mejor genotipo identificado ante el acame de raíz no superó los 182 cm de altura.

Tabla 11. Cuadrados medios del análisis de varianza para altura de planta en centímetros (Aplt) durante el primer y segundo año

Fuente de variación	GL	Primer año	Segundo año
Repeticiones	3	1959.28 *	420.12 **
Genotipos (sin ajustar)	24	4615.07 **	4684.57 **
BI (ajustados)	16	1461.60	396.66
Error Intra Bloque	56	556.03	67.27
Promedio	–	183.60	164.30
C.V. (%)	–	12.8	5.0

** = altamente significativo ($P \leq 0.01$), * = significativo ($P \leq 0.05$), BI = bloques incompletos, C.V. (%) = coeficiente de variación en porcentaje, GL = grados de libertad

Tabla 12. Comparación de medias según DMS para altura de planta en centímetros (Aplt) del análisis combinado

Genotipos	Aplt (cm)			Genotipos	Aplt (cm)		
	Año 1	Año 2	Promedio		Año 1	Año 2	Promedio
T2	233	231	232	2 x 4	185	165	175
3 x 5	233	199	216	4 x 6	188	155	172
T1	203	202	203	2 x 6	179	163	171
1 x 2	203	195	199	1 x 6	163	153	158
2 x 3	219	178	199	5	164	139	152
4 x 5	209	187	198	3	157	124	141
1 x 5	213	174	194	1	137	122	130
2 x 5	197	188	193	2	129	125	127
1 x 4	195	188	192	4	122	102	112
T3	201	175	188	6	120	77	99
T4	187	186	187	Min	233	231	99
3 x 4	179	182	181	Max	120	77	232
5 x 6	195	166	181	DMS ($P \leq 0.05$)	35.63	12.71	19.36
3 x 6	192	162	177	DMS ($P \leq 0.01$)	47.42	16.91	27.55
1 x 3	183	169	176				

DMS = diferencia mínima significativa, 1 = CML-226, 2 = CML-229, 3 = CML-428, 4 = CML-453, 5 = CML-486, 6 = CML-487, T1 = PM-213, T2 = EXP-05, T3 = DK-7088, T4 = H5070

Las cruzas con menor y mayor altura de planta fueron 1x6 (158 cm) y 3x5 (216 cm) respectivamente, al respecto Chura y Tejada (2014) al estudiar híbridos de maíz en la localidad de La Molina obtuvieron plantas de maíz con alturas de 132 a 181 cm y mencionan que es posible aumentar la densidad de siembra para compensar los bajos rendimientos en el caso de plantas de porte bajo y lo contrario en plantas de porte alto con buenos rendimientos. Las líneas parentales fueron de porte más bajo en comparación a sus cruzas, debido a que la depresión endogámica juega un papel importante. Esta variable tiene gran influencia en el crecimiento y rendimiento del maíz (Zhang et al. 2006) y además del factor genético también puede ser afectada por el tipo de suelo y la conducción del cultivo (Somarriba 1997, citado por Chichipe y Oliva 2017).

4.1.2. Altura de la mazorca

El análisis de varianza para la altura de la mazorca se puede observar en la Tabla 13. Hubo diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) para repeticiones durante el primer año y no significativas para el segundo año. Hubo diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) para genotipos en ambos años. El coeficiente de variación fue de 12.3 % para el primer año y 7.2 % para el segundo año.

Tabla 13. Cuadrados medios del análisis de varianza para altura de la mazorca en centímetros (Amz) durante el primer y segundo año

Fuente de variación	GL	Primer año	Segundo año
Repeticiones	3	1542.51 **	84.84
Genotipos (sin ajustar)	24	1742.24 **	2260.45 **
BI (ajustados)	16	310.17	197.65
Error Intra Bloque	56	119.94	39.64
Promedio	–	89.3	87.2
C.V. (%)	–	12.3	7.2

** = altamente significativo ($P \leq 0.01$), * = significativo ($P \leq 0.05$), BI = bloques incompletos, C.V. (%) = coeficiente de variación en porcentaje, GL = grados de libertad

En promedio de años de todos los genotipos, según el análisis combinado para altura de la mazorca fue entre 43 y 138 cm, siendo las cruzas de menor altura 1x6 (82 cm), 2x6 (85 cm), 3x6 (89 cm) y 5x6 (89 cm), todas estadísticamente iguales según DMS ($P \leq 0.05$) (Tabla 14). En particular, las cruzas obtuvieron valores de 82 a 106 cm, resultados que coinciden con

De la Cruz et al. (2010), quienes en estudios similares obtuvieron cifras entre 76 a 104 cm que a su vez se encuentra dentro del límite propuesto por Guzmán et al. (2017), quienes consideran que, en la selección de materiales de maíz, no debería sobrepasar los 125 cm en programas de mejoramiento genético en los trópicos. La mazorca se ubicó a 0.52 de la altura de la planta en promedio de las cruzas, esto coincide con Souza Jr et al. (2010) quienes en estudios similares obtuvieron la misma ubicación de la mazorca. Murtza et al. (2014) sugieren que la ubicación de la mazorca en medio del tallo es un rasgo que se debe considerar como criterio en la selección para mejorar la productividad del grano de maíz.

Tabla 14. Comparación de medias según DMS para altura de la mazorca en centímetros (Amz) del análisis combinado

Genotipos	Amz (cm)			Genotipos	Amz (cm)		
	Año 1	Año 2	Promedio		Año 1	Año 2	Promedio
T3	131	144	138	T2	90	89	90
T1	118	119	119	3 x 6	90	88	89
4 x 5	107	105	106	2 x 6	86	83	85
3 x 5	103	105	104	1 x 6	87	77	82
1 x 4	99	102	101	5	65	67	66
2 x 4	102	96	99	3	70	55	63
3 x 4	99	99	99	2	56	60	58
2 x 5	98	98	98	1	59	53	56
T4	98	97	98	4	60	49	55
1 x 2	90	101	96	6	47	38	43
1 x 5	97	93	95	Min	47	38	43
2 x 3	102	86	94	Max	131	144	138
4 x 6	98	90	94	DMS ($P \leq 0.05$)	16.54	9.70	9.82
1 x 3	89	93	91	DMS ($P \leq 0.01$)	22.01	12.91	13.97
5 x 6	87	92	90				

DMS = diferencia mínima significativa, 1 = CML-226, 2 = CML-229, 3 = CML-428, 4 = CML-453, 5 = CML-486, 6 = CML-487, T1 = PM-213, T2 = EXP-05, T3 = DK-7088, T4 = H5070

4.1.3. Días a la floración masculina

En la Tabla 15 se observa el análisis de varianza para días a la floración masculina. Para repeticiones hubo diferencia altamente significativa ($P \leq 0.01$) durante el primer año y para el segundo año hubo diferencia significativa ($P \leq 0.05$).

Tabla 15. Cuadrados medios del análisis de varianza para días a la floración masculina (Fmas) durante el primer y segundo año

Fuente de variación	GL	Primer año	Segundo año
Repeticiones	3	18.60 **	5.50 *
Genotipos (sin ajustar)	24	22.42 **	35.38 **
BI (ajustados)	16	2.40	3.64
Error Intra Bloque	56	1.24	1.43
Promedio	–	84.9	98.4
C.V. (%)	–	1.3	1.2

** = altamente significativo ($P \leq 0.01$), * = significativo ($P \leq 0.05$), BI = bloques incompletos, C.V. (%) = coeficiente de variación en porcentaje, GL = grados de libertad

Para genotipos hubo diferencias altamente significativas en ambos años. El coeficiente de variación fue menor de 1.4 % en ambos años.

En la Tabla 16 se puede observar que los progenitores tuvieron mayor número de días a la floración masculina en comparación a sus cruzas al igual que los testigos. Las cruzas 4x6, 5x6, 2x3, 3x6 y 2x6 fueron estadísticamente iguales según DMS ($P \leq 0.05$) durante el primer año e incluido 1x6 en el segundo año y presentaron el menor número de días a la floración masculina.

Los días a la floración masculina oscilaron entre 81 a 89 días en el primer año y 94 a 104 días en el segundo año. Valores superiores a los observados por De la Cruz et al. (2010), quienes obtuvieron 60,8 y 63,8 días a la floración masculina para maíces precoces en progenitores y cruzas. Esto indica que las cruzas de esta investigación son de tipo tardía. Silva et al. (2009) mencionan que el avanzado proceso de endogamia en varias líneas entre ellas algunas provenientes del CIMMYT provoca que sean más tardías.

Tabla 16. Comparación de medias según DMS para días a la floración masculina (Fmas) durante el primer y segundo año

Primer año				Segundo año			
Genotipos	Fmas	Genotipos	Fmas	Genotipos	Fmas	Genotipos	Fmas
T2	89	1x3	84	4	104	3x5	98
5	88	1x5	84	5	103	3	97
4	88	2x5	84	T1	103	1x2	96
T1	87	1x6	83	T2	103	1x3	96
T4	87	3x5	83	1	101	1x6	95
1	87	4x6	83	2	101	2x3	95
1x4	87	5x6	82	2x4	100	4x6	95
2	87	2x3	82	6	100	5x6	95
T3	86	3x6	81	T3	100	2x6	94
3x4	86	2x6	81	T4	100	3x6	94
2x4	85	Min	81	1x4	99	Min	94
1x2	85	Max	89	4x5	99	Max	104
3	85	DMS ($P \leq 0.05$)	1.66	1x5	98	DMS ($P \leq 0.05$)	1.8
6	84	DMS ($P \leq 0.01$)	2.21	2x5	98	DMS ($P \leq 0.01$)	2.4
4x5	84			3x4	98		

DMS = diferencia mínima significativa, 1 = CML-226, 2 = CML-229, 3 = CML-428, 4 = CML-453, 5 = CML-486, 6 = CML-487, T1 = PM-213, T2 = EXP-05, T3 = DK-7088, T4 = H5070

4.1.4. Días a la floración femenina

En la Tabla 17 se observa el análisis de varianza para días a la floración femenina. Para repeticiones hubo diferencia altamente significativa ($P \leq 0.01$) durante el primer año y para el segundo año no hubo diferencia estadística. Para genotipos hubo diferencias altamente significativas en ambos años. El coeficiente de variación fue menor de 1.6 % en el primer año y 3.5 % en el segundo año.

En la Tabla 18 se puede observar los valores para días a la floración femenina. En el primer año, fueron de 84 a 93 días y en el segundo año de 96 a 109 días, siendo los genotipos de menores cifras las cruzas 3x6, 3x5 y 5x6 con 84 días cada una durante el primer año y 97, 99 y 96 días respectivamente durante el segundo año. Los genotipos mencionados fueron estadísticamente iguales según DMS ($P \leq 0.05$) en el primer y segundo año.

Tabla 17. Cuadrados medios del análisis de varianza para días a la floración femenina (Ffem) durante el primer y segundo año

Fuente de variación	GL	Primer año	Segundo año
Repeticiones	3	17.72 **	8.88
Genotipos (sin ajustar)	24	29.85 **	44.76 **
BI (ajustados)	16	3.74	12.09
Error Intra Bloque	56	1.85	12.81
Promedio	–	87.5	101.0
C.V. (%)	–	1.6	3.5

** = altamente significativo ($P \leq 0.01$), * = significativo ($P \leq 0.05$), BI = bloques incompletos, C.V. (%) = coeficiente de variación en porcentaje, GL = grados de libertad

Tabla 18. Comparación de medias según DMS para días a la floración femenina (Fmas) durante el primer y segundo año

Primer año				Segundo año			
Genotipos	Ffem	Genotipos	Ffem	Genotipos	Ffem	Genotipos	Ffem
T2	93	1x3	86	4	109	3	100
4	91	4x5	86	2	107	3x5	99
T4	91	1x5	86	T1	107	1x2	98
2	91	1x6	85	5	104	1x3	98
5	91	2x6	85	6	104	1x6	98
T1	90	2x3	85	T4	104	4x6	98
3x4	90	4x6	84	1	103	T2	98
1	89	5x6	84	2x4	102	2x6	97
1x4	89	3x5	84	3x4	102	3x6	97
T3	89	3x6	84	T3	102	5x6	96
2x4	88	Min	84	1x4	101	Min	96
1x2	88	Max	93	2x3	101	Max	109
3	87	DMS ($P \leq 0.05$)	2.03	1x5	100	DMS ($P \leq 0.05$)	5.05
6	87	DMS ($P \leq 0.01$)	2.70	2x5	100	DMS ($P \leq 0.01$)	6.70
2x5	86			4x5	100		

DMS = diferencia mínima significativa, 1 = CML-226, 2 = CML-229, 3 = CML-428, 4 = CML-453, 5 = CML-486, 6 = CML-487, T1 = PM-213, T2 = EXP-05, T3 = DK-7088, T4 = H5070

La diferencia entre años puede deberse a la variación de temperatura pues en el primero fue de 20.7 °C y en el segundo 18.4 °C. Estos resultados concuerdan con lo obtenido por Martínez (2016), donde la floración femenina fue en promedio 109 días y atribuye dicho efecto tardío a las temperaturas bajas presentes en el lugar del experimento.

Muchas cruzas fueron más precoces que sus progenitores pues las líneas al igual que los testigos tuvieron los valores más altos para esta variable. Arellano et al. (2013) mencionan que días a la floración femenina de 97 a 100 días son de tipo intermedio a tardío, en este sentido se puede observar que en el primer año ninguno de los genotipos supera los valores indicados, contrario a lo ocurrido en el segundo año.

