



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

ESCUELA DE POSTGRADO

DESEMPEÑO DE LOS PROGRAMAS DE MEJORAMIENTO
DE GENOTIPOS DE MAIZ CULTIVADOS EN EL NORTE Y
SUR DE MOZAMBIQUE

Tesis/AFE para optar al Grado de Magíster en Ciencias Agropecuarias

BOAVENTURA ISAC JONAS MUACHA

Directores de Tesis/AFE

PAOLA SILVA CANDIA
MARCO ISAAC GARRIDO

Profesores consejeros

CECILIA DEL CARMEN BAGINSKY GUERRERO
ERIKA KANIA KUHL

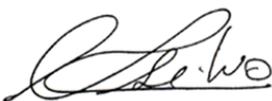
SANTIAGO – CHILE,
2021

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE POSTGRADO

DESEMPEÑO DE LOS PROGRAMAS DE MEJORAMIENTO
DE GENOTIPOS DE MAIZ CULTIVADOS EN EL NORTE Y
SUR DE MOZAMBIQUE

Tesis/AFE presentada como parte de los requisitos para optar al Grado de
Magíster en Ciencias Agropecuarias

Boaventura Isac Jonas Muacha

DIRECTORES DE TESIS		CALIFICACIONES
Paola Silva Candia Ingeniera Agrónoma, Dra.		6,5
Marco Isaac Garrido Ingeniero Agrónomo, Dr.		6,5
PROFESORES CONSEJEROS		
Cecilia Del C. B. Guerrero Ingeniera Agrónoma, Dra.		6,7
Erika Kania Kuhl Ingeniera Agrónoma, Dra.		6,1

Santiago, Chile
2021

AGRADECIMIENTOS

Agradezco:

Al Santo Dios, por haberme dado la vida y el coraje y sabiduría necesarias para la realización de mi tesis y asimismo lograr mi meta;

A la Agencia Chilena de Cooperación Internacional (AGCI), por haber dado la oportunidad de realizar mis estudios de magíster en la República de Chile, a través de su Programa de Becas de Magíster Nelson Mandela.

A todos los profesores de la Universidad de Chile que realizan el noble y difícil labor de la enseñanza, comprometidos con sus alumnos y la sociedad, se esfuerzan día a día por construir un mejor país a partir de la educación.

De manera especial a mis profesores Guías Paola Silva y Marco Garrido; a las profesoras consejeras Cecilia Baginsky y Erika Kania; al profesor Américo Contreras, a la Dra. Marcela Opazo y al coordinador de magister Danilo Aros por haber estado presentes en cada momento de mi formación apoyándome y guiándome incondicionalmente y con la mejor disposición en aclarar las muchas dudas que surgieron al largo del camino en el desarrollo del trabajo de tese y en el curso en general.

Agradezco a la Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, por acogerme y guiarme en todo el proceso académico, con destaque para la secretaria de posgrado que me ha acompañado de manera personalizado y cariñosa al largo del curso. Este agradecimiento va especialmente dirigido a la Sra. Jeannette Angélica Piza Soto por su apoyo y presencia en cada momento y su equipo en general por estar detrás de cada detalle del programa.

Igualmente agradezco al Dr. Antonio Chamuene, Director Regional del Instituto de Investigación Agraria de Mozambique pues, sin su aprobación, este curso no habría sido por mi logrado.

A mis compañeros del trabajo en Mozambique, Egas Nhamucho (Eng^o), Constantino E. Cuambe (Eng^o) por su generosidad de tiempo y ayudarme a reflexionar esta etapa.

Al final, a mis compañeros de Mozambique y en especial a Chaneta D. Araujo, por compartir conmigo esta etapa mientras duró el curso en la República de Chile.

DEDICATORIA

Dedico:

Al Santo Dios, por haberme dado la vida y el coraje y sabiduría necesarias para la realización de mi tesis y asimismo lograr mi meta;

A mis padres Jonas Diche Sumburane y Marília Naife por haberme dado la vida, amor y cariño.

A mis suegros Elias Manuel Mambonhe y Élia Mambonhe por su amor y cariño.

A mi familia por ofrecer todo su apoyo incondicional y en particular a mi esposa, Liliana M. M. Muacha y mis hijas Marcela B. Muacha y Michel B Muacha por brindarme amor y cariño durante mi carrera.

A mis compañeros del curso Sandra Sopalda, Helder Miteca, Marlon Pineda, y Roger Arita por haber formado un grupo enérgico de estudios.

ÍNDICE

Contenido

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA	ii
ÍNDICE	iii
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT	viii
INTRODUCCIÓN	1
PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	3
OBJETIVOS	3
General.....	3
Objetivos específicos	3
METODOLOGIA	4
Variables medidas.....	7
Análisis estadísticos.....	8
Capítulo 1: Asociado a objetivo 1	8
Capítulo 2: Asociado al objetivo 2.	11
Capítulo 3: Asociado al objetivo 3.	12
RESULTADOS.....	13
Capítulo 1.....	13
Comportamiento del rendimiento y otras variables agronómicas de maíz según ambiente	13
Comportamiento del rendimiento y otras variables agronómicas de maíz según programa.....	13
Estabilidad de los programas para el carácter rendimiento	15
Capítulo 2.....	18
Comparación del rendimiento del programa IIAM con otros programas de mejoramiento ejecutados en Mozambique (6 programas en 4 ambientes).....	18
Comportamiento del rendimiento y otras variables agronómicas de maíz según ambiente (2018).....	18
Comportamiento del rendimiento y otras variables agronómicas de maíz según programa (2018)	18
Estabilidad de los programas para el carácter rendimiento en los cuatro ambientes (2018).....	20
Identificación de mega-ambientes (2018)	22
Variabilidad de los genotipos dentro de los programas (2016).....	23
.....	24
Variabilidad de los genotipos dentro de los programas (2018).....	24

Asociación de las variables estudiadas	26
Análisis de componentes principales (CP) para Ambiente en 2018	27
.....	27
DISCUSIÓN	28
Rendimiento en los ambientes de Mozambique	28
Interacción Programa x Ambiente	30
Variabilidad de los genotipos dentro de cada programa.....	32
CONCLUSIONES	33
BIBLIOGRAFÍA.....	34
APENDICES.....	42
Apéndice 1a. Supuesto de homogeneidad de la varianza (Prueba de Levene).....	43
Apéndice 1b. Normalidad de los errores (Prueba de Shapiro-Wilks)	43
Apéndice 1c. Grafico Q-Q Plot con los errores	43
Apéndice 2a. Análisis de la varianza (ocho ambientes)	44
Apéndice 2b. Análisis de la varianza (2018)	44
Apéndice 3. Análisis de regresión lineal para ASI (días) y R.Grano (Kg ha ⁻¹).....	44
Apéndice 4. Matriz de correlación para programa y genotipos/Coeficientes (2016) ...	45
Apéndice 5. Matriz de correlación para programa y genotipos/Coeficientes (2018) ...	46
Variables de clasificación= Programa y Genotipo	46
Apéndice 6. Matriz de correlación para ambientes/Coeficientes (CP ocho ambientes)	46
Apéndice 7. Matriz de correlación para ambientes/Coeficientes (cuatro ambientes)...	47
Apéndice 8. N°Plt ha ⁻¹ de los seis programas en cuatro ambientes del 2018 (n= 3)....	47
Apéndice 9. Rendimiento promedio de los genotipos dentro de los programas WEMA- CIMMYT, IIAM (2018), DTMA-CIMMYT y el grupo Control	48
Apéndice 10. Rendimiento promedio de los genotipos dentro de cada programa 2018	49
ANEXOS.....	50
Anexo 1: LCD digital medidor de humedad de maíz y soja, Modelo SKZ111B-1.....	51
Anexo 2.....	51
a) Balanza digital mini.....	51
b) Balanza de precisión de 30kg.....	51

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Genotipos evaluados en 2018	5
Cuadro 2. Genotipos evaluados en 2016	6
Cuadro 3. Especificaciones del proceso de siembra y de cosecha.....	6
Cuadro 4. Comportamiento promedio del ambiente independiente de programa (n=9)	13
Cuadro 5. Comportamiento promedio del programa independiente de ambiente (n=24)	14
Cuadro 6. Porcentaje de la suma de cuadrados para todas las variables evaluadas en los ocho ambientes.	14
Cuadro 7. Rendimiento (Kg ha^{-1}) de los tres programas en ocho ambientes (n=3).....	15
Cuadro 8. Comportamiento promedio del ambiente independiente de programa (n=18)	18
Cuadro 9. Comportamiento promedio del programa independiente de ambiente (n=12)	19
Cuadro 10. Porcentaje de la suma de cuadrados año 2018.....	19
Cuadro 11. Rendimiento (Kg ha^{-1}) de los seis programas en cuatro ambientes del 2018 (n= 3)	20

Índice de Figuras

Figura 1. Localidades de Mozambique donde los experimentos fueron realizados.....	4
Figura 2. Relación lineal entre el rendimiento promedio de los programas y el índice ambiental (IA).....	16
Figura 3. Biplot asociado al modelo AMMI1 donde 1= WEMA-CIMMYT, 2- DTMA-CIMMYT y 3= Control	16
Figura 4. GGE biplot para la identificación de los mejores programas en cada sitio...	17
Figura 5. Relación lineal entre el rendimiento promedio de los programas y el índice ambiental (IA) en kg ha-1; $\alpha=0,05$	21
Figura 6. Biplot asociado al modelo AMMI1 (2018) donde, 1= WEMA-CIMMYT, 2- Sygenta, 3- Klein Karoo, 4- IIAM y 5- DTMA-CIMMYT y 6= Control	22
Figura 7. PPE biplot para la identificación de los mejores programas en cada sitio (2018).....	23
Figura 8. Biplot (CP1 y CP2) Genotipo vs Programa (2016) y caracteres.....	24
Figura 9. Biplot (CP1 y CP2) Genotipo vs Programa (2018) y caracteres.....	25
Figura 10. Biplot (CP1 y CP2) Ambiente y caracteres.....	26
Figura 11. Biplot (CP1 y CP2) Ambiente (2018) y caracteres	27

RESUMEN

Se realizaron experimentos multiambientes en ocho ambientes, involucrando 47 genotipos de maíz (*Zea mays* L.) provenientes de los principales programas de mejoramiento genético que liberan maíces para Mozambique, a saber DTMA-CIMMYT, WEMA-CIMMYT, IIAM y Klein Karoo para tolerancia a condiciones de sequía y mejor rendimiento; AGRA para variedades de alto rendimiento, Syngenta para variedades con resistencia a plagas y cuatro variedades (SP-1, WE2101, PAN53 y Matuba) que conforman el grupo Control. Esta tesis busca identificar los programas superiores en términos de rendimiento y estabilidad en condiciones de sequía en el norte y sur del país. Los experimentos se llevaron a cabo en cuatro localidades de Mozambique, en los años 2016 y 2018, con un diseño de bloques completamente aleatorizados con tres repeticiones. La variable rendimiento se analizó en primer lugar con un análisis combinado de varianzas con el objeto de identificar interacciones significativas. Posteriormente se aplicó la prueba de comparaciones múltiples DGC, el análisis de estabilidad, los componentes principales, los métodos de efectos principales aditivos e interacción (AMMI) y de regresión en los sitios (SREG) para estudiar la interacción Programa x Ambiente y definir ambientes que discriminen mejor a los programas, permitiendo el agrupamiento de ambiente y genotipos. La prueba DGC señaló al programa DTMA-CIMMYT como mejor en términos de rendimiento de grano en el ambiente de mayor rendimiento (Umbz-16), dentro de los ocho evaluados en Mozambique, pero menos estable. En ambientes regulares a buenos el mayor rendimiento en grano se logró con el programa IIAM tanto en el sur como norte del Mozambique. En ambientes con un índice ambiental superior, el programa IIAM tuvo un mayor rendimiento, pese a su inestabilidad. Por otra parte, el programa DTMA-CIMMYT tuvo un rendimiento menor que IIAM, pero más estable. Dentro de los programas IIAM, DTMA-CIMMYT, WEMA y del grupo control se destacan con mejor rendimiento los genotipos PFH10-1643, CZH1033, CZH132128 y PAN53, respectivamente. El Intervalo Seda-Antesis (ASI) se correlacionó negativamente con el rendimiento del grano con pérdida de 376,8 kg ha⁻¹ por cada día del aumento del ASI.

Palabras clave: Interacción Programas x Ambiente, ambiente, estabilidad, Mozambique.

ABSTRACT

Multi-environment trials have been carried out in eight environments, involving 47 genotypes of maize (*Zea mays* L.) from the main genetic improvement programs that release maize for Mozambique, namely DTMA-CIMMYT, WEMA-CIMMYT, IIAM and Klein Karoo for tolerance to dry conditions and better performance; AGRA for high-yield varieties, Syngenta for varieties with resistance to pests and four varieties (SP-1, WE2101, PAN53 and Matuba) that make up the Control group. This thesis seeks to identify the superior programs in terms of performance and stability in drought conditions in the north and south of the country. The experiments were carried out in four locations in Mozambique, in 2016 and 2018, with a completely randomized block design with 3 replications. The yield variable was first analyzed with a combined analysis of variance in order to identify significant interactions. Subsequently, the DGC multiple comparisons test, the stability analysis, the main components, the additive main effects and interaction (AMMI) and site regression (SREG) methods were applied to study the Program x Environment interaction and define environments that better discriminate programs, allowing the grouping of environment and genotypes. The DGC test rated the DTMA-CIMMYT program as best in terms of grain yield in the highest yielding environment (Umbz-16) of the eight evaluated in Mozambique, but less stable. In regular to good environments, the highest grain yield is achieved with the IIAM program in both southern and northern of Mozambique. In environments with a higher environmental index, the IIAM program has a higher performance, despite its instability, on the other hand, the DTMA-CIMMYT program has a lower performance than IIAM, but more stable. Within the IIAM, DTMA-CIMMYT, WEMA and control group programs, the genotypes PFH10-1643, CZH1033, CZH132128 and PAN53 respectively with better performance. The Silk-Anthesis Interval (ASI) was negatively correlated with grain yield with a loss of 376.8kg ha⁻¹ for each day of the ASI increasing.

Keywords: Program and Environment interaction, environment, stability, Mozambique.

INTRODUCCIÓN

Mozambique, ubicado al este del sur de África, es un país cuya principal actividad económica es la agricultura (Mabilana *et al.*, 2012), la cual absorbe más del 80% de la población activa (MICOA, 2002). Esta actividad está dominada por el sector familiar, con más del 95% de las áreas cultivadas (Mabilana *et al.*, 2012) donde los agricultores familiares asignan entre el 20 y el 60% de sus tierras agrícolas para producción de maíz (MICOA, 2002), con un rendimiento en grano alrededor de 200 a 600 kg ha⁻¹ (Chaúque *et al.*, 2004). El maíz (*Zea mays* L.) juega un papel importante en la nutrición humana y animal en todo el mundo (Pandey, 2000) y en Mozambique es uno de los principales cultivos de cereales y que es producido en secano, por lo tanto, juega un papel muy importante en la nutrición humana y animal. La producción se destina al autoconsumo, y sólo los excedentes se comercializan (Mabilana *et al.*, 2012).

Mozambique posee 786.380 km² de tierra-firme (Dos Muchangos, 1999), donde al año 2015, existían 3,9 millones de pequeños agricultores que explotan áreas de 0,25 a 3 ha; 51.872 medianos agricultores que explotan áreas de 3 a 20 ha y solo 728 grandes agricultores que explotan áreas de más de 20 ha (FAEF, 2001). Cerca del 73% de las explotaciones en Mozambique cultivan maíz (MASA, 2015) y más del 95% del área total de maíz está ocupada por pequeños agricultores (Dos Muchangos, 1999). El maíz es un alimento dominante en las regiones centro y sur del país (FAO/Mozambique, 2012-2015), aportando más del 40% del consumo total de calorías de la población (MICOA, 2002).

Estudios desarrollados en el marco del Programa Mundial de Alimentación (WFP) prueban que, al Sur de Mozambique el clima es tropical seco (Umbeluzi y Chókwe) y al Norte (Nampula y Ribáuè) es tropical húmedo. En esta última, aunque las precipitaciones sean regulares, con cerca de 800 mm al largo del ciclo del cultivo, al menos 462 mm se pierden por evapotranspiración (IIAM, 2018), causando un ambiente de sequía que estresa el maíz en los primeros estadios fenológicos de desarrollo vegetativo y en la floración.

En condiciones de sequía se produce una desincronización entre la emisión de seda desde la mazorca y la liberación de polen desde la panoja. El rango de tiempo entre estos dos eventos se conoce como intervalo seda-antesis (ASI) (Dow *et al.*, 1984; Edmeades *et al.*, 2000). La mayor desincronización ocurre entre una semana antes a dos semanas después de 50% de seda (Shaw, 1977) y por ello los rendimientos pueden reducirse prácticamente a cero en condiciones de un estrés severo (Edmeades y Deutsch, 1994). Bajo niveles de estrés hídrico el rendimiento se correlaciona negativamente con el ASI, debido a que un mayor ASI genera las condiciones para una reducción significativa de la producción de granos y mazorcas por planta (Bolaños y Edmeades, 1990). Una selección por menor ASI en condiciones de estrés hídrico puede resultar en genotipos de maíz capaces de proporcionar un 30% más de rendimiento en promedio en condiciones de sequía durante la floración y el llenado de granos (Edmeades y Deutsch, 1994). Por este motivo el ASI es un carácter muy utilizado en los programas de mejoramiento genético de maíz para condiciones de

estrés. Este carácter tiene una alta heredabilidad en condiciones de estrés severo en floración (Bänzinger *et al.*, 2000) lo que confirma la utilidad del uso de este carácter secundario para selección de genotipos para tolerancia al estrés (Betrán *et al.*, 2003).

En Mozambique se han desarrollado genotipos de maíz de alto rendimiento que alcanzan hasta los 10.000 kg ha⁻¹ en condiciones controladas, sin embargo, los rendimientos a nivel de los productores son muy bajos, con 931 kg ha⁻¹ registrados en la temporada agrícola 2017 (FAOSTAT, 2017).

