



Universidad
Nacional
de Córdoba

Universidad Nacional de Córdoba

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Escuela para graduados



“VIGOR TEMPRANO Y SU INCIDENCIA SOBRE EL RENDIMIENTO DE HÍBRIDOS DE MAÍZ (*Zea mays* L.)”

María Virginia de la Torre

Tesis

Para optar al Grado Académico de
Magister en Ciencias Agropecuarias

Mención: Tecnología de Semillas

Córdoba, 2012

**“VIGOR TEMPRANO Y SU INCIDENCIA SOBRE EL
RENDIMIENTO DE HÍBRIDOS DE MAÍZ (*Zea mays* L.)”**

María Virginia de la Torre

Comisión Asesora de Tesis

Director: Ing. Agr. (Dr.) Carlos Alberto Biasutti

Asesores: Ing. Agr. (M.Sc.) Roberto Rolando

Ing. Agr. (M.Sc.) Federico Piatti

Tribunal Examinador de Tesis

Ing. Agr. (M.Sc.) Federico Piatti

Ing. Agr. (M.Sc.) María Cristia Nazar

Ing Agr. (M.Sc.) Analía Pascualides

Presentación Formal Académica:

19 de noviembre de 2012
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Universidad Nacional de Córdoba

AGRADECIMIENTOS

Agradezco especialmente al Ing. Agr. (Dr.) Carlos A. Biasutti; por haberme motivado a realizar esta Maestría y a partir de allí acompañarme paso a paso con el desarrollo de la misma. Como Director, gracias a su experiencia académica, supo guiarme y orientarme en todas las etapas: investigación, experimentación y redacción. Su presencia y acompañamiento en las instancias de evaluación iniciales, me permitió lograr más seguridad y criterio a la hora de transmitir mis ideas.

Al personal de la Escuela para Graduados, en especial al de la Maestría en Tecnología de Semillas, Ing. Agr. (M. Sc.) Alicia Avila, Ing. Agr. (M. Sc.) Vilma Mazuferi e Ing. Agr. (M. Sc.) Susana Aráoz; por el acompañamiento, preocupación y motivación que se nos brindó en todo momento a lo largo de la carrera.

Al Ing. Agr. (M. Sc.) Roberto Rolando, a cargo del Laboratorio L.A.S.I.D.Y.S de la F.C.A-U.N.C, y a su personal, por ofrecerme el espacio y el instrumental necesario de las instalaciones para llevar a cabo mi trabajo. Especialmente, como asesor, su apoyo permanente en la realización de las tareas experimentales de mi Tesis.

Al Ing. Agr. (M. Sc.) Federico Piatti, asesor, quien a pesar de la distancia, estuvo siempre dispuesto a colaborar en mi trabajo de Tesis.

A los Docentes de la Cátedra de Mejoramiento Genético Vegetal de la F.C.A., a la Ing. Agr. (M. Sc.) María Cristina Nazar y al Ing. Agr. (M. Sc.) Daniel A. Peiretti y, por los valiosos aportes y consejos brindados.

Un profundo agradecimiento a esta Casa de Estudios, la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la U. N. C., por concederme la inmensa oportunidad de cumplir mis proyectos y metas profesionales al mismo tiempo que me permite participar en el proceso de capacitación de futuros ingenieros agrónomos. Quizás esta sea una forma sencilla de devolver a la facultad parte de lo que durante muchos años me fue brindado.

DEDICATORIA

*Dedico
especialmente este gran esfuerzo
a mi familia
y especialmente a mis dos tesoros
por ser mi sostén día a día.
A mis padres
por su apoyo constante
en mi formación personal y profesional.
A todos aquellos que me
acompañaron en este largo camino.
A todos, mi más sincera dedicatoria.*