4.1.5. Rendimiento de grano

En la Tabla 19 es posible observar el análisis de varianza para rendimiento de grano. Para la fuente de variación de repeticiones no hubo diferencia estadística en ninguno de los años de estudio. Para genotipos la diferencia fue altamente significativa ($P \leq 0.01$) en ambos años. El coeficiente de variación fue de 19.1 % para el primer año y 16.0 % para el segundo año.

Tabla 19. Cuadrados medios del análisis de varianza para rendimiento de grano en $t\ ha^{-1}$ (Rto) durante el primer y segundo año

Fuente de variación	GL	Primer año	Segundo año
Repeticiones	3	3.33	1.57
Genotipos (sin ajustar)	24	19.66 **	24.4 **
BI (ajustados)	16	2.36	1.77
Error Intra Bloque	56	1.21	0.84
Promedio	–	5.8	5.7
C.V. (%)	–	19.1	16.0

** = altamente significativo ($P \leq 0.01$), * = significativo ($P \leq 0.05$), BI = bloques incompletos, C.V. (%) = coeficiente de variación en porcentaje, GL = grados de libertad

En la Tabla 20 se puede observar la comparación de medias para rendimiento de grano. Los resultados mostraron un rango entre 0.490 a 8.166 $t\ ha^{-1}$ para el primer año y 0.448 a 10.190 $t\ ha^{-1}$ para el segundo año. El promedio de rendimiento en el primer año para las cruzas fue de 6.808 $t\ ha^{-1}$ y en el segundo año fue de 6.522 $t\ ha^{-1}$. Para los testigos fue de 7.115 $t\ ha^{-1}$ en el primer año y 8.371 $t\ ha^{-1}$ para el segundo año. Resultado comparable con lo obtenido

por Guzmán et al. (2017), donde señalan que los testigos provienen de “progenitores altamente homocigóticos y de grupos heteróticos contrastantes” por ello la causa de la superioridad en rendimiento frente a las cruzas.

En el primer año, las cruzas que obtuvieron mayor rendimiento fueron 4x5 (8.266 t ha⁻¹), 3x5 (8.088 t ha⁻¹), 3x4 (7.858 t ha⁻¹) y 1x4 (7.574 t ha⁻¹), superadas únicamente por T3 (8.266 t ha⁻¹), Para el segundo año la cruza 4x5 (8.124 t ha⁻¹) fue la que obtuvo mayor rendimiento, superada únicamente por el testigo T3 (10.190 t ha⁻¹), todas las demás fueron superadas por los testigos comerciales. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Lijarza (2017), pues al comparar híbridos triples, involucra a las líneas 4 y 5 entre las de mayor rendimiento y la línea 2 la de menor rendimiento.

Tabla 20. Comparación de medias según DMS para rendimiento de grano en t ha⁻¹ (Rto) durante el primer y segundo año

Primer año				Segundo año			
Genotipos	Rto	Genotipos	Rto	Genotipos	Rto	Genotipos	Rto
T3	8.266	T2	6.395	T3	10.190	5 x 6	6.235
4 x 5	8.109	2 x 5	6.361	4 x 5	8.124	2 x 4	5.923
3 x 5	8.088	1 x 2	5.858	T1	7.916	2 x 3	5.291
3 x 4	7.858	2 x 6	4.894	T2	7.700	2 x 6	4.902
1 x 4	7.574	3	4.243	T4	7.676	1	2.594
T4	7.361	5	2.714	3 x 5	7.441	5	2.557
3 x 6	6.913	6	2.454	1 x 2	6.870	3	2.523
4 x 6	6.872	1	2.445	1 x 4	6.870	4	2.171
1 x 3	6.743	2	1.413	2 x 5	6.789	2	0.831
2 x 3	6.737	4	0.49	3 x 4	6.729	6	0.448
1 x 5	6.693	Min	0.490	1 x 6	6.718	Min	0.448
2 x 4	6.552	Max	8.266	1 x 3	6.622	Max	10.190
1 x 6	6.454	DMS (P≤ 0.05)	1.64	3 x 6	6.475	DMS (P≤ 0.05)	1.37
T1	6.437	DMS (P≤ 0.01)	2.19	4 x 6	6.463	DMS (P≤ 0.01)	1.82
5 x 6	6.413			1 x 5	6.383		

DMS = diferencia mínima significativa, 1 = CML-226, 2 = CML-229, 3 = CML-428, 4 = CML-453, 5 = CML-486, 6 = CML-487, T1 = PM-213, T2 = EXP-05, T3 = DK-7088, T4 = H5070

Las mismas líneas que formar el genotipo 4x5 presentan mayor rendimiento en esta investigación, contrariamente la línea 2 al cruzarse con otras líneas forma genotipos de menor rendimiento. Como era de esperarse los progenitores fueron los que obtuvieron los rendimientos más bajos.

4.2. Análisis de habilidad combinatoria

En la Tabla 21 se puede observar el análisis de varianza para habilidad combinatoria, para las variables en estudio. En la fuente de variación de años tuvieron diferencias altamente significativas ($P \leq 001$) altura de planta, días a la floración masculina y días a la floración femenina, mientras que en rendimiento de grano hubo diferencia significativa ($P \leq 0.05$) y no hubo diferencia estadística para altura de la mazorca. Estos resultados se pueden comparar con lo obtenido por De la Cruz et al. (2010) pues al obtener diferencias estadísticas en fechas de siembra, mencionan que el comportamiento de las cruzas es diferente en cada fecha. Guerrero et al. (2014), al obtener diferencias estadísticas en localidades, recalca la importancia de realizar el experimento en más ambientes. Por lo obtenido en este estudio se puede deducir la importancia de realizar este experimento en un mayor número de años.

Los genotipos tuvieron diferencias altamente significativas ($P \leq 001$) en todas las variables, al respecto Gutiérrez et al. (2002), De la Cruz et al. (2010), Arellano et al. (2013), Guerrero et al. (2014), Guzmán et al. (2017) al obtener respuestas similares mencionan que este resultado puede deberse a la diversidad genética de los genotipos utilizados.

Todas las variables tuvieron diferencias altamente significativas ($P \leq 001$) para HCG, excepto rendimiento de grano que fue significativa ($P \leq 005$). Todos los genotipos tuvieron diferencias altamente significativas ($P \leq 001$) en todas las variables para HCE, al respecto Souza Jr et al. (2010) al analizar la habilidad combinatoria en cruzas simples de maíz obtuvieron significancia estadística para HCG y HCE y mencionan la presencia de genes aditivos y no aditivos, por tanto, se deduce la presencia de dichos genes en este estudio.

Para la interacción genotipos por años es posible observar que las variables días a la floración masculina y femenina tuvieron diferencias altamente significativas ($P \leq 001$), mientras que el resto de variables no mostraron diferencias estadísticas, estudios similares son comparables con este resultado (Pérez et al. 2014; Cervantes et al. 2018). La condición

homogénea de las cruzas simples provoca que exista mayor interacción en años o ambientes al ser comparado con híbridos trilineales y dobles (Rowe y Andrew 1964 y Hallauer et al. 2010, citados por Pérez et al. 2014).

La interacción de HCG por años tuvo diferencia altamente significativas ($P \leq 001$) para días a la floración masculina y la interacción HCE por años tuvo diferencias altamente significativa ($P \leq 001$) en días a la floración femenina, estos resultados son comparables con lo obtenido por Manjarrez et al. (2014). La diferencia estadística de la interacción de HCG por años indica la importancia de los efectos aditivos, por tanto, para seleccionar los genotipos con mejor efecto de HCG es necesario que exista estabilidad a través de años (Sierra et al. 2011 y Palemón et al. 2012).

Tabla 21. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para habilidad combinatoria según el sistema de cruzamientos dialélicos por el método II de Griffing (1956) para las variables altura de plantas en cm (Aplt), altura de la mazorca en cm (Amz), días a la floración masculina (Fmas), días a la floración femenina (Ffem) y rendimiento de grano en $t\ ha^{-1}$ (Rto)

Fuente de variación	GL	Aplt	Amz	Fmas	Ffem	Rto
Años (A)	1	19582.56 **	465.00	7480.01 **	7899.43 **	7.14 *
Repeticiones/A	6	1142.56 *	758.38 **	9.78 **	9.66 **	0.57
Genotipos (G)	20	8910.97 **	3206.43 **	42.65 **	58.86 **	42.24 **
HCG	5	7079.45 **	1445.52 **	65.60 **	78.75 **	12.15 *
HCE	15	9521.47 **	3793.40 **	35.00 **	52.23 **	52.28 **
G x A	20	352.67	108.97	5.31 **	6.97 **	0.98
HCG x A	5	394.64	123.26	7.12 **	6.61	1.71
HCE x A	15	338.69	104.20	4.70	7.09 **	0.74
Error conjunto	120	398.89	109.56	1.72	3.06	1.01
Media	–	169.04	84.15	91.07	93.77	5.382
CV	–	11.82	12.44	1.44	1.87	18.64
HCG:HCE		0.60	0.43	0.79	0.75	0.32

** = altamente significativo ($P \leq 0.01$), * = significativo ($P \leq 0.05$), HCG = habilidad combinatoria general, HCE = habilidad combinatoria específica, C.V. (%) = coeficiente de variación en porcentaje, GL = grados de libertad

Las variables con significancia estadística en la interacción genotipo por años, se analizaron en cada año y las que no mostraron significancia estadística son consideradas en promedio

de años. Estos resultados se entienden como una gran variación genética lo que permitirá que al cruzar dos líneas altamente contrastantes originen híbridos con capacidad heterótica (Musito 2000).

El coeficiente de variación fue más alto en rendimiento (18 %), seguido de altura de la mazorca (12.44 %), altura de la planta (11.82 %), días a la floración femenina (1.87 %) y días a la floración masculina (1.44 %).

En este estudio la contribución de la suma cuadrado de HCG a la variación fue variada a la presentada por la HCE, siendo para las diferentes variables los siguientes valores: días a la floración masculina (79 %) , días a la floración femenina (75 %) y altura de planta (60%) con mayor contribución de efectos aditivos que altura de la mazorca (43 %) y rendimiento de grano (32 %), más asociados a efectos no aditivos, este resultado es comparable con lo obtenido por Guzmán et al. (2017) donde mencionan que aquellos valores de HCG:HCE cercanos al cien por ciento, indican una mayor previsibilidad del comportamiento basado solamente en la HCG. La relación en proporción entre HCG y HCE muestra la acción génica para poder discriminar entre efectos aditivos o no aditivos (Antuna et al. 2003).

4.2.1. Altura de planta

El análisis de varianza para altura de planta para los efectos de habilidad combinatoria (Tabla 22), muestra que para repeticiones existió diferencia significativa ($P \leq 0.05$) para el primer año y no hubo diferencia estadística para el segundo año. Durante los dos años del ensayo hubo diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) para genotipos, HCG y HCE. El coeficiente de variación fue de 14.13 % para el primer año y 7.79 % para el segundo. La contribución de la suma cuadrados de HCG frente a la HCE fue de 54 % para el primer año y 67 % para el segundo año, por tanto los efectos de HCG fueron más importantes en esta variable.

Tabla 22. Cuadrados medios del análisis de varianza para habilidad combinatoria según el sistema de cruzamientos dialélicos para el método II, propuesto por Griffing (1956), durante el primer y segundo año para altura de planta en cm (Aplt)

Fuente de variación	GL	Primer año	Segundo año
Repeticiones	3	1857.59 *	457.53
Genotipos	20	5069.85 **	4193.79 **
HCG	5	3264.43 **	4209.65 **
HCE	15	5671.65 **	4188.51 **
Error	60	646.02	151.75
Promedio	–	180	158
C.V. (%)	–	14.13	7.79
HCG:HCE	–	0.54	0.67

** = altamente significativo ($P \leq 0.01$), * = significativo ($P \leq 0.05$), HCG = habilidad combinatoria general, HCE = habilidad combinatoria específica, C.V. (%) = coeficiente de variación en porcentaje, GL = grados de libertad

Los mayores efectos de HCG para altura de la planta en promedio de años (Tabla 23) fueron para las líneas 6 (-18.265) y 4 (-5.149), comparado con los resultados de HCG encontrados por Manjarrez et al. (2014) al hallar valores negativos menciona que dicha respuesta es deseable y lo contrario en líneas con valores de HCG positivas. Rodríguez et al. (2016) al encontrar efectos de HCG con valores negativos en líneas de maíz sugiere que dichas líneas dan lugar a menor altura de planta.

Tabla 23. Efectos de habilidad combinatoria general de seis líneas provenientes del CIMMYT para altura de planta (Aplt)

Altura de planta			
Genotipos	Primer año	Segundo año	Promedio
1	-0.112	3.242	1.565
2	-0.683	6.501	2.909
3	10.395	6.217	8.306
4	-5.952	-4.346	-5.149
5	11.582	9.685	10.634
6	-15.23	-21.299	-18.265

1 = CML-226, 2 = CML.229, 3 = CML-428, 4 = CML-453, 5 = CML-486, 6 = CML-487

Los efectos de HCE para altura de planta (Tabla 24) fueron positivos para todos los genotipos, donde la cruce 1x3 (1.966) obtuvo el valor más bajo. Este resultado difiere de lo obtenido por Guzmán et al. (2017) pues obtuvo un valor negativo de HCE (-9.73), efecto deseable para altura de planta. Los resultados obtenidos en esta investigación sugieren que las cruces tienden a ser de porte alto. Las cruces con efectos de HCE positivos fueron 1x4 (30.734), 1x2 (29.451), 3x5 (23.147) y 3x6 (21.321). Estos resultados indican que los genotipos están gobernados por genes no aditivos para cruces específicas. De la Cruz et al. (2010) mencionan que es conveniente obtener material de porte bajo.