Después que Mozambique se independizó, en 1975, se crearon instituciones públicas con el objetivo de desarrollar trabajos de investigación agrícola tales como el Instituto Nacional de Investigación Agronómica (INIA), Instituto Nacional de Investigación Veterinaria (INIV), Instituto de Producción Animal (IPA) y Centro de Experimentación Forestal (CEF). Un año después fueron cerrados debido a la guerra civil de desestabilización a lo largo de 16 años. En 1992 se alcanza la paz que promueve una reconstrucción y reorganización que ha atraído distintos programas. Entre ellos destaca el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) en el año 2000, que colaboró en la creación de nuevas variedades junto al Instituto de Investigación de Mozambique (IIAM), la principal institución de investigación agraria del país que se formó producto de la fusión entre las primeras instituciones mencionadas anteriormente en el año 2005. Su objetivo es ejecutar políticas, estrategias, programas y proyectos de investigación agraria en su área geográfica a través de distintos programas de mejoramiento de cultivos, en particular maíz. Estas iniciativas han dado como resultado el desarrollo de genotipos mejorados para condiciones de sequía en colaboración con el programa DTMA-CIMMYT (2010-2018) orientado a generar maíz tolerante a la sequía para África, y WEMA-CIMMYT (2009-2018) enfocado en generar maíz eficiente en el uso del agua para África, y otros como Sygenta y Klein-Karoo para rendimiento de grano y resistencia a factores bióticos y abióticos.

Entre los años 2016 y 2018 se evaluó el rendimiento de nuevos genotipos de maíz que provienen de los principales programas de mejoramiento en Mozambique. Estos fueron evaluados en experimentos multi-ambientes al norte y sur del país en condiciones no regadas con el fin de identificar programas con los mejores genotipos para estas zonas del país. En base a lo anteriormente indicado, en este trabajo se planteó estudiar los resultados obtenidos por cada programa para identificar variables que puedan ser útiles para el desarrollo sostenible de futuras variedades de maíz para Mozambique.

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Son similares en términos de rendimiento y estabilidad de rendimiento los genotipos de maíz provenientes de los principales programas de mejoramiento genético de Mozambique?

OBJETIVOS

General

Analizar el resultado de los principales programas de mejoramiento de genotipos de maíz cultivados en la zona sur y norte de Mozambique.

Objetivos específicos

1. Analizar el rendimiento promedio de tres programas de mejoramiento de genotipos del maíz en ocho ambientes de la zona sur y norte de Mozambique.
2. Comparar el programa IIAM con los otros programas en cuatro ambientes de la zona sur y norte de Mozambique.
3. Estudiar la variabilidad de los genotipos dentro de los programas.

METODOLOGIA

Se analizó la información proveniente de un experimento en que se evaluaron 8 grupos de programas (tratamientos) que consideró un total de 47 genotipos de maíz (Cuadros 1 y 2), en 8 ambientes (Cuadro 3) en Mozambique.

Los experimentos de los programas de maíz se llevaron a cabo en los años 2016 y 2018 en cuatro localidades de Mozambique, donde Umbeluzi y Chókwè se ubican en las regiones agroecológicas R1 y R3, respectivamente, ambas al sur del país y al norte Nampula y Ribáuè perteneciente a la región R7 (Figura 1).

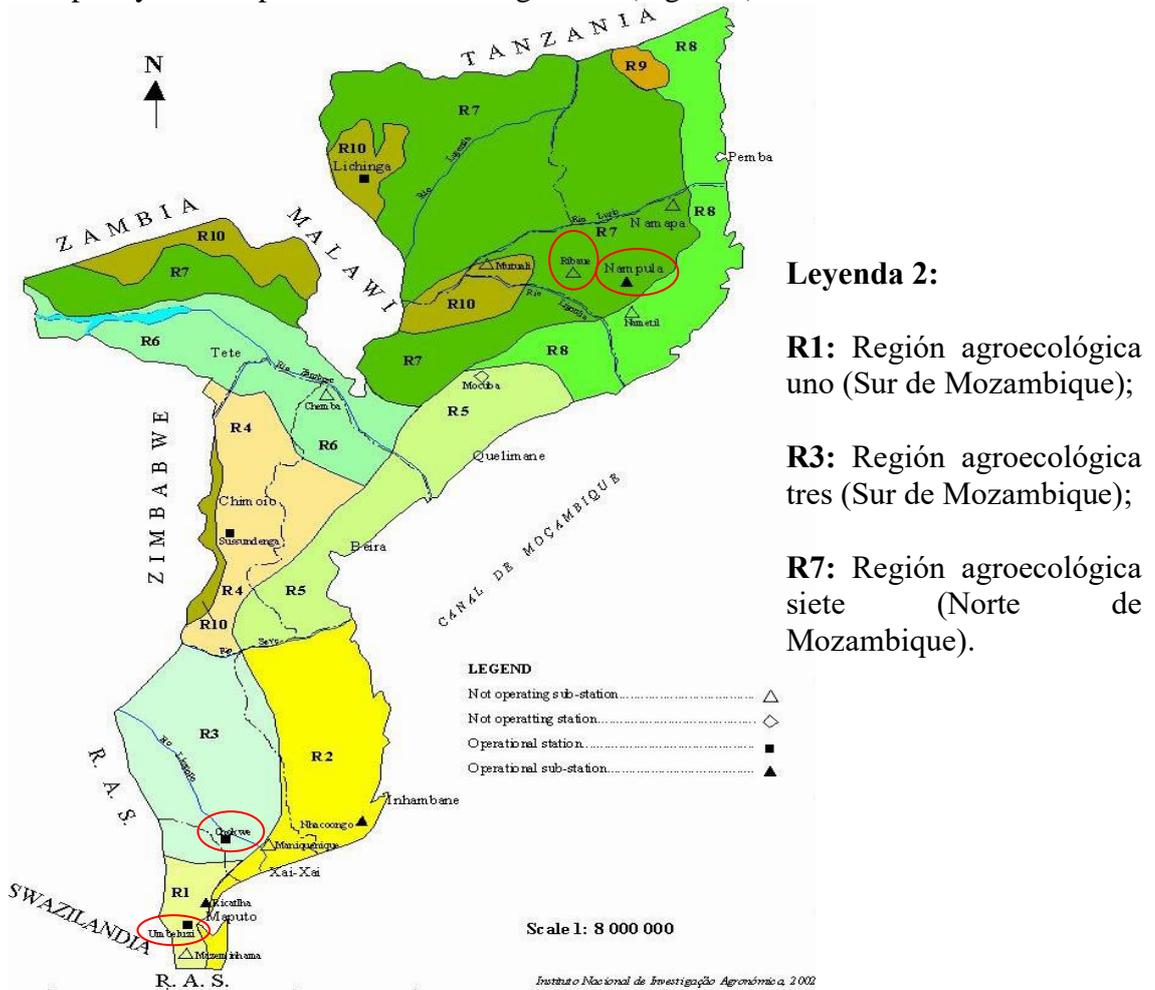


Figura 1. Localidades de Mozambique donde los experimentos fueron realizados.

En el año 2016 y 2018 se evaluaron tres grupos de programas (Control, WEMA y DTMA) en 8 ambientes (2 temporadas y 4 localidades) en que se evaluaron los genotipos modernos de maíz, donde cuatro genotipos formaron el grupo control (testigo) (Cuadros 1 y 2), que corresponden a los híbridos mejorados (SP-1, WE2101 y PAN53) y genotipo Matuba, de polinización abierta (OPV), y que el departamento de semillas en Mozambique recomienda como referencia porque son los que han sido aceptados por los productores.

En el año 2018, a estos programas se sumaron genotipos de los programas IIAM,

Syngenta y Klein Karoo, totalizando un total 6 programas (Cuadro 1).

Los genotipos fueron analizados a de un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Cada genotipo fue sembrado en dos hileras de 5 m cada una a una distancia entre hilera de 80 cm, que corresponden a una unidad experimental de 40 plantas (8 m²).

Cuadro 1. Genotipos evaluados en 2018

Programa	Genotipo	Tipo	Origen	Colaborador
DTMA-CIMMYT ¹	CZH15181	Híbrido	DTMA	CIMMYT
	CZH15186	Híbrido	DTMA	CIMMYT
	CZH15230	Híbrido	DTMA	CIMMYT
	Tsangano	OPV	DTMA	CIMMYT
WEMA-CIMMYT ²	WE2112	Híbrido	WEMA	CIMMYT
	WE4145 (CZH132169)	Híbrido	WEMA	CIMMYT
Klein Karoo ³	Nelson Choice	Híbrido	Klein Karoo	
Syngenta ⁴	SY5944	Híbrido	Syngenta	
	SY6444	Híbrido	Syngenta	
IIAM ⁵	ENH10-1502	Híbrido	IIAM	
	ENH10-1508	Híbrido	IIAM	
	PFH10-1001	Híbrido	IIAM	
	PFH10-1002	Híbrido	IIAM	
	PFH10-1012	Híbrido	IIAM	
	PFH10-1201	Híbrido	IIAM	
	PFH10-1642	Híbrido	IIAM	
	PFH10-1643	Híbrido	IIAM	
	PFH10-1644	Híbrido	IIAM	
	PFH10-1645	Híbrido	IIAM	
	PFH10-1646	Híbrido	IIAM	
Control	SP-1	Híbrido	DTMA	CIMMYT
	WE2101	Híbrido	WEMA	CIMMYT
	PAN53	Híbrido	PAN-NAR ⁶	
	Matuba ¹	OPV ⁷	IIAM	

¹ Maíz tolerante a la sequía para África, Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo

² Maíz Eficiente en Agua para África, Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo

³ Empresa de producción y comercialización de semillas con presencia en África y en el mundo

⁴ Empresa Syngenta semillas

⁵ Instituto de Investigación Agraria de Mozambique

⁶ Compañía Sudafricana de Semillas

⁷ OPV (Open Pollination Variety): genotipos de polinización abierta

Cuadro 2. Genotipos evaluados en 2016

Programa	Genotipo	Tipo	Origen	Colaborador
DTMA- CIMMYT ¹	CZH1110	Híbrido	DTMA	CIMMYT
	CZH132043	Híbrido	DTMA	CIMMYT
	CZH116	Híbrido	DTMA	CIMMYT
	CZH1221	Híbrido	DTMA	CIMMYT
	CZH1033	Híbrido	DTMA	CIMMYT
WEMA- CIMMYT ²	CZH132222	Híbrido	WEMA	CIMMYT
	CZH132215	Híbrido	WEMA	CIMMYT
	CZH132218	Híbrido	WEMA	CIMMYT
	CZH132128	Híbrido	WEMA	CIMMYT
	WE4501	Híbrido	WEMA	CIMMYT
	WE4502	Híbrido	WEMA	CIMMYT
	WE2109	Híbrido	WEMA	CIMMYT
	WE2112	Híbrido	WEMA	CIMMYT
	WE4132	Híbrido	WEMA	CIMMYT
	WE3127	Híbrido	WEMA	CIMMYT y Monsanto
Control	SP-1	Híbrido	DTMA	CIMMYT
	WE2101	Híbrido	WEMA	CIMMYT
	PAN53	Híbrido	PANNAR ³	
	Matuba	OPV ⁵	IIAM ⁴	

¹ Maíz tolerante a la sequía para África; Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo

² Maíz Eficiente en Agua para África; Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo

³ Compañía Sudafricana de Semillas

⁴ Instituto de Investigación Agraria de Mozambique

⁵ OPV (Open Pollination Variety): genotipos de polinización abierta

Cuadro 3. Especificaciones del proceso de siembra y de cosecha

Localidad	Ambiente	Fecha de siembra	Densidad de plantas m ⁻²	Tratamiento	Fecha de cosecha
				Contra Down mildew (moho)	
Temporada 2015-2016					
Chókwè	Ckw_16	10/Enero/2016	5		20/Mayo/2016
Umbeluzi	Umbz_16	26/Enero/2016	5	Apron star 20%	16/Junio/2016
Ribáuè	Rbw_16	20/Enero/2016	5	250g/100kg semillas	04/Junio/2016
Nampula	Npl_16	12/Enero/2016	5		27/Mayo/2016

Temporada 2017-2018					
Chókwè	Ckw_18	06/Enero/2018	5		17/Mayo/2018
Umbeluzi	Umbz_18	16/Marzo/2018	5	Apron star 20%	21/Agosto/2018
Ribáuè	Rbw_18	05/Enero/2018	5	250g/100kg semillas	12/Mayo/2018
Nampula	Npl_18	29/Diciembre/2017	5		07/Mayo/2018

Variables medidas

Intervalo floración masculina a floración femenina (ASI): Se determinó por la diferencia entre la fecha de floración femenina y masculina. Se consideró que las floraciones femenina y masculina ocurrirán cuando al menos el 50% de las plantas de la unidad experimental tenían la antesis y seda expuesta respectivamente.

Altura de planta (A.Pl_t (cm)): Al momento de floración masculina, se seleccionaron al azar 10 plantas por unidad experimental y con una cinta métrica se midió su altura desde la base del tallo hasta la inserción de la última hoja de la planta (en la panoja).

Altura de inserción de la mazorca (A.Mz (cm)): A la cosecha, se seleccionaron al azar 10 plantas y se midió su altura con una cinta métrica desde la base del tallo hasta la inserción de la primera mazorca.

Número de las Plantas ha⁻¹ a la cosecha (N°Pl_t ha⁻¹): Se determinó contando el número total de las plantas al momento de la cosecha en cada unidad experimental. Luego se extrapoló con la fórmula [(N°Pl_t /8m²) * 10000 m²].

Número de Mazorcas a la cosecha (N°Mz ha⁻¹ (cosecha)): Se determinó contando el número total de las mazorcas en las plantas a la cosecha en cada unidad experimental de 8m² (dos hileras de 5m). Luego se extrapoló con la fórmula [(N°Mz/8m²) * 10.000 m²].

Número de Mazorcas por planta cosechada (N°Mz/pl_t (cosechada)): Se calculó con la fórmula [(N°Mz ha⁻¹ (cosecha))/ N°Pl_t ha⁻¹ a la cosecha].

Peso de Mazorca (P.Mz) en kg ha⁻¹: Al momento de la cosecha se determinó el peso total de las mazorcas de la unidad experimental pesando en una balanza de mano digital mini romana con capacidad máxima de 30 kg a la vez por unidad experimental de 8m² (Anexo 2 a). Luego se extrapoló con la fórmula [(P.Mz/8m²) * 10000 m²].

Rendimiento en Grano (R.Grano) en Kg ha⁻¹: A partir de los parámetros peso del grano, humedad del grano y área de la unidad experimental se estimó el rendimiento de cada genotipo el que fue expresado en Kg ha⁻¹. La expresión utilizada fue:

$PS = PF - (PF * \%H)$, Donde: PS es el peso seco, PF el peso fresco y %H la fracción de agua en granos.

El peso fresco del grano de cada parcela se midió por medio de una balanza digital de 30 kg (Anexo 2 b), una vez trilladas las mazorcas cosechadas por cada unidad experimental. Hay que destacar que hubo mazorcas sin hileras completas de granos.

La humedad de cada genotipo (%H) se determinó usando un medidor digital de humedad (LCD) de maíz y soja, Modelo SKZ111B-1 (Anexo 1), origen- Shandong- China.

Análisis estadísticos

El análisis estadístico estará dividido en tres capítulos, cada uno asociado a un objetivo específico.

Capítulo 1: Asociado a objetivo 1

Para comparar tres grupos (Control, programa WEMA y programa DTMA) que se probaron en los ocho ambientes siendo que, los dos últimos son de mejoramiento. Dado el desbalance de los materiales de prueba (híbridos) de los programas (cuadro 1 y 2), se promedió en cada bloque los distintos genotipos de maíz pertenecientes a cada grupo o programa. Asimismo, se obtuvo un dato de cada programa en cada bloque, manteniendo los tres bloques del experimento original. Con esto se consideraron tres grupos con tres bloques evaluados en 8 ambientes (2 temporadas y 4 localidades). Para este capítulo se consideraron los tres grupos señalados dado que, fueron los únicos probados en las dos temporadas (2016 y 2018). A continuación, la información generada se sometió a los siguientes análisis.

Análisis de varianza

Las medias de los caracteres evaluados fueron sometidas al análisis de la varianza (ANDEVA) a través del software estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2018), para análisis combinado de varianza afín de identificar interacciones significativas según el modelo y cuantificarlas por el porcentaje de la suma de cuadrados. Para explicar el comportamiento de cualquier programa en los diferentes ambientes de evaluación se realizó un análisis combinado de varianza con el modelo $Y_{ijk} = \mu + a_k + (r_j)_k + p_i + (pa)_{ik} + \varepsilon_{ijk}$ a través del módulo de modelos mixtos (ingresando como modelo mixto), modelos lineales generales y mixtos, en el cual se ingresó como variable dependiente al rendimiento de grano (kg ha^{-1}), criterio de clasificación bloque, Ambiente, Programa:

$$Y_{ijk} = \mu + p_i + e_j + (pa)_{ij} + b(e)_{k(j)} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

$i = 1, 2$ y 3 Programas

$j = 1, 2, \dots, 8$ Ambientes

$k = 1, 2, 3$ Bloques

Y_{ijk} = Comportamiento medio del programa “i” en el ambiente “j” y bloque “k”.

μ = Media general a través de todos los ambientes.

p_i = Efecto del i^{th} Programa;

e_j = Efecto del j^{th} ambiente.

$(pa)_{ij}$ = Efecto de la interacción del i^{th} Programa en el j^{th} ambiente.

$b(e)_{k(j)}$ = efecto del k^{th} Bloque anidado al i^{th} Ambiente;

ε_{ijk} = Error experimental combinado.

Parte fija = $p_i + e_j + (pa)_{ij}$

Parte aleatoria = $b(e)_{k(j)}$.

Tomando en consideración el modelo propuesto, se verificaron los supuestos de análisis de varianza:

El supuesto de independencia se cumplió por medio de aleatorización dentro de cada bloque y de manera separada en los tres bloques para cada ambiente.

Para el supuesto de homogeneidad de varianza (Homocedastidad), se realizó la Prueba de Levene a través de los residuos absolutos (RABS) y programas para el carácter R.Grano (Kg ha^{-1}), inferido con los valores de p-valor y α a 5% y. Lo anterior se cumple si el p-valor es mayor que α (Apéndice 1).

Para el supuesto de distribución normal de los errores, se realizó la Prueba de Shapiro-Wilks modificado (Apéndice 2a) y la gráfica Q-Q- Plot con los residuos (Apéndice 2b).

Para la comparación de medias, se utilizó la prueba de comparaciones múltiples DGC al 5% ($\alpha = 0,05$), que constituye un método (sin solapamiento de letras entre las medias) recomendable para comparar 5 o más medias (Di Rienzo *et al.*, 2001).