RESUMEN

El vigor temprano es considerado un componente esencial del desarrollo de los cultivos en la mayoría de las condiciones ambientales. Este término se utiliza para definir una prueba a laboratorio o también denominado vigor temprano a campo. El vigor está representado por el porcentaje de semillas que germinan bajo condiciones limitantes, diferenciándose del ensayo de germinación en condiciones óptimas. Las pruebas estándares de vigor en maíz no necesariamente predicen el comportamiento a campo y no existe aún suficiente información sobre los efectos de aptitud combinatoria y recíprocos para pruebas de vigor en laboratorio, como tampoco a campo. El objetivo fue establecer la influencia del vigor temprano y sus efectos génicos sobre el rendimiento de híbridos de maíz. Se utilizaron 20 híbridos simples de maíz provenientes de la cruce dialélica de 5 líneas endocriadas incluyendo recíprocos. Los ensayos a laboratorio incluyeron un test de Osmolitos, donde el estrés hídrico se simuló mediante solución de PEG 8000 al -1,4 MPa. Se midió el Poder Germinativo, la Longitud de parte aérea, la Longitud de raíz y el Peso Seco. La evaluación a campo consistió en una siembra temprana en secano, donde se evaluó: EAC1 Y 2, V1 Y 2, ALT1 Y 2, PSPTA, IV1 Y 2, EF Y RTO. Los resultados no evidenciaron relaciones directas entre el RTO y las variables de vigor bajo estrés hídrico evaluadas en laboratorio, indicando que el ensayo de vigor en PEG no demostró utilidad para estimar la producción de granos en los híbridos. Para las variables asociadas al vigor temprano a campo, se pudo detectar que sólo la altura de planta a los 23 días desde la siembra (ALT1) presentó correlación positiva con el RTO y, por lo tanto, resultó ser la única variable predictiva del rendimiento. El análisis genético mostró la importancia de los efectos no aditivos en el conjunto de variables de vigor evaluadas en condiciones de campo, a diferencia de los ensayos de estrés en laboratorio donde la expresión de los caracteres estuvo gobernada predominantemente por efectos de aditividad. En particular, la ALT1 estuvo condicionada por efectos de aditividad y de dominancia, por lo que esta variable puede ser evaluada durante la endocría como así también entre los híbridos. Los efectos recíprocos fueron importantes para la totalidad de las variables, incluyendo a la ALT1, lo cual indica la necesidad de determinar las líneas maternas con alta expresión para las variables evaluadas para contribuir a incrementar los rendimientos en grano.

Palabras claves: vigor temprano, efectos génicos, rendimiento, maíz.

ABSTRACT

The early vigor is considered to be an essential component of the development of crops in most environmental conditions. This term is used to define as well a laboratory test and what is also called field early vigor. The vigor is represented by the percentage of seeds that germinate under limiting conditions, differentiating from the germination test in optimal conditions. Standards testing of vigor in maize do not necessarily predict the field performance and there is still insufficient information on the effects of combining ability and reciprocal effects in laboratory tests, nor in its field evaluation. The aim was to establish the influence of the early vigor and its gene effects on the performance of hybrid corn. Five maize inbred lines were crossed to obtain twenty single crosses including reciprocals. Crosses were evaluated under controlled laboratory conditions in polyethylene glycol 8000 (PEG) solution at 1.4MPa. Data of the following characters were recorded: germination percentage under drought, coleoptiles length, root length and dry weight. Single crosses were evaluated at field in a RCBD, attending: Plant field emergence 1 and 2, Vigor 1 and 2, Plant height 1 and 2, Dry plant weight, vigor index 1 and 2, foliar elongation and grain yield. No direct relations were found between grain yield and vigor under water stress characters evaluated in laboratory, indicating that the vigor in PEG trial was not helpful to predict grain yield production. For the variables associated with field early vigor, only plant height at 23 days from sowing presented positive correlation with grain yield and, therefore, turned out to be the most predictable of field grain yield. Genetic analysis showed the importance of non-additive genetic effects among of variables related to vigor evaluated in field conditions, unlike stress testing in the laboratory where the expression of the character was predominantly ruled by additive effects. The ALT1 was conditioned both by additive and dominance effects, so that it may be evaluated during inbreeding as well as among single crosses. Reciprocal effects were important for all variables, including ALT1, making necessary to determine the maternal lines that will contribute to increase grain yields.