Tabla 24. Efectos de habilidad combinatoria específica de 15 cruces para altura de planta (Aplt) en el análisis combinado

Altura de planta			
Genotipos	Primer año	Segundo año	Promedio
1 x 2	30.960	27.941	29.451
1 x 3	-4.868	8.800	1.966
1 x 4	33.179	28.288	30.734
1 x 5	28.820	10.056	19.438
1 x 6	18.882	18.216	18.549
2 x 3	33.079	5.141	19.110
2 x 4	15.176	14.903	15.040
2 x 5	2.517	19.447	10.982
2 x 6	12.704	19.056	15.880
3 x 4	5.348	21.413	13.381
3 x 5	25.563	20.731	23.147
3 x 6	21.876	20.766	21.321
4 x 5	21.785	16.719	19.252
4 x 6	27.723	9.528	18.626
5 x 6	14.813	12.622	13.718

1 = CML-226, 2 = CML.229, 3 = CML-428, 4 = CML-453, 5 = CML-486, 6 = CML-487

4.2.2. Altura de la mazorca

En la Tabla 25 se muestra el análisis de variancia para altura de la mazorca. Las fuentes de variación fueron altamente significativa ($P \leq 0.01$) para repeticiones, genotipos, HCG, HCE en ambos años excepto repeticiones que fue significativo ($P \leq 0.05$) en el segundo año. El

coeficiente de variación fue de 13.73 % para el primer año y 10.87 % para el segundo año. La contribución de HCG frente a la HCE fue de 38 % para el primer año y 49 % para el segundo año, por tanto se deduce que los efectos de HCE fueron más importantes en esta variable.

Tabla 25. Cuadrados medios del análisis de varianza para habilidad combinatoria según el sistema de cruzamientos dialélicos para el método II, propuesto por Griffing (1956), durante el primer y segundo año para altura de la mazorca en cm (Amz)

Fuente de variación	GL	Primer año	Segundo año
Repeticiones	3	1408.46 **	108.29
Genotipos	20	1586.76 **	1728.63 **
HCG	5	598.61 **	970.17 **
HCE	15	1916.15 **	1981.45 **
Error	60	138.76	80.35
Promedio	–	85.82	82.49
C.V. (%)	–	13.73	10.87
HCG:HCE	–	0.38	0.49

** = altamente significativo ($P \leq 0.01$), * = significativo ($P \leq 0.05$), HCG = habilidad combinatoria general, HCE = habilidad combinatoria específica, C.V. (%) = coeficiente de variación en porcentaje, GL = grados de libertad

Los mayores efectos negativos de HCG en promedio de años (Tabla 26) para altura de la mazorca fueron para las líneas 3 (3.092) y 5 (3.061) y los mayores efectos negativos fueron 6 (-9.369) y 1 (-0.190). Estos resultados son comparables con lo obtenido por Dzib et al. (2011) pues al realizar el análisis dialélico de poblaciones de maíz obtuvo efectos positivos y negativos para altura de la mazorca. Al respecto De la Cruz et al. (2010) al estudiar poblaciones de maíz también obtuvo efectos de HCG positivos y negativos y mencionan que dicha significancia contribuye a mayor o menor altura de la mazorca respectivamente.

No se encontraron efectos negativos de HCE en las cruzas (Tabla 27) que sugieran que existan genotipos con aptitud para menor altura de mazorca. Sin embargo, en promedio de años los mayores efectos positivos fueron 1x4 y 2x4 con valores de 18.519 y 14.664 respectivamente. El genotipo 1x3 (4.881) fue el que obtuvo el menor efecto, similar a lo encontrado por Gallegos et al. (2015) pues encontró efectos significativos positivos de HCE para todas las cruzas de maíz. Dzib et al. (2011) en su investigación obtuvo efecto

significativo positivo únicamente para una cruce y al respecto menciona que la herencia genética de dicho genotipo es de tipo no aditivos, por tanto, se asume que en esta investigación los efectos de HCE para todas las cruces están gobernados por genes no aditivos.

Tabla 26. Efectos de habilidad combinatoria general de seis líneas provenientes del CIMMYT para altura de la mazorca (Amz) en el análisis combinado

Altura de la mazorca			
Genotipos	Primer año	Segundo año	Promedio
1	-0.950	0.571	-0.190
2	-0.231	2.761	1.265
3	4.300	1.883	3.092
4	3.125	1.158	2.142
5	1.613	4.508	3.061
6	-7.856	-10.882	-9.369

1 = CML-226, 2 = CML.229, 3 = CML-428, 4 = CML-453, 5 = CML-486, 6 = CML-487

Tabla 27. Efectos de habilidad combinatoria específica de 15 cruces para altura de la mazorca (Amz) en el análisis combinado

Altura de la mazorca			
Genotipos	Primer año	Segundo año	Promedio
1 x 2	9.363	14.677	12.020
1 x 3	-1.543	11.305	4.881
1 x 4	17.757	19.280	18.519
1 x 5	16.145	9.430	12.788
1 x 6	17.363	10.071	13.717
2 x 3	14.613	0.740	7.677
2 x 4	13.163	16.165	14.664
2 x 5	7.926	13.115	10.521
2 x 6	7.395	9.080	8.238
3 x 4	8.632	14.218	11.425
3 x 5	11.270	13.618	12.444
3 x 6	9.863	12.883	11.373
4 x 5	13.195	12.468	12.832
4 x 6	18.038	6.733	12.386
5 x 6	6.051	10.633	8.342

1 = CML-226, 2 = CML.229, 3 = CML-428, 4 = CML-453, 5 = CML-486, 6 = CML-487

4.2.3. Rendimiento de grano

El análisis de varianza para rendimiento de grano (Tabla 28) muestra que existió diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) para las fuentes de variación de repeticiones, genotipos, HCG y HCE para el primer y segundo año excepto para repeticiones que no tuvo diferencias estadísticas en el segundo año. El coeficiente de variación fue de 19.47 % para el primer año y 17.60 % para el segundo año. La contribución de la suma cuadrado de HCG frente a HCE muestra valores de 37 % para el primer año y 32 % para el segundo año; Souza Jr et al. (2010) al obtener 39 % en la relación de HCG:HCE mencionan que los efectos no aditivos fueron más importantes que los efectos aditivos. Por tanto para esta variable se deduce que los efectos de HCE fueron más importantes.

Tabla 28. Cuadrados medios del análisis de varianza para habilidad combinatoria según el sistema de cruzamientos dialélicos para el método II, propuesto por Griffing (1956), durante el primer y segundo año para rendimiento de grano en $t\ ha^{-1}$ (Rto)

Fuente de variación	GL	Primer año	Segundo año
Repeticiones	3	1.02 **	0.13
Genotipos	20	21.93 **	21.30 **
HCG	5	7.76 **	6.09 **
HCE	15	26.65 **	26.37 **
Error	60	1.18	0.83
Promedio	–	5.59	5.18
C.V. (%)	–	19.47	17.60
HCG:HCE	–	0.37	0.32

** = altamente significativo ($P \leq 0.01$), * = significativo ($P \leq 0.05$), HCG = habilidad combinatoria general, HCE = habilidad combinatoria específica, C.V. (%) = coeficiente de variación en porcentaje, GL = grados de libertad

Los efectos de HCG en promedio de años (Tabla 29) para rendimiento de grano fueron para las líneas 3 (0.522) y 5 (0.311). Las líneas con valores de HCG negativos fueron 2 (-0.591) y 6 (-0.456). Al respecto Rodríguez et al. (2016) al realizar el análisis dialélico de líneas de maíz obtuvo valores positivos y negativos en HCG y mencionan que aquellos con efectos positivos tienen una mayor aportación al rendimiento de grano y en ese caso son los efectos aditivos los que favorecen dicha expresión.

Palemón et al. (2012) al encontrar valores de HCG negativos para rendimiento mencionan que dicha respuesta desfavorece a las cruzas pues es necesario que para generar genotipos con buenos rendimientos al menos uno de los progenitores debe ser de efecto positivo.

Tabla 29. Efectos de habilidad combinatoria general de seis líneas provenientes del CIMMYT para rendimiento de grano (Rto) en el análisis combinado

Rendimiento de grano			
Genotipos	Primer año	Segundo año	Promedio
1	0.052	0.207	0.130
2	-0.663	-0.519	-0.591
3	0.776	0.267	0.522
4	-0.098	0.269	0.086
5	0.248	0.373	0.311
6	-0.314	-0.597	-0.456

1 = CML-226, 2 = CML.229, 3 = CML-428, 4 = CML-453, 5 = CML-486, 6 = CML-487

Tabla 30. Efectos de habilidad combinatoria específica de 15 cruzas para rendimiento de grano (Rto) en el análisis combinado

Rendimiento de grano			
Genotipos	Primer año	Segundo año	Promedio
1 x 2	1.220	1.763	1.492
1 x 3	0.459	0.889	0.674
1 x 4	2.147	1.261	1.704
1 x 5	1.073	0.680	0.877
1 x 6	1.645	1.597	1.621
2 x 3	1.272	0.285	0.779
2 x 4	1.811	1.584	1.698
2 x 5	1.032	1.734	1.383
2 x 6	0.520	0.654	0.587
3 x 4	1.836	1.235	1.536
3 x 5	1.240	1.462	1.351
3 x 6	0.934	1.679	1.307
4 x 5	2.089	2.384	2.237
4 x 6	1.771	1.538	1.655
5 x 6	0.933	1.305	1.119

1 = CML-226, 2 = CML.229, 3 = CML-428, 4 = CML-453, 5 = CML-486, 6 = CML-487

La HCE en promedio de años para el rendimiento de grano (Tabla 30) fueron positivos para todas las cruzas habiendo destacado 4x5 (2.237), 1x4 (1.704) y 2x4 (1.698), estos resultados fueron contrarios a lo obtenido por De la Rosa et al. (2000) pues obtuvo efectos de HCE negativos y positivos sin embargo mencionan que las cruzas de HCE de valores positivos coinciden con aquellos de mejores rendimientos. Castañón et al. (2000) de acuerdo a los resultados obtenidos en su investigación mencionan que el comportamiento de mejor o peor rendimiento se debió al efecto de HCE sobre las cruzas. En este estudio el mejor efecto de HCE para rendimiento y mejor promedio ocurre con el genotipo 4x5, lo cual no pasa con las demás cruzas.

Hoegemeyer y Hallauer (1976) mencionan que los efectos de HCE son importantes para generar híbridos pues se aprovecha la dominancia y epistasia, los cuales son genes no aditivos, mientras que Singh y Chaudary (1985) mencionan que la HCE es más importante que HCG solo si los genotipos han sido seleccionados por algún método de mejoramiento genético.

4.2.4. Días a la floración masculina

Según el análisis de varianza para días a la floración masculina (Tabla 31) todas las fuentes de variación (repeticiones, genotipos, HCG y HCE) fueron altamente significativas ($P \leq 0.01$) durante el primer y segundo año, excepto repeticiones que no tuvo significancia estadística en el segundo año. El coeficiente de variación fue de 1.38 % en el primer año y 1.48 % en el segundo año. La contribución de la suma de cuadrados de HCG frente a HCE fue 76 % en el primer año y 80 % en el segundo año, estos resultados aducen la importancia de los efectos de HCG en esta variable.

Los valores con efectos de HCG para días a la floración masculina (Tabla 32) fueron positivos para las líneas 4 (0.969) y 1 (0.781) en el primer año y 4 (1.573) y 5 (1.010) en el segundo año. Los mayores efectos de HCG negativos fueron para las líneas 6 y 3 en ambos años. Al respecto Manjarrez et al. (2014) en su investigación obtiene líneas con efectos de HCG negativos y califica dicho resultado como deseable. Efectos negativos de HCG de las líneas parentales son deseables si la finalidad es obtener plantas con menos días a la floración masculina (Palemón et al. 2012). Es importante notar que las líneas 6 y 3 presentaron mayor estabilidad por presentar mayores efectos de HCG en cada año, con características de precocidad para esta variable.

Tabla 31. Cuadrados medios del análisis de varianza para habilidad combinatoria según el sistema de cruzamientos dialélicos para el método II, propuesto por Griffing (1956), durante el primer y segundo año para días a la floración masculina (Fmas)

Fuente de variación	GL	Primer año	Segundo año
Repeticiones	3	15.44 **	4.11
Genotipos	20	18.11 **	29.83 **
HCG	5	25.23 **	47.48 **
HCE	15	15.74 **	23.96 **
Error	60	1.36	2.09
Promedio	–	84.39	97.74
C.V. (%)	–	1.38	1.48
HCG:HCE	–	0.76	0.80

** = altamente significativo ($P \leq 0.01$), * = significativo ($P \leq 0.05$), HCG = habilidad combinatoria general, HCE = habilidad combinatoria específica, C.V. (%) = coeficiente de variación en porcentaje, GL = grados de libertad

Tabla 32. Efectos de habilidad combinatoria general de seis líneas provenientes del CIMMYT para días a la floración masculina (Fmas) durante el primer y segundo año

Días a la floración masculina		
Genotipos	Primer año	Segundo año
1	0.781	-0.083
2	-0.281	0.260
3	-0.563	-1.240
4	0.969	1.573
5	0.438	1.010
6	-1.344	-1.521

1 = CML-226, 2 = CML.229, 3 = CML-428, 4 = CML-453, 5 = CML-486, 6 = CML-487

Los efectos de HCE (Tabla 33) fueron de valores negativos en todos los casos excepto en el primer año para la cruz 1x4 (0.857) y 3x4 (2.951) y para el segundo año 3x5 (0.241). Las líneas con altos efectos negativos de HCG fueron 2x3 (-2.299), 1x5 (-1.612) y 2x6 (-1.518) en el primer año y 5x6 (-2.728), 2x6 (-2.478) y 4x6 (-2.292), esto nos indica que las cruzas tienen tendencias a ser más precoces en esta variable lo cual es deseable en un programa de mejoramiento genético; comparado con lo obtenido por Picón et al. (2018) donde las cruzas que sobresalieron con efectos de HCE negativos fueron más precoces y contrario a esto las líneas con HCG positivos, mencionan que líneas provenientes de poblaciones diferentes generan cruzas con características de precocidad.