Análisis de estabilidad

Para estudiar la estabilidad del rendimiento en grano de cada uno de estos tres programas, se usó:

a) Modelo Propuesto por Eberhart y Russell (1966) para definir los parámetros para el estudio de la estabilidad de rendimiento:

$$Y_{ij} = \mu_i + \beta_i I_j + \delta_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = promedio del programa i en el ambiente j .

μ_i = media del programa i en todos los ambientes.

β_i = coeficiente de regresión que mide la respuesta del programa i a la variación ambiental.

I_j = índice ambiental.

δ_{ij} = desvío de la regresión del programa i en el ambiente j .

ε_{ij} = desviación de la regresión del programa y el ambiente. El índice ambiental, en cada ambiente, es calculado por el desvío del promedio de todos los programas en ese ambiente, en relación con el promedio general: $I_j = Y_j - \bar{Y}$.

b) Modelo de Análisis de Componentes Principales Aditivos e Interacciones Multiplicativas (Modelo AMMI) (Crossa, 1996).

Para analizar la relación que tienen todas las variables, sobre el carácter rendimiento para 3 programas (Control, WEMA y DTMA) en 8 ambientes.

A través del software estadístico InfoGen (Balzarini *et al.*, 2017):

- AMMI 1

Para identificar los programas más estables.

El modelo AMMI está representado por la ecuación (Crossa *et al.*, 1988):

$$Y_{ger} = \mu + \alpha_g + \beta_e + \sum_n \lambda B \gamma_{gn} \delta_{en} + P_{ge} + \varepsilon_{ger}$$

Donde:

Y_{ger} = rendimiento del $i^{\text{ésimo}}$ programa “g” en el $j^{\text{ésimo}}$ ambiente “a” y para la repetición r .

Los parámetros aditivos son:

μ = gran media.

α_g = desviación del programa g de la gran media.

β_e = desviación del ambiente a .

Los parámetros multiplicativos son:

$B \lambda_n$ = valor singular para el eje n del componente principal de interacción (CPI).

$B \gamma_{gn}$ = eigenvector del programa g para el eje n .

δ_{en} = eigenvector del ambiente e para el eje n .

P_{ge} = Sumatoria de los ejes que no están explicado por los vectores (residuo de IGA).

ε_{ger} = desviación del programa g en ambiente e la repetición r .

Identificación de Mega ambientes

Análisis de Regresión por Sitio (SREG) utilizando biplot GGE: Para identificar mega-ambientes (programa específico para ambientes específicos), se consideraron tres grupos (Control, WEMA y DTMA) en 8 ambientes.

El modelo utilizado en este trabajo corresponde al propuesto por Yan *et al.*, (2000), basado en un biplot GGE, el cual considera el efecto principal del Programa (P) como de efecto multiplicativo junto con la interacción Programa por Ambiente (PxA), donde la capacidad adaptativa de los programas es más importante para la selección y formación de mega-ambientes que las condiciones agroclimáticas (Camargo-Buitrago *et al.*, 2011). El biplot está construido por los dos primeros componentes de un análisis de componentes principales, utilizando el modelo de regresión por sitios (SREG), según el siguiente modelo lineal:

$$Y_{ij} - \bar{Y}_j = (\lambda_1 \xi_{i1} \eta_{j1}) + (\lambda_2 \xi_{i2} \eta_{j2}) + \varepsilon_{ij},$$

Donde:

Y_{ij} = promedio del rendimiento del programa i en el ambiente j ;

\bar{Y}_j = es la media de los programas en el ambiente j (media marginal);

$\lambda_1 \xi_{i1} \eta_{j1}$ = representa el primer componente principal (Cp1);

$\lambda_2 \xi_{i2} \eta_{j2}$ = representa el segundo componente principal (Cp2);

λ_1 y λ_2 = son los auto valores asociados a los Cp1 y Cp2,

ξ_{i1} y ξ_{i2} = son los auto vectores de programas i para el primero y segundo componente principal, respectivamente;

η_{j1} y η_{j2} = son los auto vectores de los ambientes j para el primero y segundo componente principal, respectivamente;

ε_{ij} = es el error experimental asociado a lo programa i en el ambiente j .

Análisis de componentes principales (CP)

Con el fin de explicar la variabilidad de los programas y de los ambientes en relación con todas las variables en estudio, se realizó un análisis de componentes principales, que consistió en construir variables no observables (componentes) a partir de variables observables (las variables analizadas). Las nuevas variables (componentes principales) fueron obtenidas como combinaciones lineales de las variables originales y fueron representadas en un Biplot (Balzarini *et al.*, 2005).

Capítulo 2: Asociado al objetivo 2.

Dado que el programa IIAM, sólo fue evaluado en el año 2018, se analizaron de manera separada los seis programas evaluados en los cuatro ambientes del 2018. Para ello se realizó la misma metodología descrita en el capítulo 1.

Capítulo 3: Asociado al objetivo 3.

Para esto se realizó un análisis de componentes principales para todos los genotipos de los programas evaluados en los capítulos 1 y 2.

Componentes principales

Con el fin de explicar la variabilidad de los genotipos de cada uno de los programas y de los ocho ambientes en relación con todas las variables en estudio, se realizó un análisis de componentes principales, que consistió en construir variables no observables (componentes) a partir de variables observables (las variables a analizar). Las nuevas variables (componentes principales) fueron obtenidas como combinaciones lineales de las variables originales y fueron representadas en un Biplot (Balzarini *et al.*, 2005).

RESULTADOS

Capítulo 1

Comportamiento del rendimiento y otras variables agronómicas de maíz según ambiente

El mayor R.Grano se obtuvo en el ambiente Umbz-16 (4.734 Kg ha⁻¹) y el menor R.Grano se obtuvo en los ambientes Npl-16, Npl-18 y Rbw-18 con un valor promedio de 329 Kg ha⁻¹. Los ambientes estudiados provocaron una gran variación en todas las variables estudiadas. Hubo una importante pérdida de plantas a lo largo del ciclo del cultivo, considerando que la densidad esperada era de 50.000 plantas ha⁻¹, a la cosecha solo hubo entre un 85 y 41% de estas dependiendo del ambiente. En los mejores ambientes el 93% de las plantas cosechadas tuvo mazorcas, mientras que en el peor ambiente sólo el 49%. El ASI fluctuó entre 1,5 a 7 días. Finalmente se observó una gran diferencia en el peso de cada mazorca la cual fluctuó entre 32 y 240 g (Cuadro 4).

Cuadro 4. Comportamiento promedio del ambiente independiente de programa (n=9)

Ambiente	ASI (días)	A.Pl _t (cm)	A.Mz (cm)	N°Pl _t ha ⁻¹ (Pl _t ha ⁻¹)	N°Mz ha ⁻¹ (cosecha)	N°Mz/pl _t (cosechada)	P.Mz (g ha ⁻¹)	R.Grano (Kg ha ⁻¹)
Ckw-16	2,3 d	163 c	99 b	42.833 a	41.028 a	0,96 a	91 b	1.594 c
Ckw-18	1,2 d	221 a	122 a	42.396 a	40.243 a	0,95 a	110 b	2.323 b
Npl-16	3,6 c	97 e	40 e	38.445 b	26.604 b	0,69 b	32 c	490 d
Npl-18	7,2 a	95 e	37 e	20.556 d	10.035 d	0,49 c	45 c	250 d
Rbw-16	5,2 b	143 d	59 d	36.847 b	30.326 b	0,82 a	137 b	2.082 b
Rbw-18	4,4 b	82 f	35 e	27.257 c	16.459 c	0,60 b	16 c	247 d
Umbz-16	1,6 d	192 b	103 b	35.382 b	34.368 a	0,97 a	240 a	4.734 a
Umbz-18	0,9 d	165 c	90 c	37.083 b	35.764 a	0,96 a	132 b	2.472 b
Media General	3	145	73	35.100	29.353	0,81	100	1.774
D.E	2	50	34	7.600	11.143	0,19	72	1.511
CV	37,8	7	10	12	23	44	57	34

ASI- Intervalo Seda-Antesis; N°Pl_t- Número de planta; A.Pl_t- Altura de planta; A.Mz- Altura de mazorca; N°Mz- Número de mazorca; P.Mz- Peso de Mazorca y R.Grano- Rendimiento en grano.

Letras minúsculas diferentes en sentido vertical indican diferencias significativas $P < 0,05$ según prueba DGC.

Comportamiento del rendimiento y otras variables agronómicas de maíz según programa

Respecto de los programas, se observó diferencias en R.Grano, A.Pl_t, A.Mz, N°Pl_t ha⁻¹ y N°Mz ha⁻¹. El mayor R.Grano, se alcanzó en el programa DTMA-CIMMYT y el grupo de genotipos Control con 1.906 Kg ha⁻¹ en promedio mientras que, el menor rendimiento se observó en el programa WEMA-CIMMYT con 1.510 Kg ha⁻¹. Considerando que la densidad esperada era de 50.000

plantas m⁻², se observó a la cosecha entre 84% y 65% de plantas. Por otro lado, no se observaron diferencias en el ASI, N°Mz/plt y P.Mz. (Cuadro 5).

Cuadro 5. Comportamiento promedio del programa independiente de ambiente (n=24)

Programa	ASI (días)	A.Pl _t (cm)	A.Mz (cm)	N°Pl _t ha ⁻¹ (Pl _t ha ⁻¹)	N°Mz ha ⁻¹ (cosecha)	N°Mz/pl _t (cosechada)	P.Mz (g ha ⁻¹)	R.Grano (Kg ha ⁻¹)
DTMA-CIMMYT	3a	147a	71b	36.797a	30.888a	0,88a	114a	1.995a
WEMA-CIMMYT	3a	144b	74a	35.807a	30.141a	0,83a	109a	1.510b
Control	3a	143b	75a	32.696b	27.032b	0,75a	121a	1.817a
Media General	3	145	73	35.100	29.353	0,82	115	1.774
D.E	2	2	2	2.140	2.045	0	6	245
CV	71	34	46	23	40	48	82	85

ASI- Intervalo Seda-Antesis; N°Pl_t- Número de plantas; A.Pl_t- Altura de planta; A.Mz- Altura de mazorca; N°Mz- Número de mazorca; P.Mz- Peso de Mazorca y R.Grano- Rendimiento en grano.

Letras minúsculas diferentes en sentido vertical indican diferencias significativas $P < 0,05$ según prueba DGC.

Mediante un análisis combinado de la varianza (ANDEVA) realizado sobre los tres programas en los ocho ambientes, se observó un efecto altamente significativo del ambiente sobre todas las variables estudiadas que explicó entre un 90 y 99% de la variación total observada (Cuadro 6). Se determinó que la interacción programa ambiente (PxA) fue significativa para el rendimiento ($p < 0,01$) y que un 5% de la suma de cuadrados se debe a la interacción, mientras que el programa explicó 1,9%. También se observó interacción programa x ambiente para P.Mz, ASI, A.Pl_t y A.Mz. En las variables que no hubo interacción N°Pl_t ha⁻¹, N°Mz ha⁻¹ tuvieron efecto del programa. El N°Mz/pl_t sólo tuvo efecto del ambiente.

Cuadro 6. Porcentaje de la suma de cuadrados para todas las variables evaluadas en los ocho ambientes.

F.V	ASI (días)	N°Pl _t ha ⁻¹ (Pl _t ha ⁻¹)	A.Pl _t (cm)	A.Mz (cm)	N°Mz ha ⁻¹ (cosecha)	N°Mz/pl _t (cosechada)	P.Mz (g ha ⁻¹)	R.Grano (Kg ha ⁻¹)
Ambiente	93	90	99	99	94	93	93	93
Programa	0,3	5	0,2	0,2	2,0	0,4	0,8	1,9
Programa* Ambiente	6	5	1	1	4	7	6	5
Significancia								
Ambiente	***	***	***	***	***	***	***	***
Programa	ns	**	*	*	*	ns	*	**
Programa* Ambiente	*	ns	*	*	ns	ns	***	**

Ns- no significativo; *- Significativo ($p < 0,05$); **- Muy significativo ($p < 0,01$) y ***- Altamente significativo ($p < 0,001$) según prueba DGC.

Con interacción PxA altamente significativa se observó que en el ambiente de mayor rendimiento (Umbz-16) el programa DTMA-CIMMYT tuvo el mejor comportamiento (5.800 kg ha⁻¹) y el programa WEMA-CIMMYT tuvo el más bajo rendimiento (3.484) kg ha⁻¹. En los ambientes de más bajo rendimiento no se observaron diferencias entre los programas. En los ambientes de rendimiento medio (Umbz-18 y Ckw-18) los mayores rendimientos se lograron con el programa DTMA-CIMMYT y el grupo Control (Cuadro 7). En otro análisis se observó que, dentro de los programas, los mejores rendimientos se produjeron con los genotipos CZH132128 (WEMA-CIMMYT), CZH1033 (DTMA-CIMMYT) y PAN53 (grupo Control) con 2.438, 2.813 y 2.132 Kg ha⁻¹, respectivamente mientras que, los peores rendimientos se produjeron con los genotipos WE4145, Tsangano y Matuba dentro de los programas anteriores, respectivamente (Apéndice 9).

Cuadro 7. Rendimiento (Kg ha⁻¹) de los tres programas en ocho ambientes (n=3).

	Programa			
	DTMA-CIMMYT	WEMA-CIMMYT	Control	
Ambiente	Ckw-16	1.469 e	1.825 e	1.490 e
	Ckw-18	2.542 d	1.789 e	2.636 d
	Npl-16	800 f	253 f	417 f
	Npl-18	356 f	175 f	220 f
	Rbw-16	2.133 e	2.114 e	2.000 e
	Rbw-18	250 f	193 f	298 f
	Umbz-16	5.800 a	3.484 c	4.917 b
	Umbz-18	2.611 d	2.246 e	2.560 d

Medias con letras minúsculas diferentes en sentido horizontal indican diferencias significativas entre los distintos programas dentro de cada ambiente, y medias con letras minúsculas diferentes en sentido vertical indican diferencias significativas entre ambientes dentro de cada programa, $p < 0,05$ según prueba DGC.

Estabilidad de los programas para el carácter rendimiento

Las pendientes de la regresión lineal entre el rendimiento de cada programa y el índice ambiental muestran que el rendimiento en grano del programa DTMA-CIMMYT es más inestable, seguido por el grupo Control que tiene un comportamiento similar a la media de los genotipos. El programa WEMMA-CIMMYT es el de rendimiento más estable, sin embargo, tiene un bajo rendimiento medio que nunca supera a DTMA-CIMMYT ni al grupo Control (Figura-2).

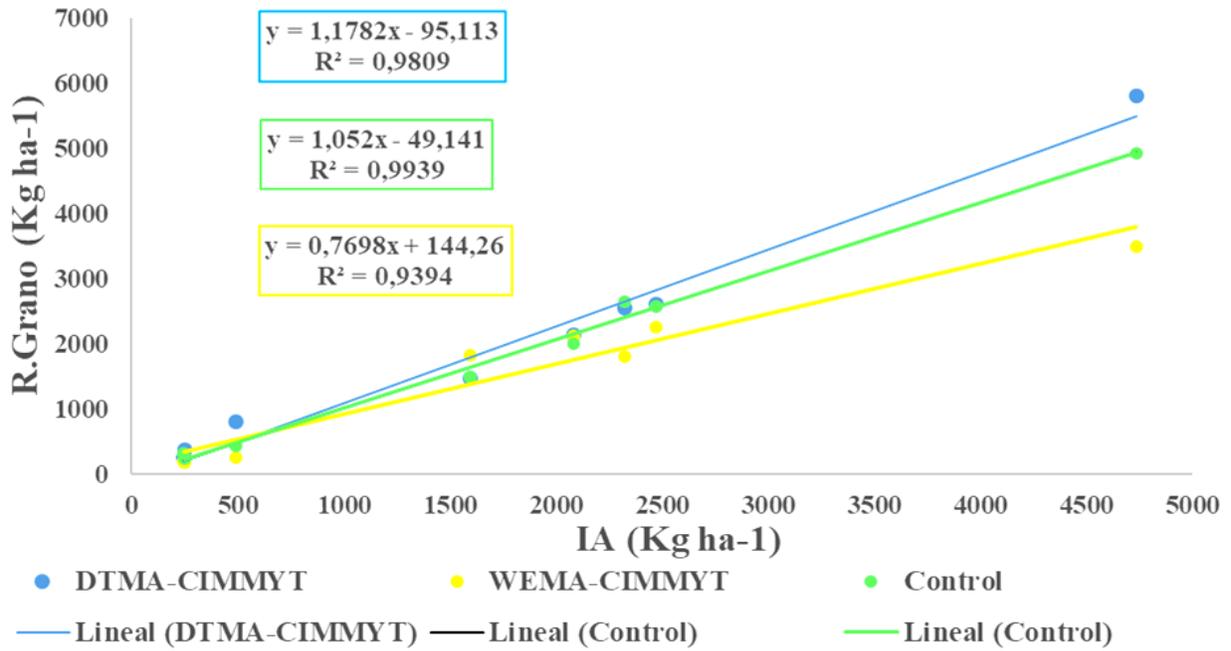


Figura 2. Relación lineal entre el rendimiento promedio de los programas y el índice ambiental (IA) en kg ha⁻¹; α=0,05.

La estabilidad según el AMMI1, muestra que los programas WEMA-CIMMYT y DTMA-CIMMYT son más inestables en su rendimiento que el grupo Control, debido a que los primeros están más distantes de la línea de corte cero de la CP1 (Figura 3).