Key words: early vigor, genetic effects, yield, corn.

TABLA DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
PLANTEO DEL PROBLEMA:	15
HIPÓTESIS	15
OBJETIVO GENERAL	15
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
BIBLIOGRAFÍA	16
CAPÍTULO II:	23
ANÁLISIS DE LAS RELACIONES ENTRE EL VIGOR TEMPRANO EVALUADO A LABORATORIO Y A CAMPO.	23
INTRODUCCIÓN	23
Objetivo Específico.....	27
MATERIAL Y MÉTODOS	28
Material Biológico:.....	28
Evaluación en laboratorio:	28
Evaluación a Campo:.....	30
Análisis Estadístico:	32
RESULTADOS	34
En Laboratorio.....	34
A campo	37
Análisis de correlación.....	42
Coeficientes de correlación de Spearman.....	42
Análisis de Componentes Principales (PCA)	44
Análisis de laboratorio:	45
Análisis de campo.....	46
Árbol de regresión.....	50
DISCUSIÓN	51

CONCLUSIONES PARCIALES.....	63
BIBLIOGRAFÍA.....	64
Capítulo III	69
Análisis de los efectos de aptitud combinatoria y recíprocos en caracteres relacionados al vigor temprano y al rendimiento.	69
INTRODUCCIÓN	69
Objetivo Específico.....	71
MATERIAL Y MÉTODOS.....	72
Bajo estrés hídrico:	72
Evaluación a campo:.....	72
Análisis Estadístico.....	73
RESULTADOS	74
En Laboratorio:.....	74
A campo:	77
Aptitud Combinatoria General:	79
Aptitud Combinatoria Específica y Efectos Recíprocos:.....	80
DISCUSIÓN.....	86
CONCLUSIONES PARCIALES.....	93
BIBLIOGRAFÍA.....	95
Capítulo IV	99
CONCLUSIones generales.....	99
ANEXO I.....	101
Autovalores y autovectores de las variables obtenidas de un ACP.Obetenidas en laboratorio	101
Obetenidas en laboratorio	102
Autovalores.....	102
Obetenidas a campo	103

LISTA DE TABLAS

- Tabla 2.1.** Análisis de la Varianza de 20 híbridos experimentales de maíz mostrando los valores de Cuadrados Medios para los caracteres: Porcentaje de germinación en PEG (PG), Longitud de la Raíz principal de la plántula (LR), Longitud de la Parte Aérea de la plántula (LPA) y Peso seco de plántula (PS). 34
- Tabla 2.2.** Valores medios para los caracteres Porcentaje de Germinación, Longitud de Raíz Principal de la plántula, Longitud de la Parte Aérea de la plántula y Peso Seco de plántula evaluados en los 20 híbridos experimentales y dos testigos (C07 y 806). 35
- Tabla 2.3.** Análisis de la Varianza de 20 híbridos experimentales de maíz mostrando los valores de Cuadrados Medios para los caracteres: Emergencia a Campo a los 12 días desde la siembra (EAC 1), Vigor en escala visual en V5 (VIGOR 1), Índice de Vigor 1 (IVIGOR 1), Peso Seco (PSPTA), Emergencia a Campo a los 19 días desde la siembra (EAC 2), Vigor en escala visual en V7 (VIGOR 2), Índice de Vigor 2 (IVIGOR 2). 37
- Tabla 2.4.** Valores medios para los caracteres EAC1, VIGOR 1, IVIGOR 1, PSPTA, EAC 2, VIGOR 2, IVIGOR 2 para 20 híbridos experimentales de maíz evaluados y los dos testigos (C07 y 806). 37
- Tabla 2.5.** Continuación Tabla 2.3: Análisis de la Varianza de 20 híbridos experimentales de maíz mostrando los valores de Cuadrados Medios para los caracteres: Altura de planta a los 23 días desde la siembra (ALT 1), Altura de planta a los 30 días desde la siembra (ALT 2), Elongación Foliar (EF), Rendimiento (RTO). 39
- Tabla 2.6.** Continuación Tabla 2.4: Valores medios para los caracteres ALT 1, ALT 2, EF Y RTO para los 20 híbridos evaluados y los dos testigos (C07 y 806). 40
- Tabla 2.7:** Coeficientes de Correlación de Spearman entre caracteres medidos en laboratorio bajo condiciones de estrés hídrico y a campo en condiciones de secano, para 20 híbridos experimentales de maíz. 42
- Tabla 3.1.** Análisis de la varianza de 20 cruzas dialélicas incluyendo recíprocos, de 5 líneas endocriadas de maíz para Porcentaje de Germinación, Longitud de Raíz principal, Longitud de la Parte Aérea y Peso Seco de plántulas, de acuerdo al Método III, Modelo 1 de Griffing (1956). 74
- Tabla 3.2.** Efectos de aptitud combinatoria general para, Porcentaje de Germinación, Longitud de Raíz principal, Longitud de la Parte Aérea y Peso Seco de plántulas, de acuerdo al Método III, Modelo 1 de Griffing (1956). 75
- Tabla 3.3.** Efectos de aptitud combinatoria específica y Efectos recíprocos (ER) para Porcentaje de Germinación, Longitud de Raíz principal, Longitud de la Parte Aérea y Peso Seco de plántulas, de acuerdo al Método III, Modelo 1 de Griffing (1956). 76
- Tabla 3.4.** Análisis de varianza de 20 cruzas dialélicas, incluyendo recíprocos, de 5 Líneas endocriadas de Maíz para Emergencia a Campo a los 12 días desde la siembra, Vigor en escala visual 1-5 en estado V5, Índice de vigor 1, Peso Seco de Planta, Emergencia a Campo a los 19 días desde la siembra, Vigor en escala visual 1-5 en estado V7, Índice de vigor 2, Altura de planta a los