Tabla 33. Efectos de habilidad combinatoria específica de 15 cruzas para días a la floración masculina (Fmas) durante el primer y segundo año

Días a la floración masculina		
Genotipos	Primer año	Segundo año
1 x 2	-0.143	-1.915
1 x 3	-0.612	-1.415
1 x 4	0.857	-0.228
1 x 5	-1.612	-0.915
1 x 6	-1.080	-0.884
2 x 3	-2.299	-1.009
2 x 4	-0.080	-0.071
2 x 5	-0.799	-1.508
2 x 6	-1.518	-2.478
3 x 4	2.951	-0.071
3 x 5	-1.018	0.241
3 x 6	-1.487	-0.728
4 x 5	-1.299	-1.571
4 x 6	-1.268	-2.292
5 x 6	-1.237	-2.728

1 = CML-226, 2 = CML.229, 3 = CML-428, 4 = CML-453, 5 = CML-486, 6 = CML-487

4.2.5. Días a la floración femenina

El análisis de varianza para días a la floración masculina (Tabla 34) muestra que repeticiones, genotipos, HCG y HCE fueron altamente significativos ($P \leq 0.01$) durante el primer y segundo año, excepto repeticiones que no tuvo diferencia estadística en el segundo año. El coeficiente de variación fue 1.56 % en el primer año y 2.06 % en el segundo año. La contribución de HCG frente a HCE muestra un valor de 74% en ambos años, este resultado acredita la importancia de los efectos de HCG en esta variable.

Los efectos más altos de HCE (Tabla 35) con valores positivos fueron para las líneas 1 (0.479) y 2 (0.448) para el primer año y 4 (2.073) y 2 (1.010) para el segundo año. Para el primer y segundo año los mayores efectos de HCG negativos fueron para las líneas 6 (-1.427 y -1.365) y 3 (-0.708 y -1.052), lo cual concuerda con lo obtenido por Latournerie (1998) al obtener una línea con altos efectos negativo de HCG para Ffem y menciona que son de tipo aditivo con tendencia a la precocidad. Lo cual es apreciable, ya que formarán cruza más precoces (Palemón et al. 2012). Es importante notar que las mismas líneas de HCG negativas para Fmas son también para Ffem.

Tabla 34. Cuadrados medios del análisis de varianza para habilidad combinatoria según el sistema de cruzamientos dialélicos para el método II, propuesto por Griffing (1956), durante el primer y segundo año para días a la floración femenina (Fmas)

Fuente de variación	GL	Primer año	Segundo año
Repeticiones	3	16.30 **	3.03
Genotipos	20	23.56 **	42.27 **
HCG	5	30.28 **	55.07 **
HCE	15	21.32 **	38.00 **
Error	60	1.84	4.29
Promedio	–	86.92	100.63
C.V. (%)	–	1.56	2.06
HCG:HCE	–	0.74	0.74

** = altamente significativo ($P \leq 0.01$), * = significativo ($P \leq 0.05$), HCG = habilidad combinatoria general, HCE = habilidad combinatoria específica, C.V. (%) = coeficiente de variación en porcentaje, GL = grados de libertad

Tabla 35. Efectos de habilidad combinatoria general de seis líneas provenientes del CIMMYT para días a la floración femenina (Ffem) durante el primer y segundo año

Días a la floración femenina		
Genotipos	Primer año	Segundo año
1	0.479	-0.552
2	0.448	1.010
3	-0.708	-1.052
4	1.323	2.073
5	-0.115	-0.115
6	-1.427	-1.365

1 = CML-226, 2 = CML.229, 3 = CML-428, 4 = CML-453, 5 = CML-486, 6 = CML-487

Los mayores efectos de HCE (Tabla 36) con valores negativos para días a la floración femenina fueron 4x6 (-2.563), 2x3 (-2.406) y 4x5 (-2.375) en el primer año, mientras que las mejores cruza durante el segundo año fueron 2x6 (-3.527), 1x2 (-3.089) y 4x6 (-2.839). Se puede notar que la línea que presentó más estabilidad entre ambos años fue 4x6. Al respecto Latournerie (1998) menciona como sobresalientes aquellos con efectos negativos para sus cruza. Cervantes et al. (2018) al estudiar líneas de baja endogamia (S3) obtiene cruza con efectos negativos y significativos y mencionan que fueron las que presentaron mayor precocidad.

Ambas variables (días a la floración masculina y días a la floración femenina) en su mayoría mostraron efectos con valores negativos, al respecto Guzmán et al. (2017) menciona que este resultado de precocidad que muestran las cruzas frente a sus progenitores, evidencia que los efectos de valores negativos están controlados por efectos genéticos aditivos

Tabla 36. Efectos de habilidad combinatoria general de seis líneas del CIMMYT para días a la floración masculina (Fmas) durante el primer y segundo año

Días a la floración femenina		
Genotipos	Primer año	Segundo año
1 x 2	-0.594	-3.089
1 x 3	-0.688	-1.277
1 x 4	0.031	-1.402
1 x 5	-1.531	-0.214
1 x 6	-0.969	-0.964
2 x 3	-2.406	0.161
2 x 4	-0.438	-1.214
2 x 5	-1.000	-1.527
2 x 6	-0.938	-3.527
3 x 4	2.469	0.098
3 x 5	-1.844	-0.214
3 x 6	-1.531	-1.214
4 x 5	-2.375	-2.089
4 x 6	-2.563	-2.839
5 x 6	-0.875	-2.652

1 = CML-226, 2 = CML.229, 3 = CML-428, 4 = CML-453, 5 = CML-486, 6 = CML-487

4.3. Análisis de la heterosis

Los valores de heterosis con respecto al promedio de los progenitores (h) se muestran en la tabla 33, mientras que la heterosis con relación al mejor progenitor (h') se muestra en la tabla 34. Los resultados presentados corresponden al promedio entre años. Para altura de planta los genotipos con valores de h más altos fueron 1x4 (68.89), 4x6 (65.34) y 1x6 (62.32 %), mientras que para h' fueron 1x4 (60.68 %), 1x2 (56.58 %) y 4x6 (49.01). Los genotipos con h más altos para altura de la mazorca fueron para 1x4 (96.78 %), 4x6 (94.34 %) y 1x6 (93.67 %) y la h' con mayores porcentajes fueron para 1x4 (95.47 %), 2x4 (70.02 %) y 1x6 (67.22 %). Contrario a estos resultados Guzmán et al. (2017) obtuvo porcentajes menores a dos, tanto para h como para h' y mencionan que dichos resultados son favorables para altura de planta y mazorca. Sin embargo, la cruza 1x3 obtuvo porcentajes de h y h' bajas en altura de

planta (34.84 y 23.73) y altura de mazorca (54.19 y 38.38) en relación a otros genotipos y a la vez coincide con los valores más bajos para los efectos de HCE.

Los días a la floración masculina y femenina se redujeron en la hibridación pues obtuvieron valores negativos en todas las cruzas, excepto en h para 3x4 (0.41 %) en días a la floración masculina, al respecto Gaytán y Mayek (2010) mencionan que dichos resultados son favorables para la formación de híbridos precoces. La precocidad es una característica favorable a la resistencia por sequía y para ello depende de la constitución genética de las líneas y de su diversidad (De la Cruz et al. 2010). Las cruza de menor heterosis para Fmas y Ffem fueron 2x6 y 5x6, coinciden entre los efectos de HCE mas bajos y también coinciden con lo obtenido por Rodríguez et al. (2016) pues las cruzas mas precoces que obtuvieron fueron las de menor heterosis.

Tabla 37. Heterosis con relación al promedio de los progenitores en porcentaje (h) para altura de planta (Aplt), altura de mazorca (Amz), días a la floración masculina (Fmas), días a la floración femenina (Ffem) y rendimiento de grano (Rto)

Genotipos	Aplt (%)	Amz (%)	Fmas (%)	Ffem (%)	Rto (%)
1 x 2	61.26	72.22	-3.73	-5.12	247.59
1 x 3	34.84	54.19	-2.92	-3.29	121.37
1 x 4	68.89	96.78	-1.13	-3.38	305.97
1 x 5	49.12	74.15	-4.03	-4.13	169.14
1 x 6	62.32	93.67	-4.24	-4.76	252.92
2 x 3	44.56	52.00	-4.13	-3.90	151.99
2 x 4	51.63	79.89	-2.06	-3.96	454.43
2 x 5	39.93	62.38	-4.42	-4.97	245.61
2 x 6	55.50	71.12	-5.84	-6.50	284.83
3 x 4	44.75	68.07	0.41	-0.84	217.37
3 x 5	44.00	60.23	-2.82	-3.80	147.11
3 x 6	53.76	70.28	-4.10	-4.69	174.09
4 x 5	50.64	77.20	-3.55	-5.40	337.97
4 x 6	65.34	94.34	-4.42	-6.40	440.73
5 x 6	48.73	72.03	-5.86	-6.04	230.45

1 = CML-226, 2 = CML.229, 3 = CML-428, 4 = CML-453, 5 = CML-486, 6 = CML-487

En la variable rendimiento, la mayoría de cruzas superaron el cien por ciento de h y h'. Los genotipos con porcentajes más altos para h fueron 2x4 (454.43%), 4x6 (440.73 %) y 4x5 (337.97); para h' fueron los genotipos 2x4 (433.51), 4x6 (402.59 %), 2x6 (271.18) y 4x5 (217.97), Estos resultados son comparables con lo obtenido por De la Cruz et al. (2003),

pues la cruce de mayor rendimiento obtuvo 183 % de heterosis y mencionan que estuvo formado por progenitores de rendimientos bajos. De la Cruz et al. (2010) al obtener heterosis baja o negativa para rendimiento, mencionan que puede deberse al alto rendimiento de sus cruces. Sin embargo en esta investigación las líneas por efecto de la depresión endogámica son de rendimientos bajos, por tanto se puede inferir que es la causa de la elevada heterosis. Morales et al. (2007) mencionan que los elevados valores de heterosis responden a los mayores efectos de HCE, lo cual se confirma en esta investigación.

Tabla 38. Heterosis con relación al promedio de los progenitores en porcentaje (h') para altura de planta (Aplt), altura de mazorca (Amz), días a la floración masculina (Fmas), días a la floración femenina (Ffem) y rendimiento de grano (Rto)

Genotipos	Aplt (%)	Amz (%)	Fmas (%)	Ffem (%)	Rto (%)
1 x 2	56.58	61.75	-3.86	-6.32	160.94
1 x 3	23.73	38.38	-4.53	-4.67	86.19
1 x 4	60.68	95.47	-1.46	-5.01	197.08
1 x 5	36.48	61.48	-4.97	-4.50	165.78
1 x 6	39.96	67.22	-5.07	-5.19	171.70
2 x 3	36.37	44.78	-5.85	-6.45	69.10
2 x 4	40.28	70.02	-2.25	-4.39	433.51
2 x 5	31.64	60.16	-5.23	-5.82	157.29
2 x 6	30.81	40.19	-6.78	-8.09	271.18
3 x 4	26.94	51.74	-1.59	-3.88	108.87
3 x 5	43.59	54.66	-5.36	-5.53	110.00
3 x 6	23.40	34.34	-4.88	-5.63	87.51
4 x 5	31.79	65.32	-4.18	-6.64	217.97
4 x 6	49.01	66.86	-5.56	-8.40	402.59
5 x 6	19.10	39.43	-7.58	-6.82	152.17

1 = CML-226, 2 = CML.229, 3 = CML-428, 4 = CML-453, 5 = CML-486, 6 = CML-487

El vigor híbrido se debe en gran medida a la presencia de genes dominantes y la acumulación de estos genes dominantes puede ser expresada como efectos de sobredominancia por tanto mayor efecto de genes no aditivos (Gutiérrez et al. 2002). Es recomendable que como valor mínimo de heterosis en una cruce sea de 20% (Vasal y Córdova 1996, citado por Gutiérrez et al. 2002)

4.4. Análisis de mejores genotipos

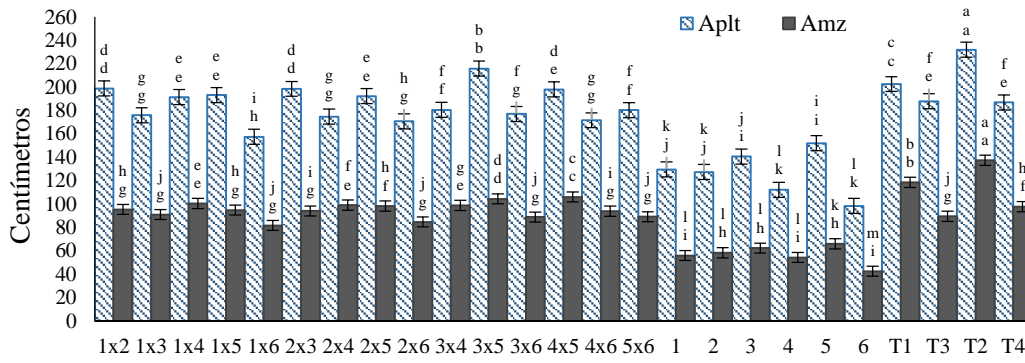
Las plantas de porte bajo favorecen a una mayor densidad de siembra y evita el acame (Cervantes et al. 2018) en tal sentido las cruces con menor altura de planta y mazorca fueron

1x6, 2x6 y 4x6 (Figura 1a), nótese que estuvo involucrada la línea 6, la cual es de mayor importancia ya que a la vez fue la de mayor efecto negativo para HCG, la línea 4 fue de mayor efecto positivo para HCG (Figura 2a). Los efectos más bajos para HCE lo constituye la cruce 1x3 (Figura 3a) y contiene el porcentaje de heterosis más bajo para ambas variables. Es importante mencionar que la heterosis de la línea 1x3 concuerda con una altura de la mazorca significativamente baja, es decir similar a las cruces de menor altura y contrario a esto la heterosis de la variable altura de planta concuerda con un porte significativamente superior a las cruces mencionadas como de menor tamaño. Es posible deducir que los efectos de HCG fueron más importantes en altura de planta y los efectos de HCE en altura de la mazorca.