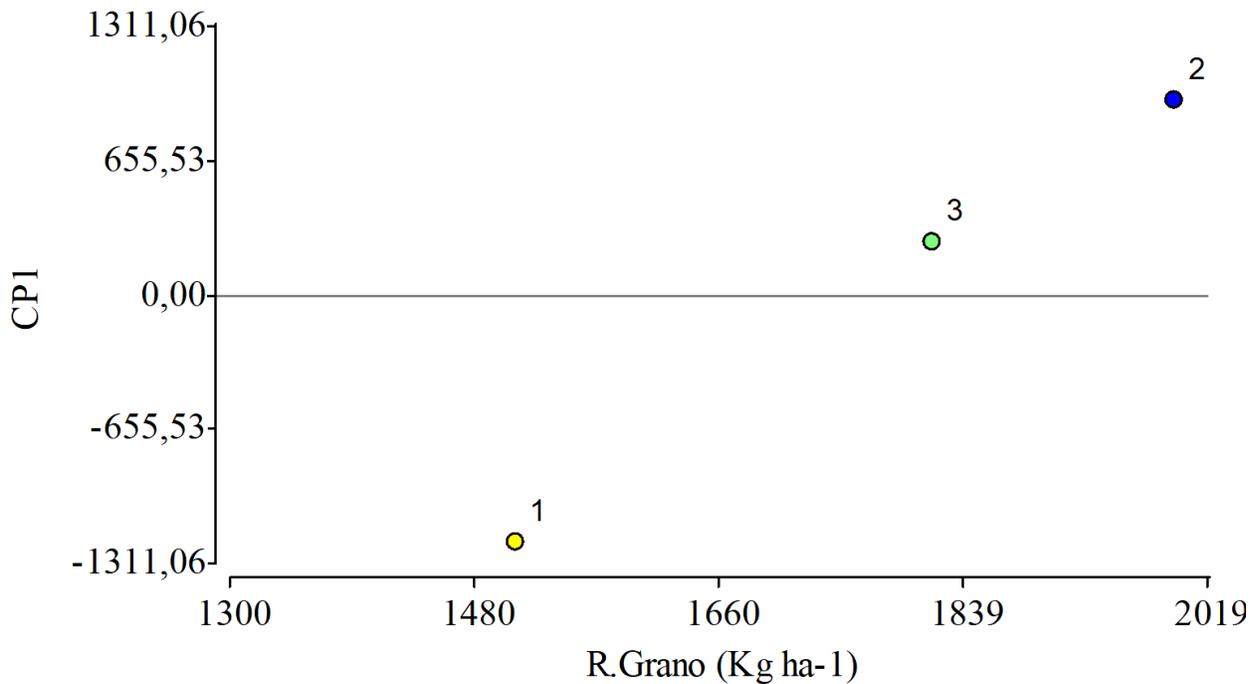


Figura 3. Biplot asociado al modelo AMMI1 donde 1= WEMA-CIMMYT, 2- DTMA-CIMMYT y 3= Control

En la Figura 4 se observa el biplot del análisis SREG que define macro ambientes por programa. En el polígono envolvente de identificadores de programas, los extremos están dados por los programas DTMA-CIMMYT, Control y WEMA-CIMMYT. Los programas que quedan en el vértice son los que más rinden en los ambientes que quedan encerrados en el cuadrante. Asimismo, se observa un gran cuadrante en donde el programa DTMA-CIMMYT logra el mayor rendimiento y que está compuesto por los ambientes Rbw-16, Npl-16 y 18, Umbz-16 y 18, seguido por el cuadrante donde destaca el grupo Control compuesto por los ambientes Rbw-18 y Ckw18, finalmente el tercer cuadrante donde destaca el programa WEMA-CIMMYT se ubican el ambiente Ckw-16 (Figura 4).

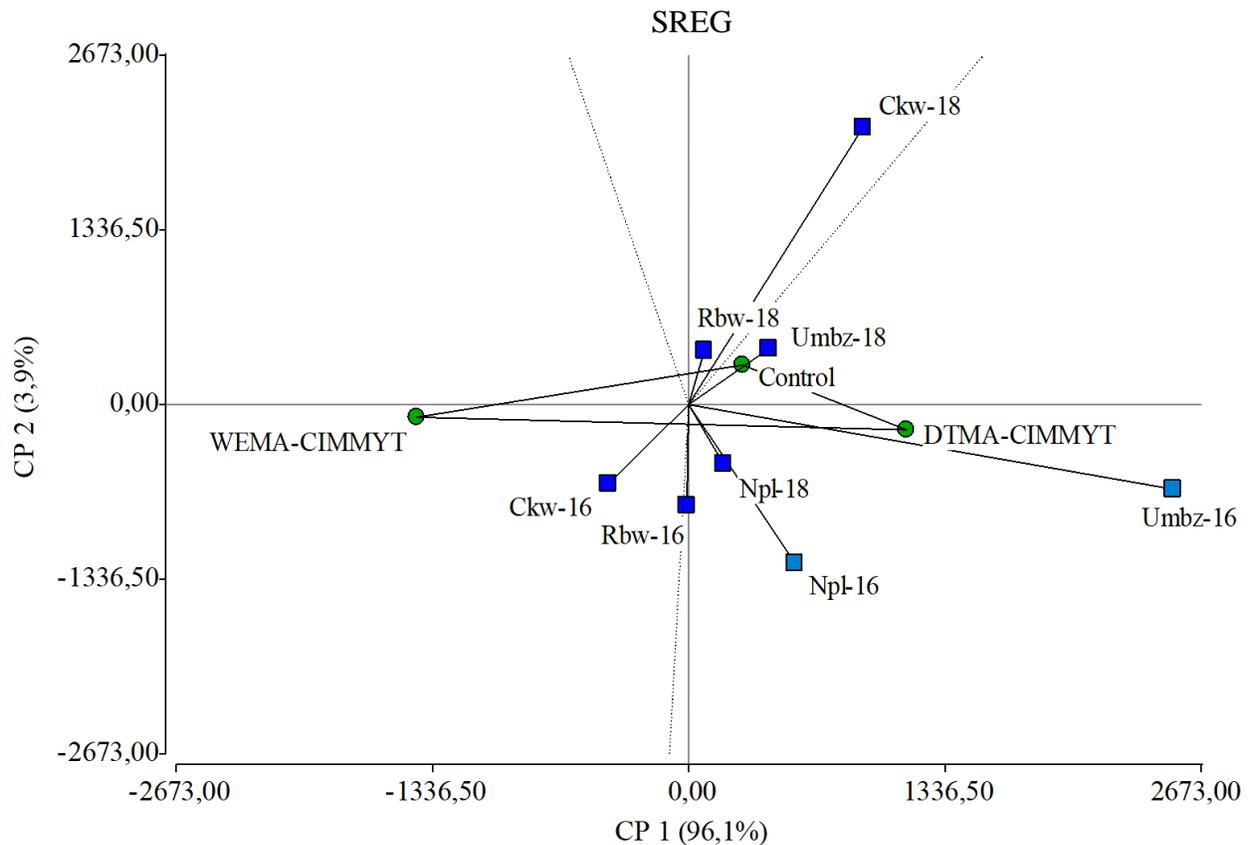


Figura 4. GGE biplot para la identificación de los mejores programas en cada sitio. Puntos verdes representan programas y puntos azules ambientes.

Capítulo 2

Comparación del rendimiento del programa IIAM con otros programas de mejoramiento ejecutados en Mozambique (6 programas en 4 ambientes)

Comportamiento del rendimiento y otras variables agronómicas de maíz según ambiente (2018)

El mayor R.Grano se obtuvo en el ambiente Umbz-18 (2.921 Kg ha⁻¹) en tanto que el menor se obtuvo en los ambientes Npl-18 y Rbw-18 con un valor promedio de 287 Kg ha⁻¹. Los ambientes estudiados provocaron una gran variación en todas las variables estudiadas. Hubo una importante pérdida de plantas a lo largo del ciclo del cultivo, considerando que la densidad esperada era de 50.000 plantas ha⁻¹, a la cosecha solo hubo entre un 77,5 y 55,8% de estas dependiendo del ambiente. En los mejores ambientes el 92,1% de las plantas cosechadas tuvo mazorcas, mientras que en el peor ambiente sólo el 38,8%. El ASI fluctuó entre 0,8 a 7,2 días. Finalmente se observó una gran diferencia en el peso de cada mazorca la cual fluctuó entre 33 y 136 g (Cuadro 8).

Cuadro 8. Comportamiento promedio del ambiente independiente de programa (n=18)

Ambiente	ASI (días)	A.Pl ^t (cm)	A.Mz (cm)	N°Pl ^t ha ⁻¹ (Pl ^t ha ⁻¹)	N°Mz ha ⁻¹ (cosecha)	N°Mz/pl ^t (cosechada)	P.Mz (g ha ⁻¹)	R.Grano (Kg ha ⁻¹)
Rbw-18	4,3b	81,0c	34,0c	27.918b	10.841b	0,6b	33d	213c
Npl-18	7,2a	98,2c	40,5c	20.814c	14.549b	0,5b	65c	361c
Umbz-18	0,8c	161,7b	88,7b	37.854a	35.568a	1,0b	111b	2.921a
Ckw-18	1,3c	223,7a	126,5a	38.739a	35.683a	0,9b	136a	2.433b
Media General	3,4	141,2	72,5	31.331	24.160	0,7	86,0	1.482
D.E	3,0	65,1	43,5	8.557	13.326	0,2	46,1	1.395
CV	50,3	11,1	16,0	18,0	28,8	21,4	28,5	38,9

ASI- Intervalo Seda-Antesis; N°Pl^t- Número de plantas; A.Pl^t- Altura de planta; A.Mz- Altura de mazorca; N°Mz- Número de mazorca; P.Mz- Peso de Mazorca y R.Grano- Rendimiento en grano.

Letras minúsculas diferentes en sentido vertical indican diferencias significativas $p < 0,05$ según prueba DGC.

Comportamiento del rendimiento y otras variables agronómicas de maíz según programa (2018)

Respecto de los programas (2018), se observó diferencias en R.Grano, A.Pl^t, A.Mz y N°Mz ha⁻¹. El mayor R.Grano, se alcanzó en el programa WEMA-CIMMYT, DTMA-CIMMYT, IIAM, Sygenta y el grupo de genotipos Control con 1.565,4 Kg ha⁻¹ en promedio mientras que, el menor rendimiento se observó en el programa Klein Karoo con 1.065 Kg ha⁻¹. Considerando que la densidad esperada era de 50.000 plantas m⁻², se observó a la cosecha entre 66,7% y 56,7% de plantas

dependiendo del programa. Por otro lado, no se observaron diferencias en el ASI, N°Plt ha⁻¹, N°Mz/plt y P.Mz. (Cuadro 9).

Cuadro 9. Comportamiento promedio del programa independiente de ambiente (n=12)

Programa	ASI (días)	A.Pl ^t (cm)	A.Mz (cm)	N°Pl ^t ha ⁻¹ (Pl ^t ha ⁻¹)	N°Mz ha ⁻¹ (cosecha)	N°Mz/pl ^t (cosechada)	P.Mz (g ha ⁻¹)	R.Grano (Kg ha ⁻¹)
DTMA-CIMMYT	3,2a	143,8a	67,3b	32.448a	25.234a	0,7a	85a	1.503a
Klein Karoo	3,7a	138,8b	69,8b	28.333a	18.958b	0,7a	83a	1.065b
WEMA-CIMMYT	3,6a	137,4b	71,6b	33.333a	27.188a	0,8a	81a	1.722a
IIAM	3,4a	140,0b	72,3b	32.206a	25.795a	0,8a	86a	1.551a
Control	3,0a	139,8b	73,9b	29.688a	24.453a	0,8a	93a	1.518a
Sygenta	3,4a	147,3a	79,8a	31.979a	23.333a	0,7a	90a	1.533a
Media General	3,4	141,1	72,5	31.331	24.160	0,7	86	1.482
D.E	0,3	3,7	4,2	1.904	2.857	0,03	4,4	219,1
CV	85,7	42,5	55,2	30,4	54,7	33,60	52,4	88,4

ASI- Intervalo Seda-Antesis; N°Pl^t- Número de plantas; A.Pl^t- Altura de planta; A.Mz- Altura de mazorca; N°Mz- Número de mazorca; P.Mz- Peso de Mazorca y R.Grano- Rendimiento en grano.

Letras minúsculas diferentes en sentido vertical indican diferencias significativas $p < 0,05$ según prueba DGC.

En los porcentajes de las sumas de cuadrados, se observó un efecto altamente significativo del ambiente sobre todas las variables estudiadas. De este modo, la variabilidad total debida al ambiente se explica en 78% para el carácter R.Grano. También se observó un efecto altamente significativo de la interacción programa ambiente (Px_A) para todas las variables evaluadas a excepción de ASI, que sólo tuvo un fuerte efecto ambiental (explicado en 97% por el porcentaje de la suma de cuadrados) (Cuadro 10).

Cuadro 10. Porcentaje de la suma de cuadrados año 2018

F.V	ASI (días)	N°Pl ^t ha ⁻¹ (Pl ^t ha ⁻¹)	A.Pl ^t (cm)	A.Mz (cm)	N°Mz ha ⁻¹ (cosecha)	N°Mz/pl ^t (cosechada)	P.Mz (g ha ⁻¹)	R.Grano (Kg ha ⁻¹)
Ambiente	97	76	99	99	87	57	91	78
Programa	1	4	0,3	0,2	4	2	1	7,0
Programa* Ambiente	2	20	1	1	9	40	8	16
Significancia								
Ambiente	***	***	***	***	***	**	***	***
Programa	ns	ns	*	*	**	ns	ns	***
Programa* Ambiente	ns	**	**	*	**	**	**	***

Dónde: ns- no significativo; *- Significativo ($p < 0,05$); **- Muy significativo ($p < 0,01$) y ***- Altamente significativo ($p < 0,001$).

Con interacción PxA altamente significativa se observó, en uno de los ambientes de alto rendimiento (Ckw18), una gran diferencia entre programas siendo el programa IIAM el de mayor rendimiento (5.175 kg ha^{-1}), seguido de DTMA-CIMMYT (2.542 Kg ha^{-1}). En los ambientes de más bajo rendimiento no se presentaron diferencias entre los programas (Cuadro 11). Por otra parte, se observó que, dentro de los programas, los mejores rendimientos se produjeron con los genotipos CZH15230 (DTMA-CIMMYT), WE2112 (WEMA-CIMMYT), PFH10-1643 (IIAM), SY6444 (Sygenta) y SP-1 (grupo Control) con 1.906 , 1.755 , 1.759 , 1.651 y 1.631 Kg ha^{-1} , respectivamente. El único genotipo del programa Klein Karoo produjo un rendimiento promedio de 1.065 Kg ha^{-1} (Apéndice 10).

Cuadro 11. Rendimiento (Kg ha^{-1}) de los seis programas en cuatro ambientes del 2018 (n= 3)

Ambiente	DTMA-CIMMYT	WEMA-CIMMYT	IIAM	Sygenta	Klein Karoo	Control
Ckw-18	2.542b	1.789c	5.175a	2.022c	1.345d	2.636b
Npl-18	356e	175e	442e	302e	388e	220e
Rbw-18	250e	193e	253e	247e	144e	298e
Umbz-18	2.611b	2.246c	2.847b	2.877b	2.916b	2.560b

Medias con letras minúsculas diferentes en sentido horizontal indican diferencias significativas entre los distintos programas dentro de cada ambiente, y medias con letras minúsculas diferentes en sentido vertical indican diferencias significativas entre ambientes dentro de cada programa, $p < 0,05$ según prueba DGC.

Estabilidad de los programas para el carácter rendimiento en los cuatro ambientes (2018)

En el análisis de regresión del rendimiento de cada programa sobre el índice ambiental, la pendiente representa la estabilidad del rendimiento de cada programa. En este sentido, se observó que el programa IIAM tiene el rendimiento más inestable ($\beta = 1,5338$), sin embargo, es el de mayor rendimiento en los mejores ambientes. Por otra parte, el programa WEMA-CIMMYT y Klein Karoo son los más estables, con coeficiente de regresión $\beta = 0,7801$ y $\beta = 0,8043$, respectivamente, sin embargo, son los programas con más bajo rendimiento, independiente del ambiente (Figura 5).

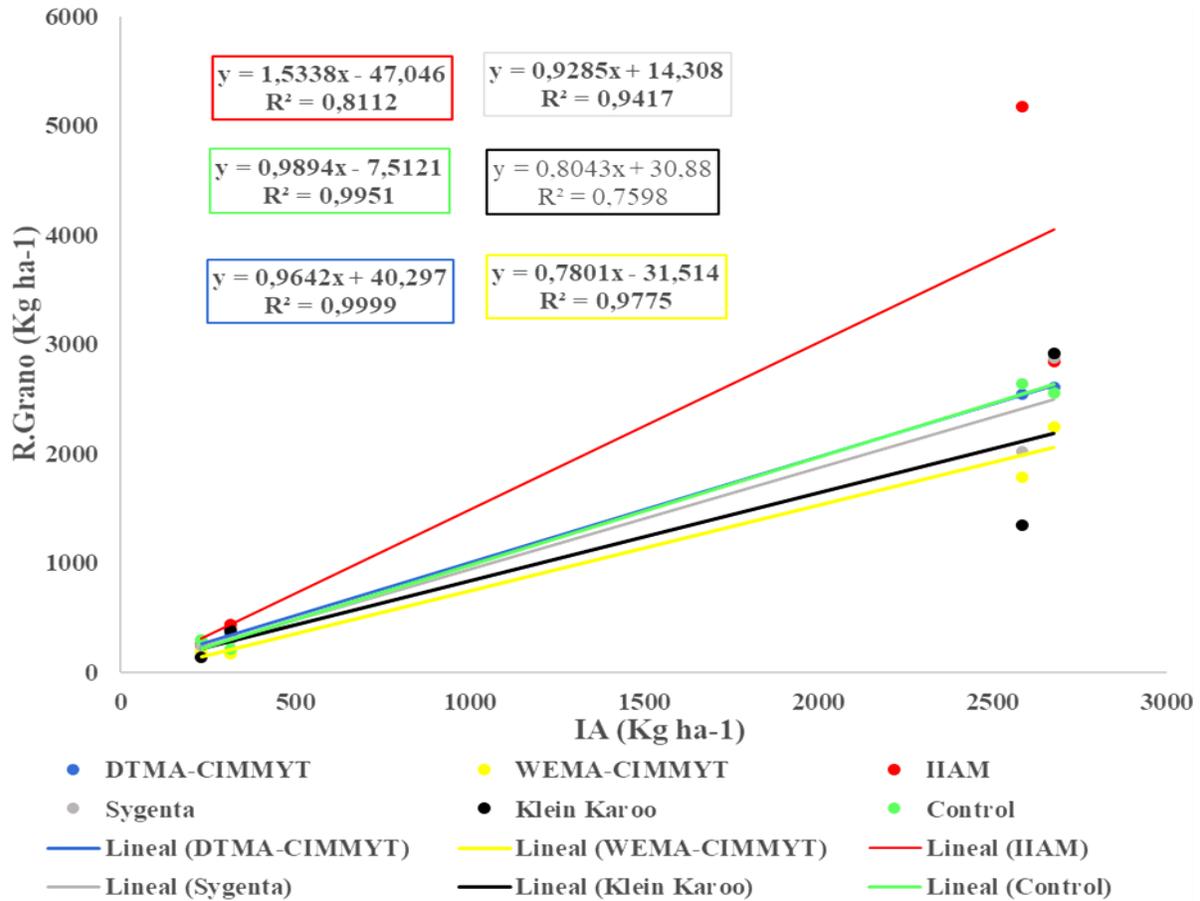


Figura 5. Relación lineal entre el rendimiento promedio de los programas y el índice ambiental (IA) en kg ha⁻¹; $\alpha=0,05$.