23 días desde la siembra, Altura de planta a los 30 días desde la siembra, Elongación Foliar y Rendimiento de acuerdo al Método 3, Modelo 1 de Griffing (1956). 78

Tabla 3.5. Continuación de la Tabla 3.4. Análisis de varianza de 20 cruzas dialélicas, incluyendo recíprocos, de 5 Líneas endocriadas de Maíz para Emergencia a Campo a los 12 días desde la siembra, Vigor en escala visual 1-5 en estado V5, Índice de vigor 1, Peso Seco de Planta, Emergencia a Campo a los 19 días desde la siembra, Vigor en escala visual 1-5 en estado V7, Índice de vigor 2, Altura de planta a los 23 días desde la siembra, Altura de planta a los 30 días desde la siembra, Elongación Foliar y Rendimiento de acuerdo al Método 3, Modelo 1 de Griffing (1956). 78

Tabla 3.6. Efectos de Aptitud Combinatoria General para Emergencia a Campo a los 12 días desde la siembra , Vigor en escala visual 1-5 en estado V5, Índice de vigor 1, Peso Seco de Planta, Emergencia a Campo a los 19 días desde la siembra, Vigor en escala visual 1-5 en estado V7, Índice de vigor 2, Altura de planta a los 23 días desde la siembra, Altura de planta a los 30 días desde la siembra , Elongación Foliar y Rendimiento de acuerdo al Método 3, Modelo 1 de Griffing (1956). 79

Tabla 3.7. Continuación Tabla 3.6. Efectos de Aptitud Combinatoria General para Emergencia a Campo a los 12 días desde la siembra , Vigor en escala visual 1-5 en estado V5, Índice de vigor 1, Peso Seco de Planta, Emergencia a Campo a los 19 días desde la siembra, Vigor en escala visual 1-5 en estado V7, Índice de vigor 2, Altura de planta a los 23 días desde la siembra, Altura de planta a los 30 días desde la siembra , Elongación Foliar y Rendimiento de acuerdo al Método 3, Modelo 1 de Griffing (1956). 80

Tabla 3.8. Efectos de Aptitud Combinatoria Específica y Efectos Recíprocos para Emergencia a Campo a los 12 días desde la siembra, Vigor en escala visual 1-5 en estado V5, Índice de vigor 1 y Peso Seco de Planta, de acuerdo al Método 3, Modelo 1 de Griffing (1956). 82