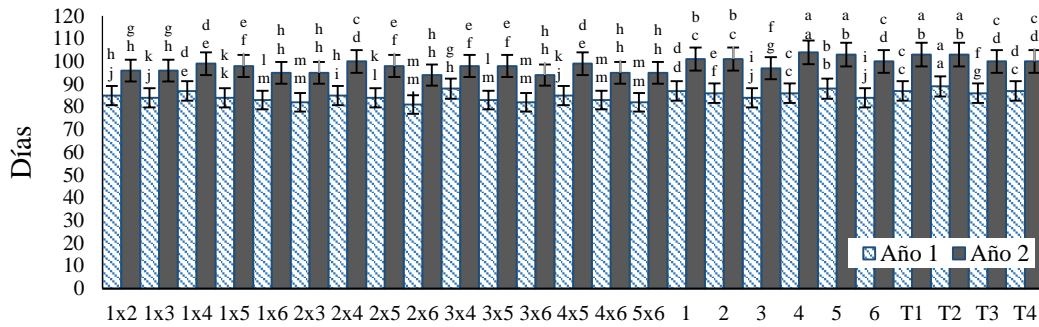
Los días a la floración masculina (Figura 1b) y femenina (Figura 1c) fueron menores en las cruces 2x6, 3x6 y 5x6, siendo las líneas 6 y 3 de mayor efecto negativo para HCG, el mayor efecto positivo fue para la línea 4 (Figura 2b y 2c). Los efectos de HCE fueron en gran medida negativos (Figura 3b y 3c), lo cual concuerda con heterosis negativas para ambas variables y a la vez coinciden con cruces de menores días a la floración masculina y femenina, por tanto, es deducible que los efectos de HCG fueron muy importantes en estas variables.

La cruce 4x5 fue de mayor rendimiento de grano con valores de 8.109 y 8.124 t ha⁻¹ para el primer y segundo año respectivamente (Figura 1d), que resultó de la cruce de dos líneas con efectos de HCG positivas. Sin embargo, las líneas de mayor efecto de HCG fueron 2 y 3 (Figura 2d). Al respecto, la línea 3 al cruzarse con la línea 4 y 5 formaron los genotipos más cercanos al rendimiento de la cruce 4x5. Los efectos de HCE fueron mayores en las cruces 4x5, 1x4, 2x4 y 4x6 (Figura 3d) lo cual se ve reflejado en la alta heterosis mostrada. Estos resultados son comparables con lo obtenido por Reyes et al. (2004) pues al igualar los resultados entre genotipos de mejor rendimiento con los efectos de HCG y HCE afirman que líneas de alta HCG forman cruces de alto rendimiento, siempre que además la HCE de sus cruces sean también positivos. En esta investigación dicha coincidencia no se mostró y es posible inferir que, de haber ocurrido, el rendimiento del mejor genotipo hubiese sido mayor.

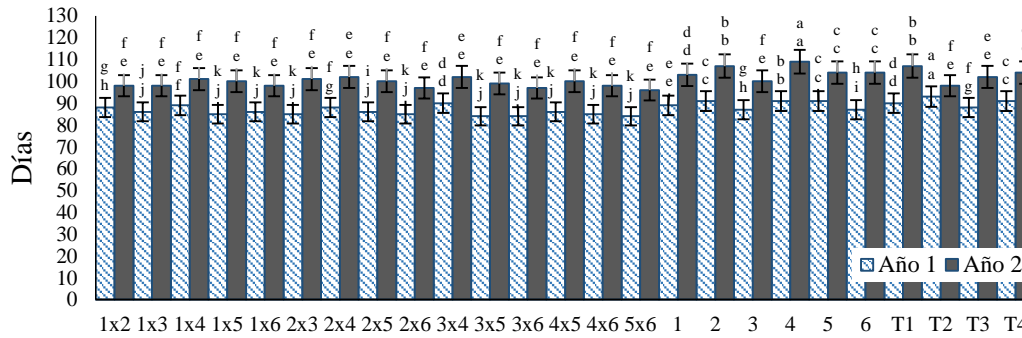
a



b



c



d

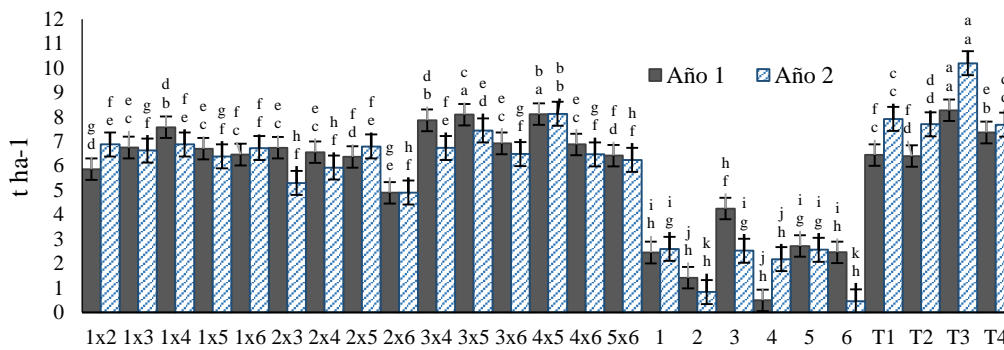


Figura 1. Promedios de las variables en estudio. a) rendimiento de grano en $t\ ha^{-1}$; b) altura de planta (Aplt) y mazorca (Amz) en centímetros; c) días a la floración masculina y d) días a la floración femenina; 1 = CML-226, 2 = CML-229, 3 = CML-428, 4 = CML-453, 5 = CML-486, 6 = CML-487; DMS ($P \leq 0.05$) en la parte superior y DMS ($P \leq 0.01$) en la parte inferior; promedios con iguales letras pertenecen al mismo grupo.

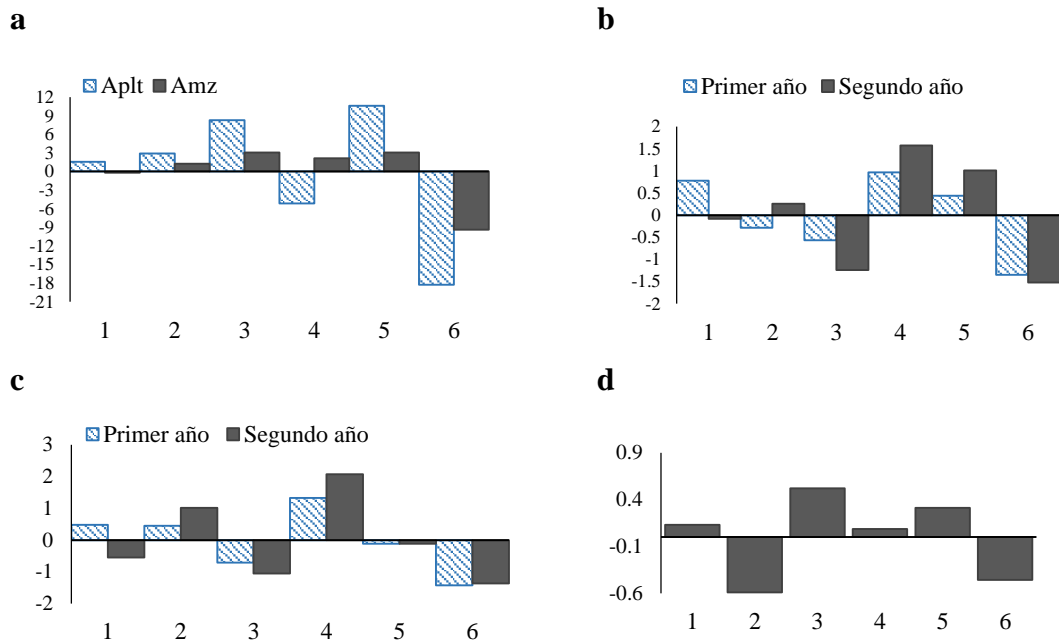


Figura 2. Efectos de HCG. a) Altura de planta (Aplt) y mazorca (Amz); b) Días a la floración masculina (Fmas); c) días a la floración femenina (Ffem); d) Rendimiento (Rto); 1 = CML-226, 2 = CML-229, 3 = CML-428, 4 = CML-453, 5 = CML-486, 6 = CML-487

Se deduce que los efectos de HCE adquiridos para la mejor cruza en este experimento y en general para todas las demás le confieren características de dominancia para rendimiento de grano, puesto que Falconer (1985), citado por Gutiérrez et al. (2002) sugieren que el resultado obtenido es debido a la interacción de alelos dominantes y recesivos entre progenitores que confieren características de dominancia a las cruzas. Las cruzas de mejor rendimiento no superaron lo obtenido por el testigo T3, al respecto Gutiérrez et al. (2002) señalan que los altos valores en el efecto de HCE indican que existen cruzas específicas para formar híbridos que pueden ser usados si superan al testigo en rendimiento de grano.

La línea 3, presentó los mejores efectos de HCG para rendimiento, aceptables para días a la floración masculina y femenina, pero elevados en altura de planta y mazorca y aunque no ha mostrado su potencial en esta investigación es posible su utilización en otros programas de mejoramiento para la acumulación de genes aditivos. La cruza 4x5, de mejor rendimiento tuvo efectos de HCE aceptables para días a la floración masculina y femenina por tanto un comportamiento adecuado para precocidad, sin embargo los efectos de HCE para altura de planta y mazorca no fueron los más bajos de tal manera que no se espera que presente tendencia a ser de porte bajo.

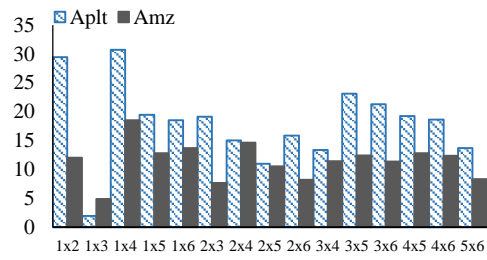
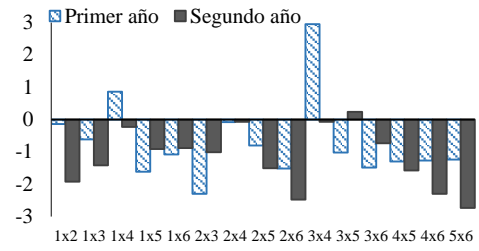
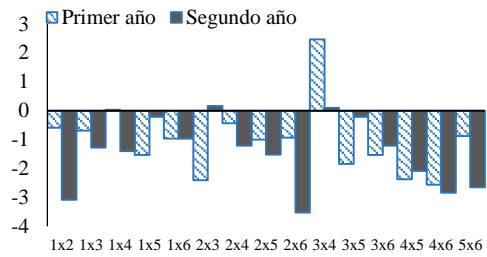
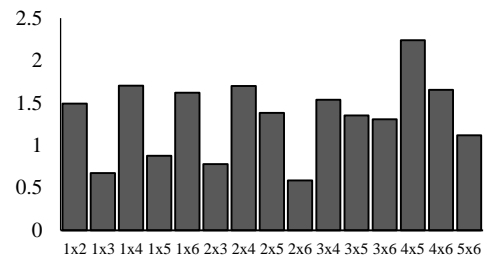
a**b****c****d**

Figura 3. Efectos de HCE. a) altura de planta (Aplt) y mazorca (Amz); b) días a la floración masculina (Fmas); c) días a la floración femenina (Ffem); d) rendimiento de grano (Rto); 1 = CML-226, 2 = CML-229, 3 = CML-428, 4 = CML-453, 5 = CML-486, 6 = CML-487

V. CONCLUSIONES

En la presente investigación se llegó a las siguientes conclusiones:

- Los genotipos mostraron interacción con años para rendimiento de grano, días a la floración masculina y femenina; las variables altura de planta y mazorca no presentaron interacción genotipos por años.
- Los efectos de la HCG y HCE fueron muy importante para las variables estudiadas. Se encontró interacción en HCG por años para días a la floración masculina y HCE por años en días a la floración femenina.
- Las líneas CML-229 y CML-428 presentaron el mayor efecto de HCG para rendimiento de grano; la línea CML-487 obtuvo el mayor efecto de HCG para altura de planta, altura de mazorca y días a floración masculina.
- La cruce CML-453xCML-486 presentó el mayor rendimiento de grano y el efecto de HCE.
- Los mayores valores de heterosis promedio y sobre el progenitor superior para rendimiento de grano fueron obtenidos con las cruces CML-229xCML-453 y CML-453xCML-487.