El análisis AMMI, sólo analiza la interacción programa x ambiente, permite identificar la estabilidad de los programas a través de la magnitud del componente principal uno (CP1). El programa más inestable y que tiene más aporte a la interacción es el IIAM, además, es el programa con mayor R.Grano (kg ha⁻¹) promedio. Los programas más estables son el programa DTMA-CIMMYT y el grupo Control, ya que están más cercanos de la línea de corte cero y son los que tienen mayor rendimiento promedio después de IIAM (Figura 6).

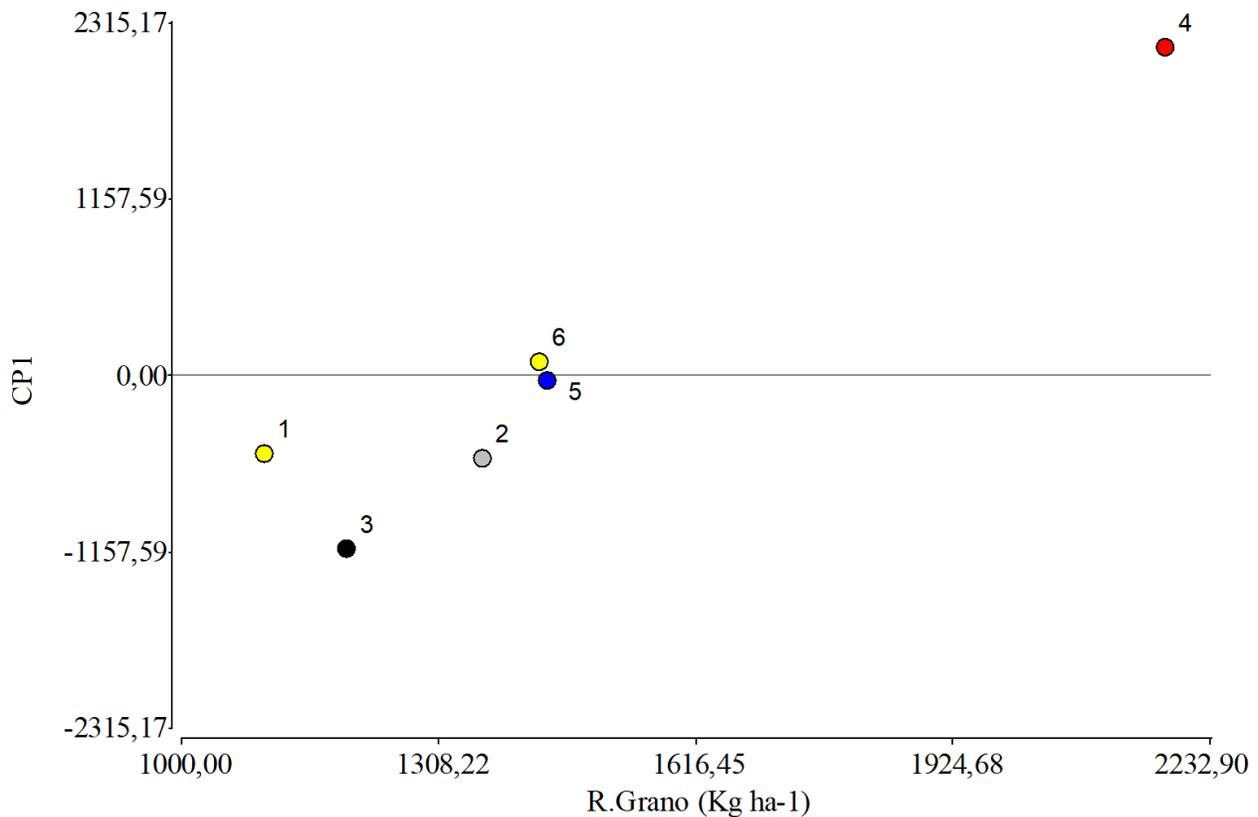


Figura 6. Biplot asociado al modelo AMMI1 (2018) donde, 1= WEMA-CIMMYT, 2- Sygenta, 3- Klein Karoo, 4- IIAM y 5- DTMA-CIMMYT y 6= Control.

Identificación de mega-ambientes (2018)

En el polígono envolvente de identificadores de programas, los extremos están dados por los programas Klein Karoo, WEMA-CIMMYT y IIAM. Los programas anteriores exhiben un comportamiento extremo para mejores o peores rendimientos en algunos ambientes. Los programas que quedan en el vértice son los que más rinden en los ambientes que quedan encerrados en el cuadrante. De este modo, se observa que el primer cuadrante tiene como vértice al programa IIAM, donde se observa que dicho programa logra los mejores rendimientos en los ambientes Ckw-18, Npl-18 y Rbw-18. El segundo cuadrante los programas Klein Karoo y WEMA-CIMMYT son los que más rinden en el ambiente Umbz-18, seguidos por los programas Sygenta y DTMA-CIMMYT (Figura 7).

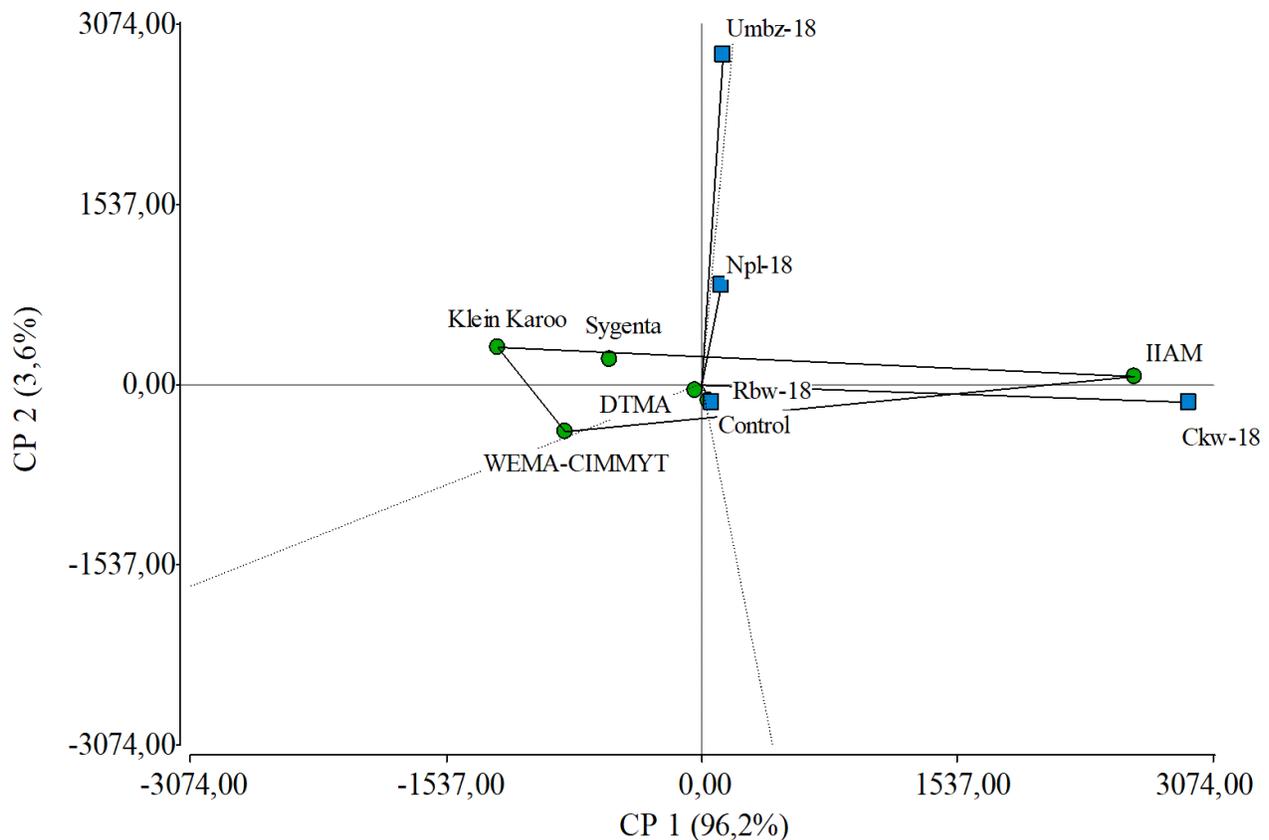


Figura 7. PPE biplot para la identificación de los mejores programas en cada sitio (2018). Puntos verdes representan programas y puntos azules ambientes.

Capítulo 3

Dado que en cada año los genotipos de cada programa cambiaron, a continuación, se mostrarán los análisis de CP por cada año.

Variabilidad de los genotipos dentro de los programas (2016)

El 61% de la variabilidad total en el conjunto de casos es explicado por los componentes principales CP1 y CP2. La CP1 explica por sí sola el 35,9% de la variabilidad total observada. Los programas con genotipos que registraron los más bajos rendimientos se agruparon al lado izquierdo del biplot y los de mayor rendimiento se ubicaron a la derecha donde se encuentra la mayoría de los genotipos del programa DTMA-CIMMYT. Se observa una mayor dispersión en los programas WEMA-CIMMYT y el grupo Control. El punto con la mayor proyección a derecha del biplot indica que, al menos uno de los genotipos del programa WEMA-CIMMYT alcanzó alto rendimiento. Además, se observó que, el R.Grano se asoció positivamente con N°Mz/Plt ($r= 0,67$; $p=0,0019$) y N°Plt ha

¹ ($r=0,44$; $p=0,0567$). Por otro lado, el P.Mz se asoció de manera negativa a $N^{\circ}\text{Plt ha}^{-1}$ ($r=-0,49$; $p=0,035$). También se observó que, el ASI no se asoció con ninguna de las variables, en este sentido se destaca el R.Grano ($r=-0,25$; $p=0,299$). (Apéndice 4 a y b) vs (Figura 8).

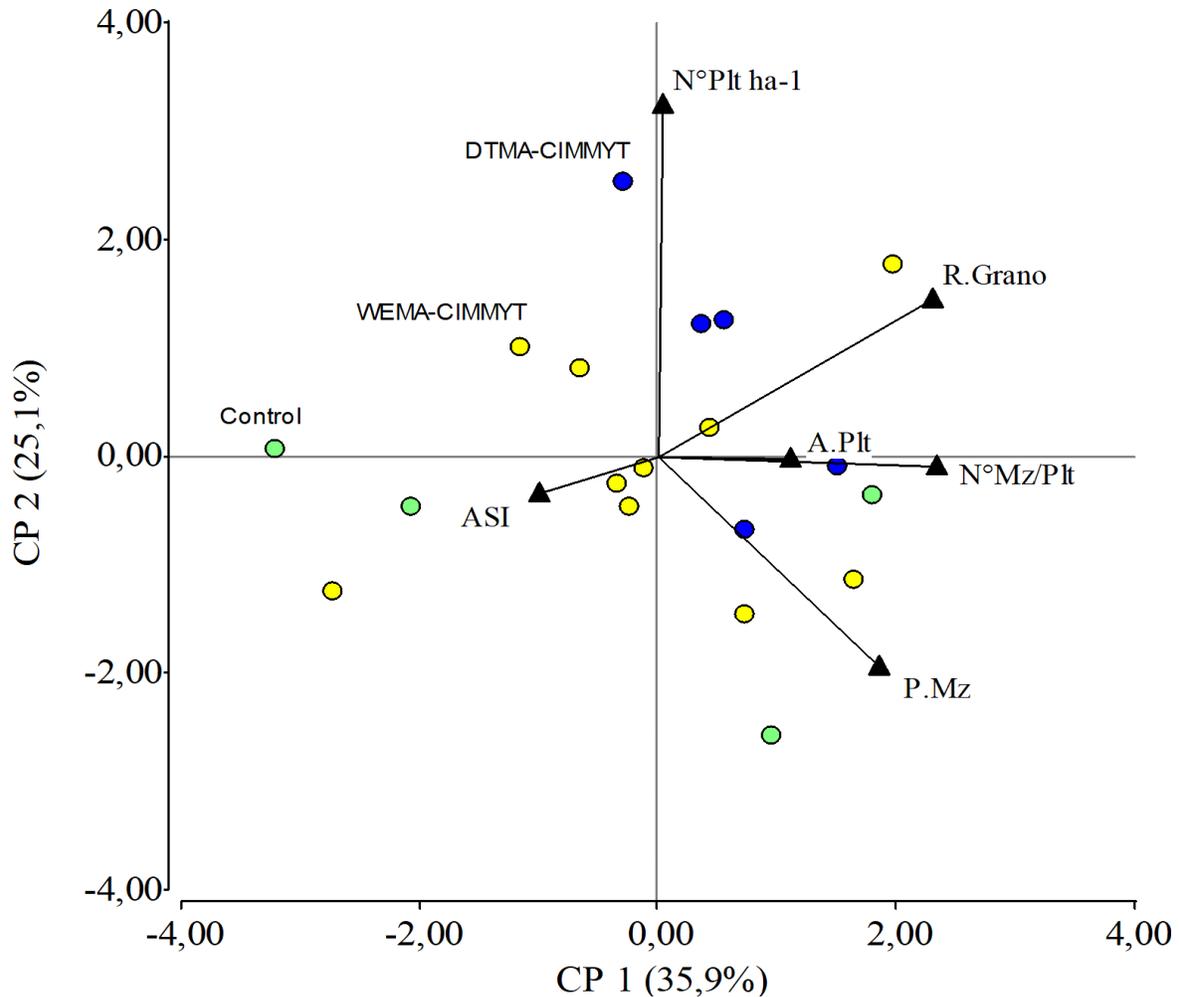


Figura 8. Biplot (CP1 y CP2) Genotipo vs Programa (2016) y caracteres ASI (días), $N^{\circ}\text{Plt ha}^{-1}$, $N^{\circ}\text{Mz/plt}$, A.Pl (cm) y P.Mz (g ha^{-1}) sobre el rendimiento de grano (R.Grano (Kg ha^{-1})). Círculos representan programas y triángulos representan las variables evaluadas.

Variabilidad de los genotipos dentro de los programas (2018)

El 60,8% de la variabilidad total en el conjunto de casos es explicado por los componentes principales CP1 y CP2. Los CP1 explican por sí solas el 41,7% de la variabilidad total observada. Los programas con genotipos que registraron los más bajos rendimientos se agruparon al lado izquierdo del biplot y los de mayor rendimiento a la derecha. Asimismo, se observó una mayor dispersión de

los genotipos del programa DTMA-CIMMYT y un agrupamiento de la mayoría de ellos a la derecha del biplot. Del mismo modo se observó una gran dispersión en el programa IIAM, grupo Control y en el programa Sygenta. El punto con la mayor proyección a derecha del biplot indica que, al menos uno de los genotipos del programa DTMA-CIMMYT alcanza alto rendimiento. Se observó que, el rendimiento de grano (R.Grano) se asoció positivamente con A.Pl_t, N°Pl_t ha⁻¹, N°Mz/pl_t y P.Mz ($r=0,46$; $p=0,0223$; $r=0,58$; $p=0,003$; $r=0,53$; $p=0,0072$ y $r=0,41$; $p=0,0475$, respectivamente). Por otro lado, el N°Pl_t ha⁻¹ se asoció de manera positiva a A.Pl_t ($r=0,46$; $p=0,0253$). También se observó que, el ASI no se asoció con ninguna de las variables. (Apéndice 5 a y b) vs (Figura 9).

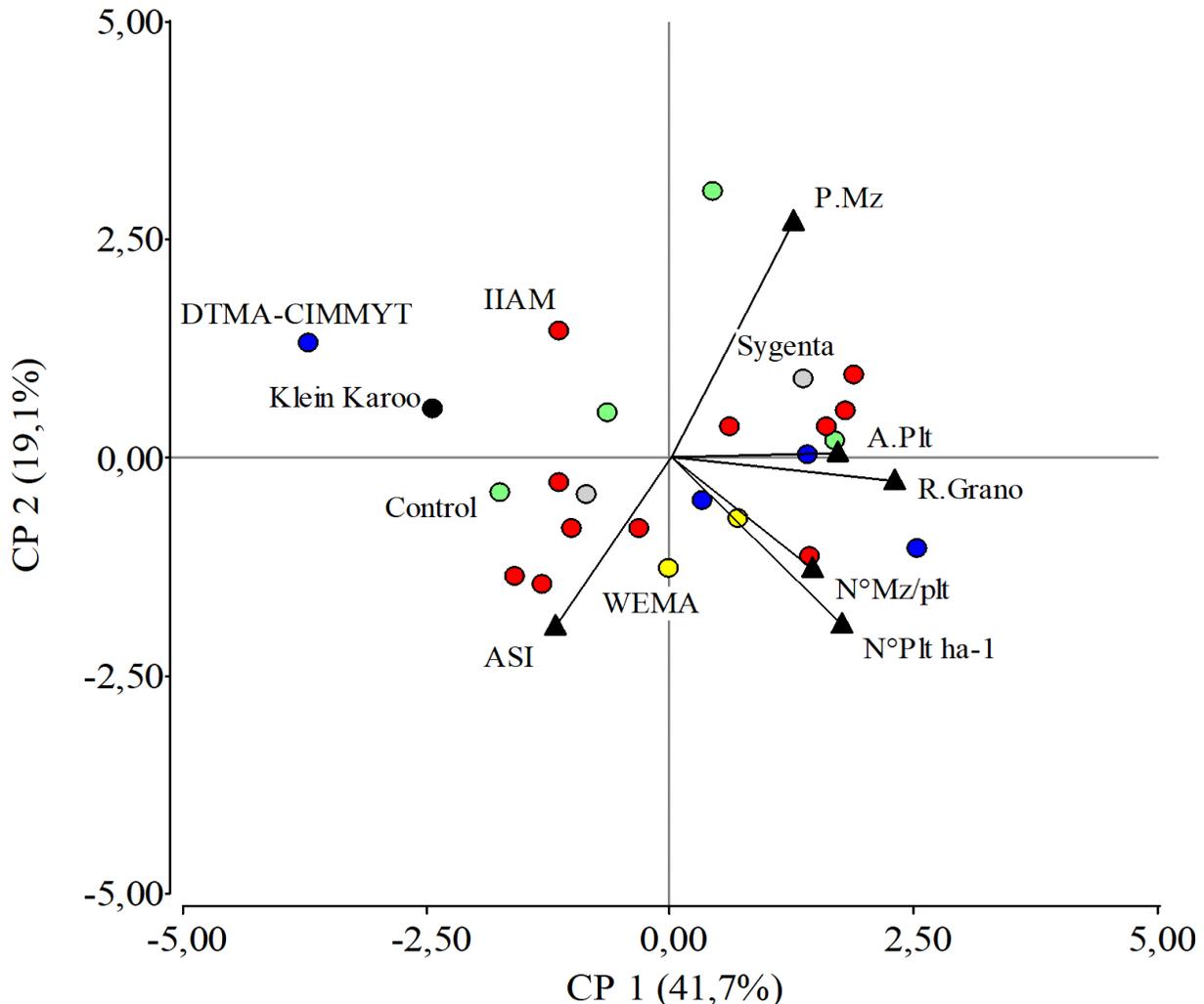


Figura 9. Biplot (CP1 y CP2) Genotipo vs Programa (2018) y caracteres ASI (días), N°Pl_t ha⁻¹, N°Mz/pl_t, A.Pl_t (cm) y P.Mz (g ha⁻¹) sobre el rendimiento de grano (R.Grano (Kg ha⁻¹)). Círculos representan programas y triángulos representan las variables evaluadas.