VI. RECOMENDACIONES

- Se sugiere realizar este experimento en diferentes localidades y con más campañas con el fin de obtener resultados más precisos y para regiones más amplias.
- Realizar mejoramiento genético de maíz para la obtención de híbrido para las cruas con mejor HCE.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Antuna, O., Rincón, F., Gutiérrez, E., Ruiz, N., Bustamante, L. 2003. Componentes genéticos de caracteres agronómicos y de calidad fisiológica de semillas de líneas de maíz. *Rev. Fitotecnia Mexicana* 26: 11-17 p.
- Arellano, J., Rojas, I., Gutiérrez, G. 2013. Híbridos y variedades sintéticas de maíz azul para el altiplano central de México: potencial agronómico y estabilidad de rendimiento. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 4:(7). 999-1011.
- Baker, R. 1978. Issues in diallel analysis. *Crop Sci.* 18:533-536. doi:10.2135/cropsci1978.0011183X001800040001x
- Budak, H., Cesurer, L., Bolek, Y., Dokuyucu, T., Akkaya, A. 2002. Understanding of Heterosis. *KSU J. Science and Engineering*. 5(2): 68-75.
- Camarena, F., Chura, J., Blas, R. 2012. Mejoramiento Genético y Biotecnológico de Plantas. Lima, Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina. Obtenido de http://www.agrobanco.com.pe/data/uploads/pdf_cpc/MEJORAMIENTO_GENETICO_Y_BIOTECNOLOGICO_DE_PLANTAS.pdf
- Castañón, G., Jeffers, D., Hidalgo, H. 2000. Aptitud combinatoria de líneas de maíz tropical con diferente capacidad para tolerar el achaparramiento. *Agronomía Mesoamericana* 11(1):77-81.
- Ceretta, S., Altier, N., Abadie, T. 2001. Interacción genotipo por ambiente. Avances y aplicaciones para el desarrollo de la genética vegetal. INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria). CIMMYT y Universidad de Wageningen. Las Brujas, Uruguay. p 34.

- Cervantes, F., Hernández, J., García, J., Rangel, J., Andrio, E., Mendoza, M., Rodríguez, G., Rodríguez, D. 2018. Aptitud combinatoria general y específica de caracteres agronómicos en líneas de maíz (*Zea mays* L.) de baja endogamia. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*. 34(1), 33-42.
- Chichipe, A y Oliva, M. 2017. Efecto de abonos orgánicos en el rendimiento de variedades de maíz amiláceo (*Zea mays* L.) en Quipachacha, distrito Levanto, Chachapoyas-Amazonas. *Rev. de investig. agroproducción sustentable*. ISSN: 2520-9760. DOI: 10.25127/aps.20173.235. 1(3): 44-52.
- Chura, J. y Tejada, J. 2014. Comportamiento de híbridos de maíz amarillo duro en la localidad de La Molina, Perú. *Idesia (Arica)* 32(1):113–118.
- De la Cruz, L., Ron, J., Ramírez, J., Sánchez, J., Morales, M., Chuela, M., Hurtado, S., Mena, S. 2003. Heterosis y aptitud combinatoria entre híbridos comerciales y germoplasma exótico de maíz en Jalisco, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 26(1):1-10
- De la Cruz, L., Córdoba, H., Estrada, M., Mendoza, J., Gómez, A., Brito, N. 2009. Rendimiento de grano en genotipos de maíz sembrados bajo tres densidades de población . *Univ.Ciencia*. 25: 93-98.
- De la Cruz, L., Castañón, G., Brito, N., Gómez, A., Robledo, V., Lozano, A. 2010. Heterosis y aptitud combinatoria de poblaciones de maíz tropical. *Revista Internacional de Botánica Experimental. Phytion B. Aires*. 79, 11-17.
- De la Rosa, A., De León, H., Gaspar, M., Rincón, F. 2000. Heterosis, habilidad combinatoria y diversidad genética en híbridos comerciales de maíz (*Zea mays* L.). *Agronomía Mesoamericana* 11(1):113–122.
- Dzib, L., Segura, J., Ortega, R., Latournerie, L. 2011. Diallelic crosses among maize landraces from yucatan and improved populations. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 14(1):119–127.

- Fu, D., Xiao, M., Hayward, A., Jian, G., Zhu, L., Zhou, Q., Li, J., Zhang, M. 2015. What is crop heterosis: new insights into an old topic. *Journal of Applied Genetics* 56(1):1-13. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13353-014-0231-z>.
- Gallegos, M., García, J., Luna, J., López, J., Orona, I., Salazar, E., Gonzáles, A. 2015. Obtención de híbridos de maíz para grano en la Comarca Lagunera y Aguascalientes, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*. 2(6):245-254.
- García, M., Watson, C. 2003. Herencia de la resistencia al acame de raíces en maíz dulce (*Zea mays* L.). *Revista Científica UDO Agrícola* 3(1):24–33.
- Gaytán, R. y Mayek, N. 2010. Heterosis en híbridos de maíz producidos de cruzamientos entre progenitores de valles altos por tropicales. *Investigación y Ciencia*. Universidad Autónoma de Aguascalientes. N° 48. p 5.
- Gómez, K. and Gómez, A. 1976. *Statistical procedures for agricultural research*. An International Rice Research Institute Book. A wiley-intercience publication. First edition. 657: 316-317.
- Griffing, B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Australian journal of Biological Science* 9(4):463–493.
- Guerrero, C., Gallegos, M., Luna, J., Castillo, I., Vásquez, C., García, M., Moreno, A., Gonzáles, A. 2014. Combining ability and heterosis in corn breeding lines to forage and grain. *American journal of plant science*. 05(06):845-856. DOI: <https://doi.org/10.4236/ajps.2014.56098>.
- Gutiérrez, E., Palomo, A., Espinoza, A., De la Cruz, E. 2002. Aptitud combinatoria y heterosis para rendimiento de líneas de maíz en la cámara lagunera, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 25(3):271-277.
- Guzmán, M., Díaz, D., Ramis, C., Figueroa, R., Jiménez, R. 2017. Estimación de la aptitud combinatoria y heterosis en híbridos no convencionales de maíz con alto contenido de proteínas. *Bioagro* 29(3): 175-184.

- Hallauer, A., Carena, M., Miranda, J. 2010. Quantitative genetics in maize breeding. New York, Springer. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0766-0>.
- Hoegemeyer, T. and Hallauer, A. 1976. Selection among and within full-sib families to develop single crosses of maize. *Crop Sci.* 16(1): 76-81. doi:10.2135/cropsci1976.0011183X001600010019x
- INTA (Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria). 2010. Guía tecnológica: Cultivo del Maíz. Proyecto Agroalimentario de Semilla (PAS-Banco Mundial). 2da. Edición. Managua, Nicaragua. 36p.
- Kato, T., Mapes, C., Mera, L., Serratos, J., Bye, R. 2009. Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Biología Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Mexico, D.F.
- Latournerie, L. 1998. Aptitud combinatoria entre líneas elite de maíz tropical y subtropical. Tesis Doctor en Ciencias en Fitomejoramiento. Universidad Nacional Agraria Antonio Narro. Saltillo, México. 77p.
- Lijarza, Y. 2017. Comportamiento de híbridos triples de maíz amarillo duro (*Zea mays* L.) en condiciones edafoclimáticas de costa central-Lima. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Hermilio Valdizán Huánuco. Perú. p18-49.
- López, C., Tadeo, M., Espinosa, A., García, J., Benítez, I., Vásquez, M., Carrillo, J. 2017. Productividad de cruzas simples de maíz con calidad de proteína en Valles Altos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8(3):559–570.
- Machikowa, T., Saetang, C., Funpeng, K. 2011. General and Specific Combining Ability for Quantitative Characters in sunflower. *Journal of Agricultural Science.* 3(1): 91-95.
- MacRobert, J., Setimela, P., Gethi, J., Worku, M. 2014. Manual de producción de semilla de maíz híbrido. México, D.F. CIMMYT.

- Manjarrez, M., Palemón, F., Gómez, N., Espinosa, A., Rodríguez, S., Damián, A., Hernández, E., Cruz, B. 2014. Aptitud combinatoria general y específica de maíces normales y de alta calidad de proteína. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 5(7):1261–1273.
- Márquez, F. 2010. Epistasia en variedades sintéticas de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 33(4): 101-105.
- Martínez, E. 2016. Acción génica en líneas contrastantes de maíz (*Zea mays* L.). Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Torreón, México.
- MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego, PE). 2018. Anuarios estadísticos. Obtenido de: <http://siea.minagri.gob.pe/siea/?q=anuario-estadistico-de-produccion-agricola-2017>.
- MINAM (Ministerio del ambiente, PE). 2013. Consulta, DP. Metodología para la colecta de maíz en el Perú.
- Morales, R., Ron, J., Sánchez, J., Ramírez, J., De la Cruz, E., Mena, S; Hurtado, P; Chuela, M. 2007. Relaciones fenotípicas entre híbridos comerciales y germoplasma exótico de maíz en Jalisco . México. *Rev Fitotec. Mex* 30: 285-294.
- Murtza, N., Shabbir, G., Mahmood, T., Ansar, M., Tabassum, M., Ilyas, M. 2014. Criterion for the selection of high yielding maize (*Zea mays*) genotypes. *Journal of agricultural research*. p 52. 177-183.
- Musito, N. 2000. Caracterización genética de una población precoz de maíz bajo un diseño dialélico. Tesis Ingeniero Agrónomo en producción. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, México.
- Noh, D. 2017. Potencial de rendimiento para la producción de un híbrido simple de maíz . Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.. Saltillo, México. P 52.
- Ortiz, J., Navarro, F., Comalat, P. 1997. Dialelo de Variedades Dominicanas de Maíz (*Zea mays* L.). 68. Guatemala: Programa Regional de Maíz para Centro América y el Caribe. CIMMYT-PRM. Obtenido de

<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=A3T9AwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA68&dq=generacion+de+lineas+de+ma%C3%ADz&ots=Yz1XBJCtwT&sig=6fnxibnIgXBaTJgyWOPOg8wf2cM#v=onepage&q=generacion%20de%20lineas%20de%20ma%C3%ADz&f=false>

- Palemón, F., Gómez, N., Castillo, F., Ramírez, P., Molina, J., Miranda, S. 2012. Potencial productivo de cruza intervarietales de maíz en la región semicálida de Guerrero. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 3(1):157–171.
- Paliwal, R. 2001a. Introducción al maíz y su importancia. En: Paliwal, R.; Granados, G.; Lafitte, H.; Violic, A., y Marathée, J. (Eds.). *El maíz en los trópicos. Mejoramiento y producción*. Dirección de Producción y Protección Vegetal de la FAO. Disponible en http://www.fao.org/docrep/003/x7650s/x7650s02.htm#P0_0
- Paliwal, R. 2001b. Morfología del maíz tropical. En: Paliwal, R. L.; Granados, G.; Lafitte, H. R.; Violic, A. D. y Marathée J. P. (Eds.). *El maíz en los trópicos. Mejoramiento y producción*. Colección FAO: Producción y Protección Vegetal. 28 pp. 13-19. Disponible en http://www.fao.org/docrep/003/x7650s/x7650s04.htm#P0_0
- Pardey, C. 2014. Producción de semilla y cruzamientos entre accesiones de maíz del departamento del Magdalena, Colombia. *Acta Agronómica* 64(1):83-92. DOI: <https://doi.org/10.15446/acag.v64n1.44551>.
- PCIM (Programa de Investigación y Proyección Social en maíz, PE). 2004. Logros y perspectivas. 50 aniversario UNALM. Lima, Perú. UNALM, Facultad de Agronomía. p 85.
- Pérez, F., Lobato, R., García, J., Molina, J., López, J., Cervantes, T. 2014. Líneas homocigóticas de maíz de alto rendimiento como progenitoras de híbridos de cruza simple. *Agrociencia* 48(4):425–437.
- Picón, R., Preciado, R., Cervantes, F., Covarrubias, J., Terrón, A. 2018. Efectos heteróticos en líneas doble haploides de maíz de grano blanco y alto contenido de aceite. *Revista Fitotecnia Mexicana* 41(2):177-186.

- Poehlman, J. and Sleper, D. 1995. *Breeding Field Crops*. 4th ed. Iowa State University Press, Ames, Iowa, p. 473.
- Ramírez, L. 2006. *Mejora de plantas alógamas*. Universidad Pública de Navarra. Catedrática de Producción Vegetal. Pamplona, España. p 13
- Reyes, D., Molina, J., Oropeza, M., Moreno, E. 2004. Cruzas dialélicas entre líneas autofecundadas de maíz derivadas de la raza Tuxpeño. *Revista Fitotecnia Mexicana* 27(1):49-56
- Rodríguez, G., Zabala, F., Treviño, J., Ojeda, C., Mendoza, M., Rodríguez, S., Cervantes, F. 2016. Aptitud combinatoria y heterosis entre líneas de dos tipos de maíz para grano. *Interciencia*, 41(1):47-54. Doi:0378-1844/14/07/468-08.
- Sahagún, C., Rodríguez, P., Peña, L. 2005. Predicting yield of synthetics derived from double crosses. *Maydica*. p 129-136.
- Sánchez, D. 2009. *Comportamiento de híbridos dobles de maíz amarillo duro (Zea mays L.) formados por híbridos simples del CIMMYT x PCIM en condiciones de costa central*. Tesis Magister Scientiae en Mejoramiento Genético de Plantas. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Sánchez, D., Borrego, F., Zamora, V., Sánchez, J., Castillo, F. 2015. Estimación de la interacción genotipo-ambiente en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) con el modelo AMMI. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 6(4):763–778.
- SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, PE). 2018. *Datos meteorológicos del distrito La Molina-Lima. Oficina de estadística 2017-2018. Estación VON HUMBOLDT*. Disponible en <http://www.senamhi.gob.pe>.
- Sesmas, D. 2017. *Descripción varietal de maíz (Zea mays) de grano blanco y amarillo en fase experiemntal*. Tesis Ingeniero Agrónomo en Producción. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, México. p78.