Asociación de las variables estudiadas

Dado que en este set de datos el ambiente explicó por sobre el 80% de la variación del experimento se realizó un análisis de CP sobre los ambientes para analizar la asociación entre las variables agronómicas estudiadas. El 93% de la variabilidad total en el conjunto de casos es explicado por los componentes principales CP1 y CP2. Los ambientes que registraron los más bajos rendimientos se agruparon al lado izquierdo del biplot y los ambientes de mayor rendimiento a la derecha. El rendimiento de grano (R.Grano) se asoció positivamente con P.Mz, A.PlT y N°Mz/Plt ($r=0,99$; $p<0,0001$; $r=0,81$; $p=0,0158$; $r=0,79$; $p=0,0186$, respectivamente), observándose que el mayor rendimiento fue explicado por estos parámetros. Por otro lado el R.Grano se asoció negativamente con el ASI ($r=-0,65$; $p=0,0811$) y no se observó asociación con el N°Plt ha^{-1} ($r=0,44$; $p=0,2776$). También se observó que el ASI está fuertemente correlacionado de manera negativa con N°Plt ha^{-1} , N°Mz/Plt y A.PlT (Apéndice 6 a y b) vs (Figura 10).

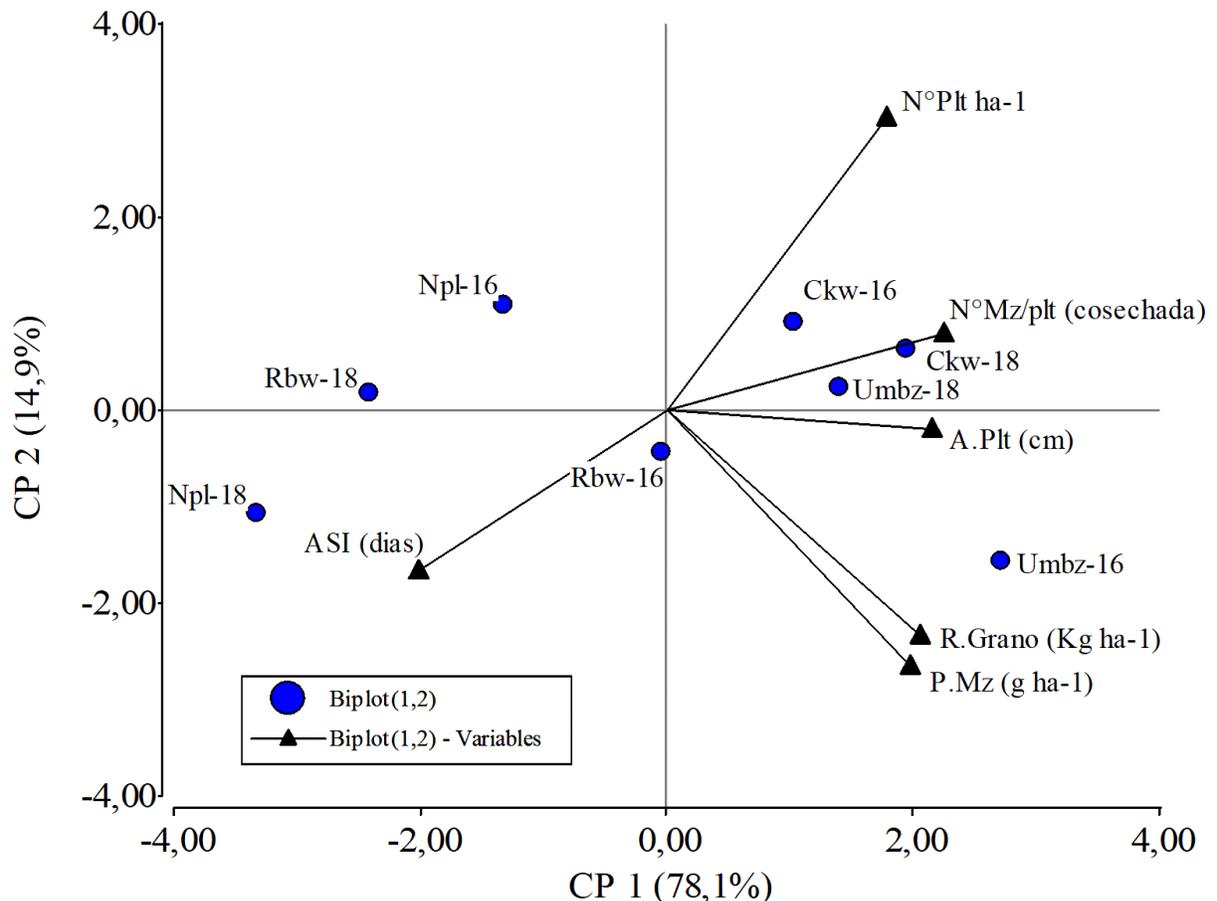


Figura 10. Biplot (CP1 y CP2) Ambiente y caracteres ASI (días), N°Plt ha^{-1} , N°Mz/plt, A.PlT (cm) y P.Mz (g ha^{-1}) sobre el rendimiento en grano (R.Grano (Kg ha^{-1})). Puntos azules corresponden a los ambientes.

Análisis de componentes principales (CP) para Ambiente en 2018

El análisis de CP sobre el ambiente reveló que, el 98,1% de la variabilidad total en el conjunto de casos es explicado por los componentes principales CP1 y CP2. El componente principal uno (CP1) explica por sí solo el 88,8% de la variabilidad total. Los ambientes que registraron los más bajos rendimientos se agrupan al lado izquierdo del biplot. El R.Grano se asoció fuertemente y de manera positiva con N°Mz/plt ($r=0,99$; $p=0,0076$), también se asoció con N°Plt ha^{-1} ($r=0,93$; $p=0,0703$) y A.Plт ($r=0,91$; $p=0,094$) y se asoció negativamente con el ASI ($r=-0,91$; $p=0,089$) (Apéndice 7) y (Figura 11).

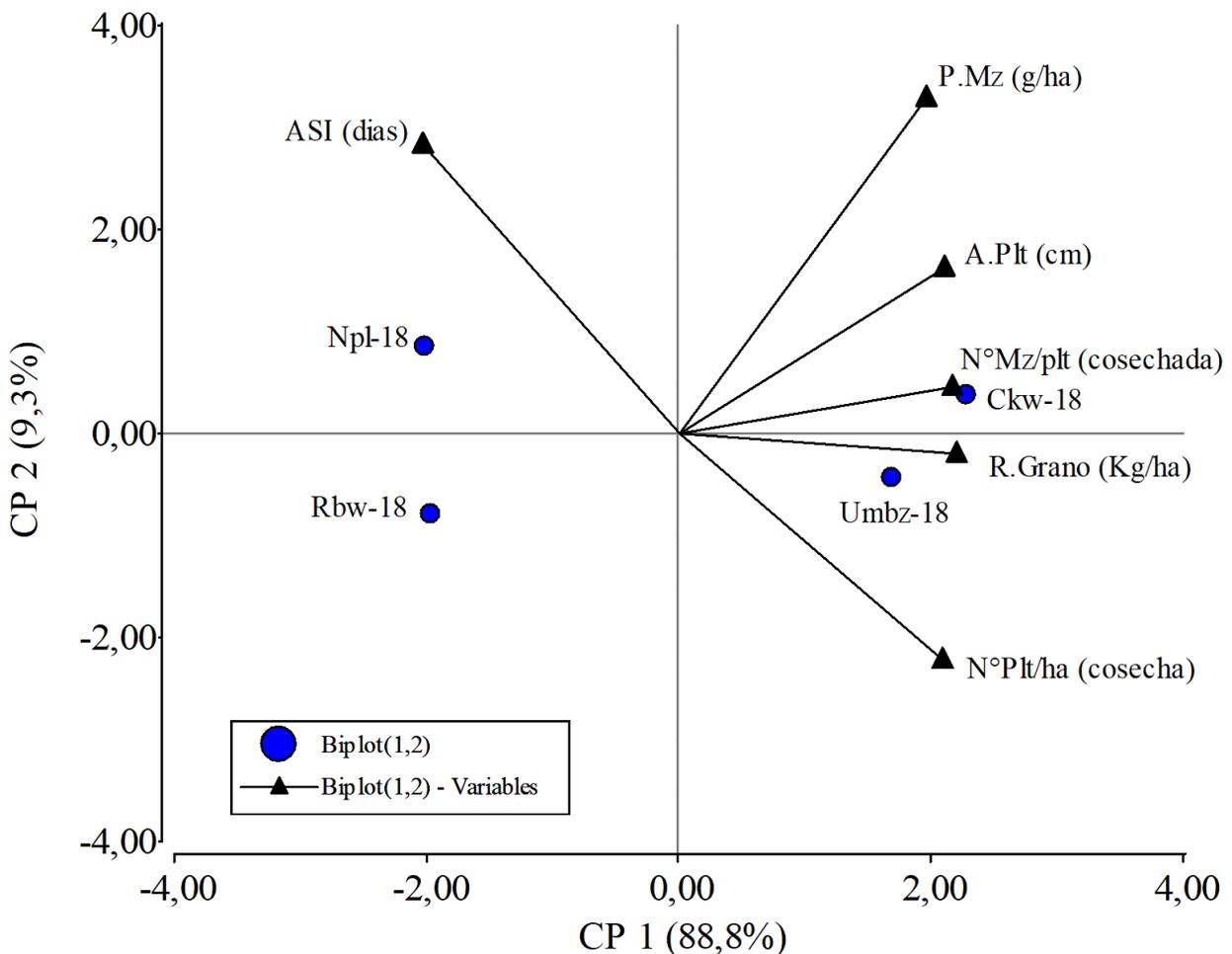


Figura 11. Biplot (CP1 y CP2) Ambiente (2018) y caracteres ASI (días), N°Plт ha^{-1} , N°Mz/plт, A.Plт (cm) y P.Mz ($g\ ha^{-1}$) sobre el rendimiento de grano (R.Grano ($Kg\ ha^{-1}$)). Puntos azules corresponden a los ambientes

DISCUSIÓN

Rendimiento en los ambientes de Mozambique

El rendimiento promedio de maíz fluctuó con los años y la localidad, sin embargo, se observó una gran diferencia entre las localidades del sur y norte de Mozambique; así, en el norte los rendimientos fluctuaron entre 329 y 2.082 Kg ha⁻¹, mientras que en el sur fluctuó entre 1.594 y 4.734 kg ha⁻¹, con valores muy por debajo de los 1.000 kg ha⁻¹ de rendimiento potencial que informan Chaúque *et al.*, (2004), en estudios con maíz tropical (híbridos y OPVs). El estrés hídrico está presente en las zonas agroecológicas del sur y norte de Mozambique con limitaciones multi estreses para la producción de maíz (Denic *et al.* 2007), observándose en el norte del país rendimientos usualmente menores a los 1.000 Kg ha⁻¹. En los ambientes de bajo rendimiento se observan problemas a lo largo de todo el ciclo de cultivo asociados a un menor número de mazorcar por planta, un mayor ASI, seguido por un menor número de plantas por hectárea a cosecha y menor peso individual de mazorcas.

“Las restricciones causadas por la baja disponibilidad de agua del suelo” sea por baja retención, sea por poca disponibilidad de lluvia, “o por la alta demanda evaporativa, accionan ciertos mecanismos fisiológicos que permiten a los vegetales escapar o tolerar esas limitaciones climáticas, modificando su crecimiento y desarrollo y atenuando las reducciones en la producción final” (Pimentel & Rossiello, 1995). En el presente estudio, las siembras se realizaron de acuerdo al inicio de la temporada agrícola (de lluvias) para cada localidad (Cuadro 3). En los ambientes correspondientes a localidades donde hubo siembras tardías (por retraso de las lluvias) se registró la más baja A.Pl_t y R.Grano (Rbw-18 con 82 cm y 247 kg ha⁻¹) (Cuadro 4). La baja altura se puede deber al hecho de ocurrir una interrupción de las lluvias por al menos dos semanas en el periodo de crecimiento vegetativo de las plantas, siendo en esta etapa donde la elongación celular es más sensible a un déficit hídrico (Hsiao, 1979) y por tanto las plantas reducen su altura, aspecto que también lo han observado Flores *et al.*, (2015). Se constató además una asociación positiva entre A.Pl_t y el rendimiento de grano (Figuras 8, 9 y 10).

La interrupción de las lluvias al inicio del cultivo, hecho observado en los experimentos, pudo haber ocasionado la drástica reducción en el número de plantas y con ello en la producción total, (Rodríguez, 2000). En conformidad con lo anterior se observó que, de una densidad esperada de 50.000 plantas ha⁻¹, se registró a la cosecha solo entre un 85 y 41% de plantas, donde los más bajos rendimientos se observaron en los malos ambientes con 329 kg ha⁻¹ en promedio.

En los dos sets de datos estudiados se observó que el ambiente provocó cambios en el número de mazorcas por planta. En este estudio se observó una asociación positiva y significativa ($r=0,79$) del número de mazorca por planta con el promedio de R.Grano, lo cual ya ha sido documentado por otros autores (Edmeades *et al.*, 1992). En las figuras 10 y 11, se muestra que las plantas más altas

lograron un mayor número de mazorcas ($r=0,79$; $p=0,0186$ apéndice 6 y $r=0,99$; $p=0,0076$ apéndice 7). En otro estudio con genotipos modernos, Mardones (2014) ha observado una asociación positiva entre $N^{\circ}Mz/plt$ y A.Pl_t, donde plantas altas tuvieron más mazorcas. Aunque los nutrientes en el suelo no se han analizado en este trabajo, la deficiencia de fósforo puede haber sido un factor que afectó el crecimiento de la planta de acuerdo con Botta y Gonzalez (nd). En el set de datos de ocho ambientes se observó que el menor $N^{\circ}Mz/plt$ se asoció con el mayor ASI (Figura 10) $r=-0,89$ $p=0,0034$ apéndice 7). Bolaños y Edmeades (1990) han señalado que, un mayor ASI genera las condiciones para una reducción significativa del número de granos y mazorcas por planta. El ASI bajo estrés severo está altamente relacionado con rendimiento de grano (Bäzinger *et al.*, 2000). En condiciones que inhiben el crecimiento de la planta, la floración femenina se retrasa en relación a la masculina, resultando en un aumento del ASI (Borrás *et al.*, 2007), asincronía parcialmente responsable de una reducción del número de granos en la punta de la mazorca, característica que difiere entre los genotipos (Cárcova *et al.*, 2003). El desprendimiento de polen se produce de forma discontinua durante un período de aproximadamente cinco a ocho días, y solo sucede cuando las condiciones de temperatura y humedad son favorables. La hora pico para que el polen se desprenda es desde la mitad hasta el final de la mañana siendo que, la vida útil promedio de un grano de polen es de aproximadamente 20 minutos después de que se desprende (Battani, 2015). (Lafitte, 2001) señala que, si la sequía continúa una semana o más después de la aparición de los estambres, el crecimiento de las florecillas se reduce a causa del bajo flujo de materias asimiladas a la mazorca en desarrollo, lo cual frecuentemente lleva al aborto de las flores fecundadas y con ello a la pérdida de granos e incluso a la pérdida de mazorcas enteras.

En otro estudio, Ramones *et al.*, (2000), verificaron que la relación entre rendimiento de grano (R.Grano) y los intervalos de floración (ASI) fue negativa, donde el ASI aumentó por efecto de la sequía, lo que también se observó en este estudio. En experimentos multi ambientes similares realizados en Chile con otros genotipos de maíz, donde el número de plantas a la cosecha fue igual entre genotipos y ambientes, Mardones (2014) observó que, el rendimiento disminuyó en 853 kg ha^{-1} por cada día de aumento de ASI. Además de constatar que el ASI de los genotipos fue mayor a 2 días en los ambientes con estrés. Además, los menores rendimientos (debajo de los 2.000 kg ha^{-1}) se registraron después de los 10 días (Mardones, 2014). En el presente estudio, las diferencias obtenidas por un mayor ASI y su efecto en rendimiento se observó entre ambientes. En buenos ambientes, el rendimiento de grano promedio fue de $3.019,51 \text{ kg ha}^{-1}$ y por cada día de aumento del ASI, hubo una reducción de $376,8 \text{ kg ha}^{-1}$ (Apéndice 3), que corresponde a reducciones de 12,5% en el rendimiento, por cada día de aumento en ASI. Otros trabajos mostraron reducciones en el rendimiento de grano hasta 83% por un incremento de 3 a 16 días en el intervalo de floración (Moss y Downey, 1971) y de 71% por un incremento de 3 a 11 días en el ASI (Hall *et al.*, 1981) y una disminución en el R.Grano de 8,7% por día que el intervalo de floración aumentó (Bolaños y Edmeades, 1993).

El bajo rendimiento observado no solo se debe al ASI, pues hay un importante problema de establecimiento de plantas que probablemente se debió a un prolongado periodo sin lluvias que afectó la emergencia de las plantas (cerca de dos semanas); además, del ataque de termitas de la especie *Syntermes molestus* dos a tres días después de las lluvias, que tuvo una fuerte incidencia en Npl-18 (datos no mostrados), lo que explicaría el bajo número de plantas en dicho ambiente

(Cuadro 8; Figura 10). Tal como señalan Norman *et al.*, (1995) el maíz en la zona tropical raramente es cultivado bajo riego y la variabilidad natural en la cantidad y distribución de la lluvia puede generar que el estrés por sequía puede ocurrir en cualquier momento del ciclo del cultivo.