- Sierra, M., Palafox, A., Rodríguez, F., Espinosa, A., Vásquez, G., Gómez, N; Barrón, S. 2011. h-564c, híbrido de maíz con alta calidad de proteína para el trópico húmedo de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2(1):71–84.
- Silva, W., Alfaro, Y., Jiménez, R. 2009. Evaluaciones de las características morfológicas y agronómicas de cinco líneas de maíz amarillo en diferentes fechas de siembra. *Revista UDO Agrícola* 9 (4): 743-755.
- Singh, R. and Chaudary, B. 1985. *Biometrical methods in quantitative genetic analysis*. Kalyani Publishers. New Delhi, India. 319p.
- Souza Jr, C., Barrios, S., Moro, G. 2010. Performance of maize single-crosses developed from populations improved by a modified reciprocal recurrent selection. *Scientia Agrícola* 67(2):198–205.
- Tovar, T. 2008. Caracterización morfológica y térmica de almidón de maíz (*Zea mays* L) obtenido por diferentes métodos de aislamiento. Tesis Licenciado en Química en Alimentos. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Pachuca de Soto, México. p. 78.
- UARNT (Unión Agrícola Regional del Norte de Tamaulipas, ME). 2018. Maíz producción mundial 2017/2018. México. Consultado 11 jul 2018. Disponible en <http://www.uarnt.org.mx/index.php/noticias/item/53-maiz-produccion-mundial-2017-2018>.
- Vallejo, F. y Estrada, E. 2002. *Mejoramiento Genético de Plantas*. Universidad Nacional de Colombia - sede Palmira. p 118-125
- Van Inghelandt, D., Melchinger, A., Lebreton, C., Stich, B. 2010. Population structure and genetic diversity in a commercial maize breeding program assessed with SSR and SNP markers. *Theoretical and Applied Genetics* 120(7):1289-1299. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00122-009-1256-2>.
- Wong, R., Gutiérrez, E., Palomo, A., Rodríguez, S., Córdoba, H., Espinoza, A., Lozano, J. 2007. Aptitud combinatoria de componentes del rendimiento en líneas de maíz para grano en la comarca lagunera. México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 30(2):181-189.

- Zhang, Z., Zhao, M., Ding, H., Rong, T., Pan, G. 2006. Quantitative Trait Loci Analysis of Plant Height and Ear Height in Maize (*Zea mays* L.). *Russian Journal of Genetics* 42(3):306-310. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1022795406030112>.
- Zhang, X., Liangjie, Lv., Chao, Lv., Baojian, B., Rugen, X. 2015. Combining ability of different agronomic traits and yield components in hybrid barley. *PLoS ONE*. 10(6): e0126828. doi: 10.1371/journal.pone.0126828.

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Fechas de aplicación de riego durante el primer y segundo año

Primer año		Segundo año	
Nº de riegos	Fecha	Nº de riegos	Fecha
1	22/09/2016	1	24/08/2017
2	26/09/2016	2	05/09/2017
3	20/10/2016	3	28/09/2017
4	03/11/2016	4	05/10/2017
5	10/11/2016	5	19/10/2017
6	24/11/2016	6	26/10/2017
7	05/01/2017	7	02/11/2017
8	12/01/2017	8	16/11/2017
		9	25/11/2017
		10	30/11/2017
		11	07/12/2017
		12	14/12/2017
		13	21/12/2017
		14	04/01/2018
		15	11/01/2018

Anexo 2. Número de plantas, peso en campo de la mazorca (kg) y humedad del grano (%) para el primer año

Genotipos	Repeticiones											
	1			2			3			4		
	NP	PC	H	NP	PC	H	NP	PC	H	NP	PC	H
1x2	45	6.88	15.70	43	6.42	15.70	42	6.00	15.70	35	4.78	15.70
1x3	60	11.42	20.00	64	8.61	21.90	62	8.77	22.10	56	8.67	20.00
1x4	42	9.14	22.85	49	8.77	22.85	40	7.74	22.85	48	8.69	22.85
1x5	56	10.74	19.90	58	11.62	19.90	57	5.41	19.90	56	8.20	19.90
1x6	47	7.54	22.35	54	9.92	22.35	59	9.08	22.35	54	7.25	22.35
2x3	63	9.37	19.70	58	8.16	19.70	59	10.96	19.70	55	7.20	19.70
2x4	59	10.92	20.77	60	8.86	20.77	57	8.73	20.77	55	6.32	20.77
2x5	54	7.33	18.60	49	6.22	18.60	49	7.27	18.60	49	7.31	18.60
2x6	61	5.34	21.65	57	7.44	21.65	61	7.87	21.65	59	5.97	21.65
3x4	54	9.21	21.85	45	10.02	21.85	55	10.64	21.85	33	9.96	21.85
3x5	55	10.34	22.15	59	11.31	22.15	55	7.72	22.15	60	10.72	22.15
3x6	57	8.12	19.20	62	8.60	19.20	60	10.50	19.20	56	7.38	19.20
4x5	58	9.70	19.55	62	10.60	19.55	55	12.22	19.55	50	7.05	19.55
4x6	60	8.43	20.60	58	8.20	20.60	60	11.50	20.60	56	7.88	20.60
5x6	62	9.05	23.50	58	10.48	23.50	58	8.62	23.50	57	5.98	23.50
1	44	1.70	13.25	50	3.33	13.25	48	2.82	13.25	48	2.62	13.25
2	59	1.17	14.00	50	1.41	14.00	37	1.29	14.00	29	1.29	14.00
3	62	3.46	19.20	55	4.38	19.20	59	5.32	19.20	25	4.39	19.20
4	49	0.88	12.20	51	1.11	12.20	37	0.23	12.20	50	0.34	12.20
5	55	2.92	13.60	51	3.06	13.60	44	2.04	13.60	25	2.67	13.60
6	51	1.77	14.75	52	2.65	14.75	44	1.46	14.75	33	1.96	14.75
T1	62	6.18	20.40	62	11.56	20.40	59	7.71	20.40	62	6.94	20.40
T2	59	4.97	22.25	61	7.70	22.25	63	11.96	22.25	60	8.05	22.25
T3	60	6.66	20.27	60	12.98	20.27	62	11.60	20.27	45	7.32	20.27
T4	64	6.61	19.15	62	10.63	19.15	62	10.06	19.15	60	10.93	19.15

1 = CML-226, 2 = CML-229, 3 = CML-428, 4 = CML-453, 5 = CML-486, 6 = CML-487, T1 = PM-213, T2 = EXP-05, T3 = DK-7088, T4 = H5070, NP = número de plantas, PC = peso en campo de la mazorca, H = humedad del grano

Anexo 3. Número de plantas, peso en campo de la mazorca (kg) y humedad del grano (%) para el segundo año

Genotipos	Repeticiones											
	1			2			3			4		
	NP	PC	H	NP	PC	H	NP	PC	H	NP	PC	H
1x2	64	9.72	28.00	62	8.95	25.50	64	11.65	25.67	62	7.99	23.50
1x3	64	8.56	23.10	60	11.37	27.80	63	8.92	27.80	54	7.87	32.50
1x4	62	10.73	28.90	60	9.41	28.20	66	12.43	28.50	64	9.92	28.40
1x5	62	8.56	26.60	62	9.68	27.50	56	8.13	27.40	66	11.37	28.10
1x6	58	8.74	28.80	64	7.69	28.80	63	10.49	29.20	58	9.53	30.00
2x3	62	7.49	26.00	62	8.28	24.90	64	9.03	25.13	62	7.38	24.50
2x4	60	9.13	26.30	63	10.72	29.40	62	8.20	26.83	64	10.90	24.80
2x5	64	9.80	24.60	64	10.77	26.30	64	8.95	25.03	65	10.14	24.20
2x6	60	6.82	24.20	54	8.75	30.50	64	5.37	26.27	62	4.58	24.10
3x4	64	10.60	29.40	62	10.49	25.40	62	11.26	27.03	62	8.26	26.30
3x5	62	10.75	29.40	62	10.84	28.40	61	9.79	28.37	62	11.17	27.30
3x6	64	10.09	29.00	63	10.58	24.70	64	7.69	27.40	64	9.22	28.50
4x5	62	11.76	29.80	60	13.16	29.90	64	14.84	28.20	64	9.63	24.90
4x6	65	10.28	22.10	64	8.09	26.10	60	8.08	24.50	64	9.86	25.30
5x6	66	11.53	31.40	60	5.56	25.20	66	10.19	28.20	57	9.09	28.00
1	33	1.98	23.10	42	1.71	23.60	58	3.60	23.73	58	4.44	24.50
2	38	1.34	19.40	40	1.45	16.50	62	1.25	18.27	52	0.79	18.90
3	56	3.26	25.10	59	3.38	22.80	46	3.49	23.77	61	4.72	23.40
4	46	3.17	25.60	42	1.40	28.30	52	2.46	26.70	52	1.89	26.20
5	38	2.24	25.70	53	2.57	25.60	56	2.50	25.97	48	3.29	26.60
6	37	0.50	21.50	38	0.39	22.20	38	0.37	22.20	56	1.30	22.90
T1	34	7.86	24.20	64	9.57	26.50	62	10.98	26.23	56	8.38	28.00
T2	63	13.62	21.70	65	14.69	23.40	66	9.49	25.50	64	7.13	31.40
T3	64	15.11	24.50	66	14.47	29.30	64	15.81	28.80	64	12.99	32.60
T4	58	10.67	26.80	63	11.46	26.60	63	11.71	27.67	66	10.84	29.60

1 = CML-226, 2 = CML-229, 3 = CML-428, 4 = CML-453, 5 = CML-486, 6 = CML-487, T1 = PM-213, T2 = EXP-05, T3 = DK-7088, T4 = H5070, NP = número de plantas, PC = peso en campo de la mazorca, H = humedad del grano

Anexo 4. Promedios de los genotipos en las diferentes variables para la primera campaña

Genotipos	Fmas días	Ffem días	Aplt cm	Amz cm	Rto t ha⁻¹
1x2	85	87	210	94	6.199
1x3	84	86	186	88	6.876
1x4	87	89	207	106	7.689
1x5	84	86	221	103	6.961
1x6	83	85	184	95	6.972
2x3	81	84	223	105	6.974
2x4	85	88	189	102	6.638
2x5	84	86	194	96	6.205
2x6	81	85	177	86	5.132
3x4	88	90	190	102	8.102
3x5	83	84	228	103	7.852
3x6	81	83	197	92	6.984
4x5	85	86	208	104	7.826
4x6	83	84	187	99	6.947
5x6	82	85	191	86	6.455
1	87	90	113	51	2.420
2	86	91	132	60	1.336
3	85	88	160	73	4.269
4	86	91	110	54	0.565
5	88	91	157	62	2.900
6	85	88	102	41	2.057
T1	88	91	190	98	7.201
T2	87	89	199	89	8.116
T3	90	93	221	128	5.740
T4	88	91	203	117	6.027

Anexo 5. Promedio de los genotipos en las diferentes variables para la segunda campaña

Genotipos	Fmas días	Ffem días	Aplt cm	Amz cm	Rto t ha⁻¹
1x2	96	98	196	101	6.627
1x3	95	98	177	97	6.539
1x4	99	101	186	104	6.913
1x5	98	100	182	97	6.437
1x6	95	98	159	83	6.383
2x3	96	101	176	88	5.209
2x4	100	103	175	103	6.510
2x5	98	100	194	103	6.765
2x6	94	97	163	84	4.715
3x4	98	102	182	100	6.947
3x5	98	99	195	103	7.279
3x6	94	97	164	87	6.525
4x5	99	101	181	101	8.202
4x6	96	99	142	80	6.386
5x6	95	97	160	87	6.257
1	100	103	118	52	2.495
2	102	107	128	62	1.129
3	97	100	133	60	2.936
4	103	109	105	51	1.713
5	103	104	138	62	2.141
6	99	104	76	36	0.595
T1	101	104	175	93	7.7
T2	100	102	173	89	10.1
T3	103	98	232	144	7.6
T4	104	107	205	123	8.3

Anexo 6. Promedio en años de los genotipos en las diferentes variables

Genotipos	Fmas días	Ffem días	Aplt cm	Amz cm	Rto t ha⁻¹
1x2	90	93	203	98	6.413
1x3	90	92	181	92	6.707
1x4	93	95	196	105	7.301
1x5	91	93	201	100	6.699
1x6	89	91	171	89	6.677
2x3	89	93	200	96	6.091
2x4	92	95	182	102	6.574
2x5	91	93	194	99	6.485
2x6	88	91	170	85	4.923
3x4	93	96	186	101	7.524
3x5	91	92	212	103	7.565
3x6	88	90	181	90	6.755
4x5	92	93	194	102	8.014
4x6	89	91	164	90	6.666
5x6	88	91	175	86	6.356
1	94	96	115	51	2.458
2	94	99	130	61	1.232
3	91	94	146	67	3.602
4	94	100	107	52	1.139
5	96	97	147	62	2.521
6	92	96	89	39	1.326
T1	94	97	183	95	7.155
T2	93	95	186	89	6.683
T3	96	96	227	136	9.127
T4	96	99	204	120	7.448

Anexo 7. Promedio de las cruzas dialélicas (F₁), promedio entre sus progenitores (P_m) y promedio del progenitor superior (P_s) para días a la floración masculina