La mayor parte del maíz tropical es sembrado con las primeras lluvias, sin embargo, es común que luego se presenten sequías que pueden afectar a las plantas en diferentes estados de desarrollo. Así, por ejemplo, cuando la sequía ocurre durante el establecimiento del cultivo las plántulas mueren y su población se reduce (Lafitte, 2001). En maíz la falta de plantas no es compensada con una mayor área foliar, afectando con ello el rendimiento (Satorre *et al.*, 2003). El maíz tiene una escasa capacidad para producir nuevos ejes productivos, por lo que, el cultivo no puede compensar el efecto de la sequía, aun cuando las lluvias sean adecuadas en el resto de la estación (Lafitte, 2001). Este hecho diferencia al maíz de otros cultivos como el trigo que macolla, la soya que ramifica Satorre *et al.*, (2003), y el amaranto que produce hojas más grandes (Argomedo, 2019).

También se constató un problema de peso de cada mazorca. Lafitte (2001) señala que, si la sequía ocurre durante el llenado del grano, la velocidad y la duración del período de llenado decrecen. Este hecho se produce a causa de una reducción en la fotosíntesis y una aceleración de la senescencia foliar, lo que puede haber ocurrido en este estudio, aunque no haya sido evaluado. El estrés durante la etapa de llenado del grano, por lo general, ocurre cuando las lluvias terminan temprano lo que genera un llenado parcial del grano. Si la sequía continúa una semana o más después de la aparición de los estambres, el crecimiento de las florecillas se reduce a causa del bajo flujo de materias asimiladas a la mazorca en desarrollo, lo cual frecuentemente lleva al aborto de las flores fecundadas y con ello a la pérdida de granos e incluso a la pérdida de mazorcas enteras (Lafitte, 2001). En el caso que las flores no aborten, los granos producidos bajo estas circunstancias presentan un bajo peso, lo que genera una pérdida importante de peso de la mazorca, tal como señala Battani (2015) que el estrés durante etapa del grano pastoso (R4) generalmente no hace que se interrumpa el crecimiento de los granos, pero puede reducir la tasa de acumulación de almidón y el peso del grano promedio. Esta situación podría avalar la pérdida del peso de mazorca en este estudio.

Las causas de la disminución del R.Grano se han discutido ampliamente en la literatura. Entre ellas destaca una insuficiencia de sincronización de las flores macho y hembra. (MacRobert *et al.*, 2014), daño en el polen por altas temperaturas bajo condiciones de calor y sequía (Barnabás, 2008; Cicchino *et al.*, 2010b; Rattalino *et al.*, 2011), lo que caracteriza el clima de Mozambique. Los procesos anteriores son altamente influenciados por las deficiencias hídricas (Ramonés *et al.*, 2000) durante el ciclo de desarrollo del cultivo de maíz.

Interacción Programa x Ambiente

En los dos sets de datos estudiados se observa una gran interacción programa x ambiente para la variable rendimiento en grano (Cuadro 6 y Cuadro 10). En ambientes con un índice ambiental igual o menor a 2.082 Kg ha⁻¹ ningún programa destaca (Cuadro 7 y 11). Mientras que, en ambientes

con un índice ambiental superior, el programa IIAM tiene un mayor rendimiento, pese a su inestabilidad. Por otra parte, el programa DTMA-CIMMYT tiene un rendimiento menor que IIAM, pero más estable (Figura 5 y Figura 6).

El grupo Control aparece en los dos análisis de AMMI1 como el más estable, mientras que el programa DTMA-CIMMYT destaca por tener un rendimiento más alto y estable que el programa WEMA-CIMMYT (Figura 3 y 6). Aunque se ha descrito que los genotipos modernos de maíz tienen mayor estabilidad y mayor rendimiento (Tollenar y Lee, 2002; Romay *et al.*, 2010), en este estudio se observa que el programa IIAM de mayor rendimiento es el más inestable, por otra parte, el programa de menor rendimiento WEMMA-CIMMYT, también destaca por su inestabilidad. Solo el grupo Control y el programa DTMA-CIMMYT destacan por un rendimiento alto y estable (Figuras 3 y 6) similar a lo señalado por Tollenar y Lee (2002) y Romay *et al.* (2010).

Respecto al N°Mz/Plt hubo una asociación positiva y significativa con el R.Grano ($r=0,67$ $p=0,0019$, Apéndice 5) en los programas evaluados en el 2016. Bänziger *et al.*, (2012) indican que, si en maíz se produce un estrés hídrico o nutricional durante la floración, el rendimiento se ve fuertemente afectado producto de la menor producción de mazorcas por planta, existiendo por tanto una alta correlación entre ambos parámetros. Lo anterior se ha observado en este trabajo de investigación (Figuras 8, 9, 10 y 11). Monneveux *et al.*, (2006) señalaron que, al seleccionar por tolerancia a estrés hídrico, la ganancia obtenida en rendimiento de grano se explica por un mayor número de mazorcas planta⁻¹ que las poblaciones originales por lo que, los mejoradores consideran ese carácter como variable útil de selección, variabilidad que para este carácter quedo en evidencia en este set de datos.

En el set de tres programas evaluados en ocho ambientes se observó solo efecto del programa, mientras que en el set donde se evaluaron seis programas en cuatro ambientes se observó interacción PxA. El mayor número de plantas se logró con los programas WEMA-CIMMYT y DTMA-CIMMYT con 36.302 plantas en promedio mientras que, el menor número de plantas se produjo con el grupo Control. Para la interacción PxA, en los mejores ambientes se produjo el mayor número de plantas, observándose que el programa WEMA-CIMMYT se destacó con 45.000 Pts ha⁻¹ en Ckw-18 mientras que, el peor número de plantas se observó con el grupo Control (18.333 Pts ha⁻¹) en el ambiente Npl-18 (Apéndice 8). Tsujimoto *et al.*, (2015), con base en los resultados de sus experimentos realizados en Nampula (corredor de Nacala), recomendaron el uso de fertilizantes nitrogenados a los agricultores de esta zona, manejo agronómico que no se ha realizado en este estudio. Lo anterior puede haber influenciado a una gran pérdida de plantas al largo del ciclo del cultivo.

El rendimiento de grano de los genotipos de los distintos programas no se correlacionó con el ASI (Figuras 9, Apéndice 4; Figura 8, Apéndice 5) en los ambientes evaluados. Esta situación no coincide con lo señalado por Bolaños y Edmeades (1990) quienes relatan que, bajo niveles de estrés hídrico, el rendimiento se correlaciona negativamente con el ASI, debido a que un ASI mayor reduce significativamente los granos y mazorcas por planta. Probablemente, las condiciones que afectaron al cultivo a lo largo de todo el ciclo de crecimiento del cultivo, que redujeron el número

de plantas ha^{-1} y el número de mazorcas por planta fueron más decisivas en reducir el rendimiento del cultivo que la amplitud del ASI.

Variabilidad de los genotipos dentro de cada programa

Existen genotipos de alto y bajo rendimiento dentro de los programas IIAM, DTMA-CIMMYT, WEMA y dentro del grupo control. En cada caso se destacan con el mejor rendimiento los genotipos PFH10-1643, CZH1033, CZH132128 y PAN53, respectivamente (Apéndice 9). Tollenar y Lee (2002) y Romay *et al.*, (2010) describen que los genotipos modernos de maíz tienen mayor rendimiento, producto de que estos programas logran un mayor número de mazorcas por planta y un mayor número de plantas por hectárea conforme se comentó anteriormente.

CONCLUSIONES

1. El rendimiento de los programas evaluados fluctuó en el norte de Mozambique entre 329 y 2.082 Kg ha⁻¹, mientras que en el sur fluctuó entre 1.594 y 4.734 kg ha⁻¹.
2. El menor rendimiento producto del ambiente se debe principalmente a un menor número de mazorcas por planta y un mayor ASI, seguido por un menor número de plantas por hectárea y menor peso individual de la mazorca.
3. En ambientes con un índice ambiental igual o menor a 2.082 Kg ha⁻¹ ningún programa destaca. Mientras que, en ambientes con un índice ambiental superior, el programa IIAM tiene un mayor rendimiento, pese a su inestabilidad.
4. El mayor rendimiento de los programas se debe al mayor número de mazorcas por planta que logran y un mayor número de plantas por hectárea.
5. Existen genotipos de alto y bajo rendimiento dentro de los programas IIAM, DTMA-CIMMYT, WEMA y dentro del grupo control. En cada caso, se destaca con mejor rendimiento el genotipo PFH10-1643, CZH1033, CZH132128 y PAN53, respectivamente.

BIBLIOGRAFÍA

- Alejos, G.; P. Monasterio y R. Rea. 2006. Análisis de la interacción genotipo ambiente para el rendimiento de maíz en la región maicera del estado de Yaracuy, Venezuela. *Agron. Trop.* 56(3):369-384.
- Akaike, H. 1974. Una nueva mirada a la identificación del modelo estadístico. *IEEE Transacciones en control automático*, 19, 716-723.
- Akaike, H. 1987. Análisis factorial y AIC. *Psicométrica*, 52, 3, 317-332.
- Arrazate, C. H. A.; J. D. M. Galán; E. del Carmen M. Pérez; J. C. Iñiguez; J. F. A. Medina y G. R. Enríquez. 2009. Respuesta a la selección para resistencia a sequía en maíz (*Zea mays* L.), *Interciencia*, Vol. 34, Núm. 11, noviembre-sin mes, pp.801-807.
- Balzarini M.G.; J. A. Di Rienzo. InfoGen versión 2017. FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.info-gen.com.ar>
- Balzarini, M.; C. Bruno y A. Arroyo. 2005. Análisis de Ensayos Agrícolas Multiambientales. Ejemplos en Info - Gen. Córdoba, Argentina: Universidad Nacional de Córdoba. 141p.
- Balzarini M.; C. Bruno y A. Arroyo. (nd). Análisis de ensayos agrícolas multi-ambientales. Ejemplos con Info-Gen, Estadística y Biometría, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba, 133p.
- Bänziger, M., G.O. Edmeades, D. Beck y M. Bellon. 2012. Mejoramiento para aumentar la tolerancia a sequía y a deficiencia de nitrógeno en el maíz: De la teoría a la práctica. México, D.F.: CIMMYT.
- Bänziger, M.; G.O. Edmeades; D. Beck y M. Bellon. 2000. Mejoramiento para la tolerancia a la sequía y al estrés por nitrógeno en maíz. De la teoría a la práctica. pp. 39-46. CIMMYT, México.
- Balaños, J y G.O. Edmeades. 1993. Ocho ciclos de selección para tolerancia a la sequía en maíz tropical de tierras bajas. II. Respuestas en comportamiento reproductivo. *Field Crops Res.* 31: 253-272.
- Barnabás, B.; K. Jäger y A. Fehér. 2008. El efecto de la sequía y el estrés por calor en los procesos reproductivos de los cereales. *Planta, Celda y medio ambiente*, 31(1), 11–38.
- Battani, A. 2015. Maíz: Crecimiento y desarrollo. PIONEER.
- Betrán, F. J.; D. Beck; M. Bänzinger y G.O. Edmeades. 2003. Rasgos secundarios en híbridos parentales y híbridos bajo estrés y ambientes sin estrés en maíz tropical. *Field Crops Research* 83:51-65.

- Bolaños, J. y G. O. Edmeades. 1990. La importancia del intervalo de la floración en el mejoramiento para la resistencia a sequía en maíz tropical, *Agronomía Mesoamericana* 1: 45-50. 6p.
- Botta, G. y M. Gonzalez. (nd). Enfermedades Fúngicas, Bacterianas y Abióticas del Maíz, En: Eyhérbide, G. H. (nd). Bases para el manejo del cultivo de maíz, Inta pergamino, Programa Nacional de Cereales. Ediciones, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Ministerio de agricultura ganadería y pescas INTA, p.125-150.
- Borrás, L.; M.E. Westgate; P. Astini y L. Echarte. 2007. Coupling time to silking with plant growth rate in maize. *Field Crops Research* 102: 73–85.
- Cárcova, J.; B. Andrieu y M.E. Otegui. 2003. Elongación de la seda en el maíz: relación con el desarrollo de las flores y la polinización. *Crop Science* 43:914-920.
- Camargo-Buitrago I.; E. Mc Intire y R. Gordón-Mendoza. 2011. Identificación de mega-ambientes para potenciar el uso de genotipos superiores de arroz en Panamá. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 46(9): 1601-1069.
- Cháuque, S. P.; P. Fato y M. Denic. 2004. Mejora de las poblaciones de maíz para la tolerancia al estrés por sequía en Mozambique. En D. Poland, M. Sawkins, J.-M. Ribaut, and D. Hoisington (eds.). Cultivos resilientes para ambientes con escasez de agua: Actas de un taller realizado en Cuernavaca, México, 24-28 May 2004. México D.F.: CIMMYT.
- Cicchino, M.; J. I. R. Edreira; M. Uribelarrea y M. E. Otegui. 2010b. Estrés por calor en maíz cultivado en el campo: respuesta de los determinantes fisiológicos del rendimiento de grano. *Crop Science*, 50, 1438-1448.
- Crossa, J.; B. Wescott y C. Gonzales. 1988. Análisis de la estabilidad del rendimiento de genotipos de maíz usando el modelo espacial. *Theor. Appl Genet* 75: 863-868.
- Crossa, J. 1996. Análisis estadísticos de ensayos multilocales. *Avances en agronomía*. v.44, p. 55-85.
- Crossa, J.; M. Vargas y A. Kumar. 2010. Modelos lineales, bilineales y lineales-bilineales fijos y mixtos, para analizar la interacción genotipo x ambiente en el fitomejoramiento y en la agronomía. *Revista Canadiense de Ciencias Vegetales*, 90(5): 561-574.
- Denic, M.; P. Cháuque; P. Fato; C. Senete; D. Mariote y W. Haag. 2007. Enfoques de mejoramiento en selección simultánea para la tolerancia al estrés múltiple del maíz en ambientes tropicales. – *Genética*, 39 (2), 113 - 124.
- Di Rienzo, J.; F. Casanoves; L. Gonzalez; E. Tablada; M. Díaz; C. Robledo; M. Balzarini. 2001. *Estadística para las Ciencias Agropecuarias*. 4ta Ed. Triunfar. Córdoba, Argentina.

- Di Rienzo J. A.; F. Casanoves; M. G. Balzarini; L. Gonzalez; M. Tablada y C.W. Robledo. InfoStat versión 2018. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Dos Muchangos, A. 1999. Mozambique: Paisajes e Regiones Naturales, República de Mozambique, 01048/FBM/93, Tipografía Globo, Lda. 159p.
- Dow, E. W.; T. B. Daynard; J. F. Muldoon; D. J. Major y G. W. Thurtell (1984). Resistencia a la sequía y al estrés por densidad en híbridos de maíz canadiense y europeo (*Zea mays* L.). Revista Canadiense de Ciencias Vegetales, Ottawa, v. 64, p. 575-585.
- Edmeades, G. O.; J. Bolaños; A. Elings; *et al.* 2000. El papel y la regulación del intervalo sedantesis en el maíz. En: Westgate, M.E.; K.J. BOOTE. Physiology and modeling kernel set in maize. Madison: CSSA, cap.3, p. 43-73.
- Edmeades, G. E. y J. A. DeutSch (eds.). 1994. Mejoramiento para tolerancia al estrés: maíz que resiste a insectos, sequía, bajo contenido de nitrógeno y suelos ácidos. México, D.F.: CIMMYT.
- Edmeades, G. O.; J. Bolaños y H. R. Lafitte. 1992. Progresos en el mejoramiento para la tolerancia a la sequía en maíz. En: Wilkinson D., ed. Proc. 47th Ann. Maíz y Sorgo Ind. Res. Conf., Chicago, Illinois, diciembre de 1992, pág. 93-111. Washington, DC, ASTA.
- Eeuwijk, F. V. 2006. Genotipo por interacción ambiental. Básicos y más allá. *En*: Lamkey, K. R. y Lee, M. (Eds.). Mejoramiento de plantas: el Arnel H. Simposio International. México. 155-170 pp.
- FAEF. 2001. Programa Competir: región agrícola do Chókwè diagnóstico da filiera agrícola, FAEF – UEM, Maputo
- FAO/Mozambique. 2012-2015. Programa da FAO para Mozambique, 27p.
- Flores, M. L.; S. G. Hernández; J. M. Gómez; M. G. L. Estrada; A. L. Herrera; F. V. Soto; F. del Jesús C. Barceló; J. J. L. Llamas y J. J. A. Mejía. 2015. Variedades mejoradas de maíz de secano derivadas de variedades nativas tolerantes a sequía, Rev. Mex. Cienc. Agríc. Vol.6 Núm.7 28 de septiembre - 11 de noviembre, p.1455-1466.
- Hall, A. J.; J. H. Lemcoff y N. Trapani. 1981. Water stress before and during flowering in maize and its effects on yield, its components, and their determinants. *Maydica* 26: 19-38.
- Hsiao, T. C. 1979. Respuestas de las plantas a los déficits hídricos, la eficiencia y la resistencia a la sequía. *Agricultura. Meteorol.* 14: 59–84.
- Instituto de Investigación Agraria de Mozambique (IIAM). 2018. Boletín Agro meteorológico Anual, 1p.