Cruzas	Primera campaña			Segunda campaña			Combinado		
	F ₁	P _m	P _s	F ₁	P _m	P _s	F ₁	P _m	P _s
1x2	85	87	87	96	101	102	90	94	94
1x3	84	86	87	95	99	100	90	93	94
1x4	87	87	87	99	102	103	93	94	94
1x5	84	88	88	98	102	103	91	95	96
1x6	83	86	87	95	100	100	89	93	94
2x3	81	85	86	96	99	102	89	93	94
2x4	85	86	86	100	102	103	92	94	94
2x5	84	87	88	98	102	103	91	95	96
2x6	81	86	86	94	101	102	88	93	94
3x4	88	85	86	98	100	103	93	93	94
3x5	83	86	88	98	100	103	91	94	96
3x6	81	85	85	94	98	99	88	92	92
4x5	85	87	88	99	103	103	92	95	96
4x6	83	85	86	96	101	103	89	93	94
5x6	82	87	88	95	101	103	88	94	96

Anexo 8. Promedio de las cruzas dialélicas (F₁), promedio entre sus progenitores (P_m) y promedio del progenitor superior (P_s) para días a la floración femenina

Cruzas	Primera campaña			Segunda campaña			Combinado		
	F ₁	P _m	P _s	F ₁	P _m	P _s	F ₁	P _m	P _s
1x2	87	90	91	98	105	107	93	98	99
1x3	86	89	90	98	101	103	92	95	96
1x4	89	90	91	101	106	109	95	98	100
1x5	86	90	91	100	103	104	93	97	97
1x6	85	89	90	98	103	104	91	96	96
2x3	84	89	91	101	104	107	93	97	99
2x4	88	91	91	103	108	109	95	100	100
2x5	86	91	91	100	106	107	93	98	99
2x6	85	89	91	97	105	107	91	98	99
3x4	90	89	91	102	104	109	96	97	100
3x5	84	89	91	99	102	104	92	96	97
3x6	83	88	88	97	102	104	90	95	96
4x5	86	91	91	101	106	109	93	99	100
4x6	84	89	91	99	106	109	91	98	100
5x6	85	89	91	97	104	104	91	97	97

Anexo 9. Promedio de las cruzas dialélicas (F₁), promedio entre sus progenitores (P_m) y promedio del progenitor superior (P_s) para altura de la planta (cm)

Cruzas	Primera campaña			Segunda campaña			Combinado		
	F ₁	P _m	P _s	F ₁	P _m	P _s	F ₁	P _m	P _s
1x2	210	122	132	196	123	128	203	123	130
1x3	186	136	160	177	125	133	181	131	146
1x4	207	111	113	186	111	118	196	111	115
1x5	221	135	157	182	128	138	201	131	147
1x6	184	107	113	159	97	118	171	102	115
2x3	223	146	160	176	130	133	200	138	146
2x4	189	121	132	175	116	128	182	119	130
2x5	194	144	157	194	133	138	194	139	147
2x6	177	117	132	163	102	128	170	110	130
3x4	190	135	160	182	119	133	186	127	146
3x5	228	158	160	195	135	138	212	147	147
3x6	197	131	160	164	104	133	181	118	146
4x5	208	133	157	181	121	138	194	127	147
4x6	187	106	110	142	90	105	164	98	107
5x6	191	129	157	160	107	138	175	118	147

Anexo 10. Promedio de las cruzas dialélicas (F1), promedio entre sus progenitores (P_m) y promedio del progenitor superior (P_s) para altura de la mazorca (cm)

Cruzas	Primera campaña			Segunda campaña			Combinado		
	F1	Pm	Ps	F1	Pm	Ps	F1	Pm	Ps
1x2	94	55	60	101	57	62	98	56	61
1x3	88	62	73	97	56	60	92	59	67
1x4	106	52	54	104	51	52	105	52	52
1x5	103	56	62	97	57	62	100	57	62
1x6	95	46	51	83	44	52	89	45	51
2x3	105	66	73	88	61	62	96	64	67
2x4	102	57	60	103	56	62	102	57	61
2x5	96	61	62	103	62	62	99	62	62
2x6	86	50	60	84	49	62	85	50	61
3x4	102	64	73	100	55	60	101	60	67
3x5	103	68	73	103	61	62	103	65	67
3x6	92	57	73	87	48	60	90	53	67
4x5	104	58	62	101	56	62	102	57	62
4x6	99	48	54	80	43	51	90	46	52
5x6	86	52	62	87	49	62	86	51	62

Anexo 11. Promedio de las cruzas dialélicas (F₁), promedio entre sus progenitores (P_m) y promedio del progenitor superior (P_s) para rendimiento (t ha⁻¹)

Cruzas	Primera campaña			Segunda campaña			Combinado		
	F ₁	P _m	P _s	F ₁	P _m	P _s	F ₁	P _m	P _s
1x2	6.199	1.810	2.421	6.627	1.812	2.495	6.413	1.811	2.458
1x3	6.876	3.345	4.269	6.539	2.715	2.936	6.707	3.030	3.602
1x4	7.690	1.466	2.421	6.913	2.104	2.495	7.301	1.786	2.458
1x5	6.962	2.660	2.900	6.437	2.318	2.495	6.699	2.490	2.521
1x6	6.972	2.239	2.421	6.383	1.545	2.495	6.677	1.892	2.458
2x3	6.974	2.734	4.269	5.209	2.032	2.936	6.091	2.383	3.602
2x4	6.638	0.856	1.200	6.510	1.421	1.714	6.574	1.139	1.164
2x5	6.206	2.050	2.900	6.765	1.635	2.141	6.485	1.843	2.521
2x6	5.132	1.629	2.058	4.715	0.862	1.129	4.923	1.245	1.326
3x4	8.499	2.391	4.269	6.947	2.325	2.936	7.723	2.358	3.602
3x5	7.852	3.585	4.269	7.279	2.538	2.936	7.565	3.062	3.602
3x6	6.985	3.163	4.269	6.525	1.765	2.936	6.755	2.464	3.602
4x5	7.827	1.706	2.900	8.203	1.927	2.141	8.015	1.817	2.521
4x6	6.947	1.285	2.058	6.386	1.154	1.714	6.666	1.220	1.326
5x6	6.455	2.479	2.900	6.257	1.368	2.141	6.356	1.924	2.521

Anexo 12. Esquema de la parcela experimental en la primera campaña

		Repetición I				
BI		(2)	(3)	(5)	(4)	(1)
Entradas		7	20	21	14	5
Genotipos		CML-453xCML-229	CML-486	CML-487	CML-487xCML-453	CML-487xCML-226
		6	17	22	11	4
		CML-428xCML-229	CML-229	PM-213	CML-486xCML-428	CML-486xCML-226
		10	19	24	13	2
		CML-453xCML-428	CML-453	DK-7088	CML-486xCML-453	CML-428xCML-226
		9	16	23	12	1
		CML-487xCML-229	CML-226	EXP-05	CML-487xCML-428	CML-229xCML-226
		8	18	25	15	3
		CML-486xCML-229	CML-428	H5070	CML-487xCML-486	CML-453xCML-226

		Repetición II				
BI		(7)	(10)	(8)	(6)	(9)
Entradas		2	10	23	16	9
Genotipos		CML-428xCML-226	CML-453xCML-428	EXP-05	CML-226	CML-487xCML-229
		22	20	13	21	4
		PM-213	CML-486	CML-486xCML-453	CML-487	CML-486xCML-226
		12	25	8	1	14
		CML-487xCML-428	H5070	CML-486xCML-229	CML-229xCML-226	CML-487xCML-453
		7	15	3	11	19
		CML-453xCML-229	CML-487xCML-486	CML-453xCML-226	CML-486xCML-428	CML-453
		17	5	18	6	24
		CML-229	CML-487xCML-226	CML-428	CML-428xCML-229	DK-7088

		Repetición III				
BI		(14)	(12)	(13)	(11)	(15)
Entradas		23	20	3	25	18
Genotipos		EXP-05	CML-486	CML-453xCML-226	H5070	CML-428
		11	2	15	1	6
		CML-486xCML-428	CML-428xCML-226	CML-487xCML-486	CML-229xCML-226	CML-428xCML-229
		17	21	22	7	5
		CML-229	CML-487	PM-213	CML-453xCML-229	CML-487xCML-226
		10	14	9	13	24
		CML-453xCML-428	CML-487xCML-453	CML-487xCML-229	CML-486xCML-453	DK-7088
		4	8	16	19	12
		CML-486xCML-226	CML-486xCML-229	CML-226	CML-453	CML-487xCML-428

		Repetición IV				
BI		(17)	(19)	(16)	(20)	(18)
Entradas		16	15	9	19	14
Genotipos		CML-226	CML-487xCML-486	CML-487xCML-229	CML-453	CML-487xCML-453
		24	4	1	11	25
		DK-7088	CML-486xCML-226	CML-229xCML-226	CML-486xCML-428	H5070
		10	7	20	5	6
		CML-453xCML-428	CML-453xCML-229	CML-486	CML-487xCML-226	CML-428xCML-229
		2	21	12	8	3
		CML-229xCML-226	CML-487	CML-487xCML-428	CML-486xCML-229	CML-453xCML-226
		13	18	23	22	17
		CML-486xCML-453	CML-428	EXP-05	PM-213	CML-229

Anexo 13. Esquema de la parcela experimental en la segunda campaña

Repetición I

BI	(2)	(1)	(3)	(4)	(5)
Entradas	6	4	13	16	22
Genotipos	CML-428xCML-229	CML-486xCML-226	CML-486xCML-453	CML-226	PM-213
	7	2	14	20	25
	CML-453xCML-229	CML-428xCML-226	CML-487xCML-453	CML-486	H5070
	8	1	15	17	21
	CML-486xCML-229	CML-229xCML-226	CML-487xCML-486	CML-229	CML-487
	9	3	12	19	24
	CML-487xCML-229	CML-453xCML-226	CML-487xCML-428	CML-453	DK-7088
	10	5	11	18	23
	CML-453xCML-428	CML-487xCML-226	CML-486xCML-428	CML-428	EXP-05

Repetición II

BI	(6)	(10)	(9)	(8)	(7)
Entradas	1	25	9	23	17
Genotipos	CML-229xCML-226	H5070	CML-487xCML-229	EXP-05	CML-229
	21	20	19	3	12
	CML-487	CML-486	CML-453	CML-453xCML-226	CML-487xCML-428
	6	10	24	13	7
	CML-428xCML-229	CML-453xCML-428	DK-7088	CML-486xCML-453	CML-453xCML-229
	11	15	4	8	22
	CML-486xCML-428	CML-487xCML-486	CML-486xCML-226	CML-486xCML-229	PM-213
	16	5	14	18	2
	CML-226	CML-487xCML-226	CML-487xCML-453	CML-428	CML-428xCML-226

Repetición III

BI	(12)	(14)	(13)	(11)	(15)
Entradas	8	23	3	1	24
Genotipos	CML-486xCML-229	EXP-05	CML-453xCML-226	CML-229xCML-226	DK-7088
	14	17	9	19	6
	CML-487xCML-453	CML-229	CML-487xCML-229	CML-453	CML-428xCML-229
	2	10	22	13	5
	CML-428xCML-226	CML-453xCML-428	PM-213	CML-486xCML-453	CML-487xCML-226
	21	11	16	25	18
	CML-487	CML-486xCML-428	CML-226	H5070	CML-428
	20	4	15	7	12
	CML-486	CML-486xCML-226	CML-487xCML-486	CML-453xCML-229	CML-487xCML-428

Repetición IV

BI	(16)	(17)	(19)	(18)	(20)
Entradas	20	10	21	3	11
Genotipos	CML-486	CML-453xCML-428	CML-487	CML-453xCML-226	CML-486xCML-428
	12	2	18	6	19
	CML-487xCML-428	CML-428xCML-226	CML-428	CML-428xCML-229	CML-453
	9	24	15	17	5
	CML-487xCML-229	DK-7088	CML-487xCML-486	CML-229	CML-487xCML-226
	1	16	7	14	8
	CML-229xCML-226	CML-226	CML-453xCML-229	CML-487xCML-453	CML-486xCML-229
	23	13	4	25	22
	EXP-05	CML-486xCML-453	CML-486xCML-226	H5070	PM-213

Anexo 14. Imágenes de las mazorcas de las diferentes líneas y cruza obtenidas en la primera campaña



CML-226



CML-229



CML-428



CML-453



CML-486



CML-487



CML-226x CML-229



CML-226x CML-428



CML-226x CML-453



CML-226x CML-486



CML-226x CML-487



CML-229x CML-428



CML-229x CML-453



CML-229x CML-486



CML-229x CML-487



CML-428x CML-453



CML-428x CML-486



CML-428x CML-487



CML-453x CML-486



CML-453x CML-487



CML-486x CML-487

Anexo 15. Imágenes de las mazorcas de las diferentes líneas y cruza obtenidas en la segunda campaña



CML-226



CML-229



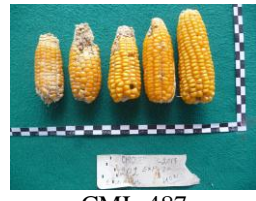
CML-428



CML-453



CML-486



CML-487



CML-226x CML-229



CML-226x CML-428



CML-226x CML-453



CML-226x CML-486



CML-226x CML-487



CML-229x CML-428



CML-229x CML-453



CML-229x CML-486



CML-229x CML-487



CML-428x CML-453



CML-428x CML-486



CML-428x CML-487



CML-453x CML-486



CML-453x CML-487



CML-486x CML-487