- Jasse A. 2013. Cadeias de valor de cereais e oleaginosas: Promoção do Desenvolvimento das Feiras de Cereais e Oleaginosas Distrito de Nhamatanda – Sofala, Moçambique, D.M. 128/ 004169/5, 53p.
- Lafitte, H. R. 2001. Estreses abióticos que afectan al maíz. En: Paliwal, R. L.; G. Granados; H. R. Lafitte y A. D. Violic. 2001. El maíz en los trópicos; mejoramiento y producción. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), p.101-104.
- Monneveux, P.; C. Sánchez; D. Beck and G.O. Edmeades. 2006. Drought tolerance improvement in tropical maize source populations: evidence of progress. *Crop Science* 46:180-191.
- Mardones, L. 2014. Evaluación de la estabilidad del rendimiento de siete híbridos de maíz de grano y su relación con el intervalo seda-antesís: Tesis para optar al Grado de Magister en Ciencias Agropecuarias Mención Producción de Cultivos.
- MASA. 2015. Anuario de Estadísticas Agrarias 2015, Dirección de Planificación e Cooperación Internacional (DPCI), Departamento de Estadística, 66p.
- Mabilana, H. A.; D. C. Fontana y E. L. da Fonseca. 2012. Desarrollo de modelo agro meteorológico espectral para estimativa de rendimiento do maíz en la Provincia de Manica-Mozambique, Rev. Ceres, Viçosa, v. 59, n.3, p. 337-349.
- MacRobert, J.F., P.S. Setimela, J. Gethi y M. Worku. 2014. Manual de producción de semilla de maíz híbrido. México, D.F.: CIMMYT.
- Medina M.; T. Abadie; D. Vilaró y S. Ceretta. 2001. Estudio metodológico de adaptación de cultivares de maíz para silo a las condiciones de Uruguay. *Agrociencia* (Uruguay) 5:23-31.
- MICOA. 2002. Repórter sobre el estado del ambiente. Maputo, Ministerio Para Coordinación de la Acción Ambiental. 106p.
- Mohammadi, R. y A. Amri. (2013). Interacción Genotipo x ambiente y Mejoramiento genético para rendimiento y estabilidad de rendimiento de trigo duro de secano en Irán, *Euphytica* 192:227–249.
- Moss, G. I. y L.A. Downey. 1971. Influencia del estrés por sequía en el desarrollo de gametofitos femeninos en maíz (*Zea mays* L.) y posterior rendimiento de grano. *Crop Sci.* 11: 368-372.
- Norman, M.J.T.; C.J. Pearson y P.G.E. Searle. 1995. La ecología de los cultivos alimentarios tropicales. Nueva York, NY, EE.UU., Cambridge University Press. 430 págs.
- Palemón, A. F.; M. N. O. Gómez; G. F. Castillo; V. P. Ramírez; G. J. D. Molina y C. S. Miranda. 2012. Estabilidad de cruza intervarietales de maíz (*Zea mays* L.) para la región semicálida de Guerrero. *Agrociencia.* 46. 133-145.
- Paliwal, R. L.; G. Granados; H. R. Lafitte y A. D. Violic. 2001. El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción, Programa de Maíz, CIMMYT, FAO, 392.

- Pandey, S. 1999–2000. Boletín de destaques de la investigación en maíz, México.
- Pimentel, C.; R. O. P. Rossiello. 1995. Entendimiento bajore relaciones hídricas en el cultivo de maíz. En: Simposio Internacional Bajore Estrés Ambiental. 1992. Belo Horizonte, MG. El maíz en la perspectiva - anais. Siete Lagunas: EMBRAPA - CNPMS / México: CIMMYT / UNDP, p.131-146. Editado A T. Machado, R. Magnavaca, S. Pandey, A.F. as Silva.
- Ramones, R. E. R.; J. L. R. Ontiveros y C. L. Castañeda. 2000. Resistencia a la sequía de líneas S₁ derivadas de la variedad de maíz criollo de Ibarilla, Agricultura Técnica en México, Vol. 26, Nr.2, p. 159-172.
- Rattalino Edreira, J.I.; C. E. Budakli; D. Sammarro; M. E. Otegui. 2011. Efectos del estrés por calor alrededor de la floración en el conjunto de granos de híbridos de maíz templados y tropicales. *Field Crops Research*, 123, 62–73.
- Romay, M.C.; R.A. Malvar; L. Campo; A. Alvarez; J.A. Moreno-González; A. Ordás y P. Revilla. 2010. Efectos Climáticos y genotípicos para el rendimiento de grano en maíz bajo condiciones de estrés. *Crop Science* 50:51-58.
- Rodríguez, P. J. 2000. Aspectos climatológicos relacionados con la producción comercial de maíz. *In: El maíz en Venezuela*. Fundación Polar. Caracas. pp. 61-75.
- Schwarz, G. 1978. Estimando la dimensión de un modelo. *El análisis de las estadísticas*, 6, 2, 461-464.
- Shaw, R. H. 1977. Uso del agua y requisitos del maíz: una revisión. pp. 119-134. En: *Agro meteorología del cultivo de maíz*. Reunión mundial. Publicación de la organización 480.
- Satorre, E.; R. Benech; G. Slafer; E. De la Fuente; D. Miralles; M. Otegui *et al.* 2003. Producción de Granos: Bases funcionales para su manejo. Buenos Aires, Argentina. Editorial Facultad de Agronomía Universidad de Buenos Aires. 783p.
- Tollenaar, M. y E. A. Lee. 2002. Potencial de rendimiento, estabilidad del rendimiento y tolerancia al estrés en el maíz. *Investigación de cultivos de campo*. 75: 161-169.
- Tsujimoto, Y.; J. A. Pedro; G. Boina; M. V. Murracama; O. Ito; S. Tobita y C. Martinho. (2015). Rendimiento de cultivos intercalados de maíz y soja bajo diversas aplicaciones de tasas de Nitrógeno y condiciones de humedad del suelo en el norte de Mozambique. *Plant Production Science*, 18, 365–376.
- Yan, W. L.; A. Hunt; Q. Sheng y Z. Szlavnics. 2000. Evaluación de cultivares e investigación mega ambiente basada en GGE biplot. *Crop Sci*. 40(3):597-605.

APENDICES

Apéndice 1a. Supuesto de homogeneidad de la varianza (Prueba de Levene)

Análisis de la varianza (Prueba de Levene)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RABS_R.Grano (Kg ha ⁻¹)	72	4,80E-03	0	84,74

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

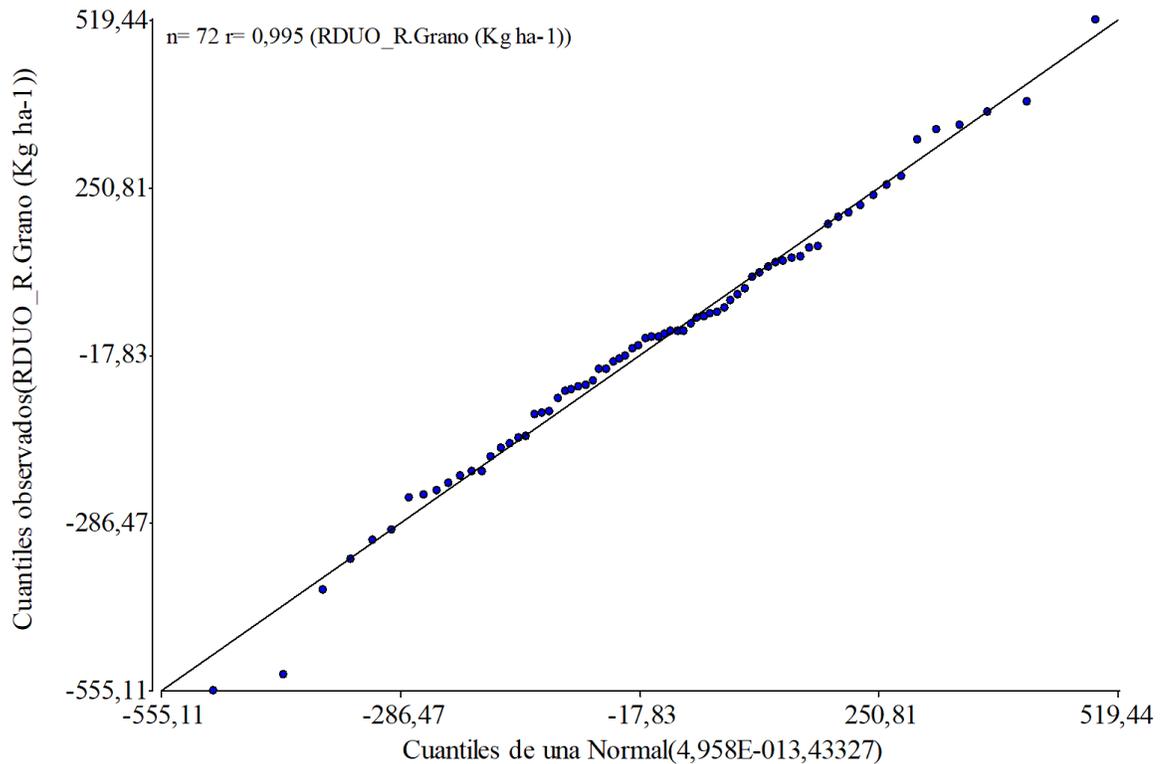
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	5981	2	2990	0,16	0,8483
Programa	5981	2	2990	0,16	0,8483
Error	1251579	69	18139		
Total	1257559	71			

Apéndice 1b. Normalidad de los errores (Prueba de Shapiro-Wilks)

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO_R.Grano (Kg ha ⁻¹)	72	0	208,15	0,99	0,9243

Apéndice 1c. Grafico Q-Q Plot con los errores



Apéndice 2a. Análisis de la varianza (ocho ambientes)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rend.Grano (Kg ha ⁻¹)	72	0,98	0,96	17,97

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	172717589	39	4428656	42,38	<0,0001
Ambiente	147464814	7	21066402	51,68	<0,0001
Programa	5988131	2	2994065	28,65	<0,0001
Ambiente>Bloque	6522644	16	407665	3,9	0,0005
Programa*Ambiente	12742001	14	910143	8,71	<0,0001
Error	3343653	32	104489		
Total	176061242	71			

Apéndice 2b. Análisis de la varianza (2018)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rend.Grano (Kg ha ⁻¹)	72	0,98	0,97	15,96

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	121542721	31	3920733	73,62	<0,0001
Ambiente	104841133	3	34947045	355,25	<0,0001
Programa	4035900	5	807180	15,16	<0,0001
Ambiente>Bloque	786989	8	98374	1,85	0,0965
Programa*Ambiente	11878698	15	791913	14,87	<0,0001
Error	2130321	40	53258		
Total	123673043	71			

Apéndice 3. Análisis de regresión lineal para ASI (días) y R.Grano (Kg ha⁻¹)

Coeficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor
const	3019,51	260,5	2499,96	3539,07	11,59	<0,0001
ASI (días)	-376,77	64,73	-505,88	-247,67	-5,82	<0,0001

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	53841400	1	53841400	33,88	<0,0001
ASI (días)	53841400	1	53841400	33,88	<0,0001
Error	111252860	70	1589326,6		
Total	165094261	71			

Apéndice 4. Matriz de correlación para programa y genotipos/Coeficientes (2016)

Variables de clasificación= Programa y Genotipo

4a. Matriz de correlación/Coeficientes

	ASI	A.Pl _t	N°Pl _t ha ⁻¹	N°Mz/pl _t	P.Mz	R.Grano
ASI	1					
A.Pl _t	-0,01	1				
N°Pl _t ha ⁻¹	-0,09	0,01	1			
N°Mz/pl _t	-0,04	0,35	-0,07	1		
P.Mz	-0,25	0,10	-0,49	0,40	1	
R.Grano	-0,25	0,12	0,44	0,67	0,38	1

4b. Matriz de correlación/Probabilidades

	ASI	A.Pl _t	N°Pl _t ha ⁻¹	N°Mz/pl _t	P.Mz	R.Grano
ASI						
A.Pl _t	0,9802					
N°Pl _t ha ⁻¹	0,7071	0,9575				
N°Mz/pl _t	0,8687	0,1417	0,7625			
P.Mz	0,3017	0,6779	0,0350	0,0884		
R.Grano	0,2990	0,6214	0,0567	0,0019	0,1129	

Apéndice 5. Matriz de correlación para programa y genotipos/Coeficientes (2018)

Variables de clasificación= Programa y Genotipo

5a. Matriz de correlación/Coeficientes

	ASI	A.Pl _t	N°Pl _t ha ⁻¹	N°Mz/pl _t	P.Mz	R.Grano
ASI	1					
A.Pl _t	-0,15	1				
N°Pl _t ha ⁻¹	-0,08	0,46	1			
N°Mz/pl _t	-0,21	0,11	0,28	1		
P.Mz	-0,29	0,32	0,01	0,03	1	
R.Grano	-0,31	0,46	0,58	0,53	0,41	1

5b. Matriz de correlación/Probabilidades

	ASI	A.Pl _t	N°Pl _t ha ⁻¹	N°Mz/pl _t	P.Mz	R.Grano
ASI						
A.Pl _t	0,4955					
N°Pl _t ha ⁻¹	0,7061	0,0253				
N°Mz/pl _t	0,3323	0,6226	0,1912			
P.Mz	0,1758	0,1334	0,9483	0,8934		
R.Grano	0,1378	0,0223	0,0030	0,0072	0,0475	

Apéndice 6. Matriz de correlación para ambientes/Coeficientes (CP ocho ambientes)

Variables de clasificación= Ambiente

6a. Matriz de correlación/Coeficientes

	ASI	N°Pl _t ha ⁻¹	N°Mz/pl _t	P.Mz	R.Grano	A.Pl _t
ASI	1					
N°Pl _t ha ⁻¹	-0,76	1				
N°Mz/pl _t	-0,89	0,83	1			
P.Mz	-0,56	0,40	0,77	1		
R.Grano	-0,65	0,44	0,79	0,99	1	
A.Pl _t	-0,76	0,68	0,88	0,79	0,81	1

6b. Matriz de correlación/Probabilidades

	ASI	N°Pl _t ha ⁻¹	N°Mz/pl _t	P.Mz	R.Grano	A.Pl _t
ASI						
N°Pl _t ha ⁻¹	0,0290					
N°Mz/pl _t	0,0034	0,0109				
P.Mz	0,1462	0,3234	0,0267			
R.Grano	0,0811	0,2776	0,0186	<0,0001		
A.Pl _t	0,0283	0,0636	0,0043	0,0189	0,0158	

Apéndice 7. Matriz de correlación para ambientes/Coeficientes (cuatro ambientes)

Variables de clasificación= Ambiente

7a. Matriz de correlación/Coeficientes

	ASI	A.Pl	N°Plt ha ⁻¹	N°Mz/pl	P.Mz	R.Grano
ASI	1					
A.Pl	-0,78	1				
N°Plt ha ⁻¹	-0,99	0,84	1			
N°Mz/pl	-0,86	0,90	0,88	1		
P.Mz	-0,61	0,95	0,68	0,89	1	
R.Grano	-0,91	0,91	0,93	0,99	0,86	1

7b. Matriz de correlación/Probabilidades

	ASI	A.Pl	N°Plt ha ⁻¹	N°Mz/pl	P.Mz	R.Grano
ASI						
A.Pl	0,225					
N°Plt ha ⁻¹	0,007	0,1606				
N°Mz/pl	0,144	0,1025	0,1226			
P.Mz	0,393	0,0517	0,3237	0,1129		
R.Grano	0,089	0,0940	0,0703	0,0076	0,1439	

Apéndice 8. N°Plt ha⁻¹ de los seis programas en cuatro ambientes del 2018 (n= 3)

Ambiente	DTMA-CIMMYT	WEMA-CIMMYT	IIAM	Sygenta	Klein Karoo	Control
Ckw-18	41146a	45000a	44205a	38125a	22917b	41042a
Npl-18	24167b	19167b	21136b	19167b	22916b	18333b
Rbw-18	26667b	29797b	26780b	28547b	30417b	25313b
Umbz-18	37813a	39375a	36705a	42083a	37083a	34063a

Apéndice 9. Rendimiento promedio de los genotipos dentro de los programas WEMA-CIMMYT, IIAM (2018), DTMA-CIMMYT y el grupo Control

Genotipos	Programa	R.Grano (Kg ha ⁻¹)
CZH132128	WEMA-CIMMYT	2438
CZH132218	WEMA-CIMMYT	2401
WE2112	WEMA-CIMMYT	2399
WE4132	WEMA-CIMMYT	2306
CZH132215	WEMA-CIMMYT	2268
WE3127	WEMA-CIMMYT	2234
WE4501	WEMA-CIMMYT	2191
CZH132222	WEMA-CIMMYT	2162
WE4502	WEMA-CIMMYT	2089
WE2109	WEMA-CIMMYT	1620
WE4145 (CZH132169)	WEMA-CIMMYT	1587
PFH10-1643	IIAM	1759
PFH10-1001	IIAM	1722
PFH10-1012	IIAM	1711
PFH10-1645	IIAM	1675
PFH10-1644	IIAM	1641
PFH10-1646	IIAM	1571
PFH10-1201	IIAM	1553
PFH10-1642	IIAM	1456
ENH10-1508	IIAM	1395
ENH10-1502	IIAM	1326
PFH10-1002	IIAM	1254
CZH1033	DTMA-CIMMYT	2813
CZH116	DTMA-CIMMYT	2630
CZH1221	DTMA-CIMMYT	2614
CZH1110	DTMA-CIMMYT	2607
CZH132043	DTMA-CIMMYT	2324
CZH15230	DTMA-CIMMYT	1849
CZH15181	DTMA-CIMMYT	1536
CZH15186	DTMA-CIMMYT	1474
Tsangano	DTMA-CIMMYT	885
PAN53	Control	2132
WE2101	Control	1916
SP-1	Control	1703
Matuba	Control	1506

Apéndice 10. Rendimiento promedio de los genotipos dentro de cada programa 2018

Genotipos	Programa	R.Grano (Kg ha ⁻¹)
WE4145 (CZH132169)	WEMA-CIMMYT	1689
WE2112	WEMA-CIMMYT	1755
SY6444	Sygenta	1651
SY5944	Sygenta	1415
Nelson Choice	Klein Karoo	1065
PFH10-1646	IIAM	1571
PFH10-1645	IIAM	1675
PFH10-1644	IIAM	1641
PFH10-1643	IIAM	1759
PFH10-1642	IIAM	1456
PFH10-1201	IIAM	1553
PFH10-1012	IIAM	1711
PFH10-1002	IIAM	1254
PFH10-1001	IIAM	1722
ENH10-1508	IIAM	1395
ENH10-1502	IIAM	1326
Tsangano	DTMA-CIMMYT	991
CZH15230	DTMA-CIMMYT	1906
CZH15186	DTMA-CIMMYT	1447
CZH15181	DTMA-CIMMYT	1669
WE2101	Control	1621
SP-1	Control	1631
PAN53	Control	1519
Matuba	Control	1300

ANEXOS

Anexo 1: LCD digital medidor de humedad de maíz y soja, Modelo SKZ111B-1



Fuente: <https://sc02.alicdn.com/kf/HTB15FBuPXXXXXXXXCaXXXq6xXFXXc.jpg> y <https://sc02.alicdn.com/kf/HTB1ghR0PXXXXXXXXagXpXXq6xXFXXN.jpg>

Anexo 2



a) Balanza digital mini



b) Balanza de precisión de 30kg

Fuente:

a) https://cdn1.hendyla.com/archivos/imagenes/2019/11/05/37a6259cc0c1dae299a7866489dff0bdzPnhlcOUW0koPicsArt_11-05-04-830_A-480_A.jpg