Tabla 3.9. Continuación Tabla 3.8: Efectos de Aptitud Combinatoria Específica y Efectos Recíprocos para Emergencia a Campo a los 19 días desde la siembra, Vigor en escala visual 1-5 en estado V7, Índice de vigor 2 y Altura de planta a los 23 días desde la siembra, de acuerdo al Método 3, Modelo 1 de Griffing (1956). 83

Tabla 3.10. Continuación Tabla 3.9: Efectos de Aptitud Combinatoria Específica y Efectos Recíprocos para Altura de planta a los 30 días desde la siembra, Elongación Foliar y Rendimiento, de acuerdo al Método 3, Modelo 1 de Griffing (1956). 84

Tabla 3.11. Coeficientes de correlación del Rendimiento de las F1 y los valores de ACE de los caracteres de plántula a laboratorio y caracteres de planta en etapas tempranas a campo para las variables Porcentaje de Germinación, Peso Seco de plántulas, Emergencia a Campo a los 12 días desde la siembra, Índice de vigor 1, Peso Seco de Planta y Altura de planta a los 23 días desde la siembra. 85

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Precipitaciones ocurridas entre los meses de septiembre hasta abril durante el ciclo del cultivo 2008-2009.....	31
Figura 2.2. Gráfico Biplot de un Análisis de Componentes Principales (ACP) para 20 híbridos de maíz evaluados a laboratorio en base a las variables Porcentaje de Germinación en PEG, Longitud de la Raíz principal, Longitud de la Parte Aérea y Peso Seco de plántula.	45
Figura 2.3. Gráfico Biplot de un Análisis de Componentes Principales (ACP) para 20 Híbridos evaluados a campo en base a las variables Emergencia a campo 1 (EAC1), Vigor 1 (VIGOR1), Índice de Vigor 1 (IVIGOR1), Peso seco de planta (PSPTA), Emergencia a campo 2 (EAC2), Vigor 2 (VIGOR2), Índice de Vigor 2 (IVIGOR2), Altura 1 (ALT1), Altura 2 (ALT2), Elongación Foliar (EF) y Rendimiento (RTO).	47
Figura 2.4. Gráfico Biplot de un Análisis de Componentes Principales (ACP) para 20 híbridos experimentales de maíz evaluados a laboratorio y a campo, en base a las variables Porcentaje de Germinación en PEG (PG), Longitud de la Raíz principal (LR), Longitud de la Parte Aérea (LPA) y Peso Seco de plántula (PS), Emergencia a campo 1 (EAC1), Vigor 1 (VIGOR1), Índice de Vigor 1 (IVIGOR1), Peso seco de planta (PSPTA), Emergencia a campo 2 (EAC2), Vigor 2 (VIGOR2), Índice de Vigor 2 (IVIGOR2), Altura 1 (ALT1), Altura 2 (ALT2), Elongación Foliar (EF) y Rendimiento (RTO).	49
Figura 2.5. Árbol de Regresión para 20 híbridos experimentales de maíz evaluados a laboratorio y a campo, en base a las variables Porcentaje de Germinación en PEG (PG), Longitud de la Raíz principal (LR), Longitud de la Parte Aérea (LPA) y Peso Seco de plántula (PS), Emergencia a campo 1 (EAC1), Vigor 1 (VIGOR1), Índice de Vigor 1 (IVIGOR1), Peso seco de planta (PSPTA), Emergencia a campo 2 (EAC2), Vigor 2 (VIGOR2), Índice de Vigor 2 (IVIGOR2), Altura 1 (ALT1), Altura 2 (ALT2), Elongación Foliar (EF) y Rendimiento (RTO).	50

LISTA DE ABREVIATURAS

Capítulo I

- NOA: Noroeste Argentino
- MGM: Maíces Genéticamente Modificados
- Bt: Barrenador del tallo
- RR: Resistente a Roundup
- CL: Clearfield
- HCL: Resistente a imidazolinonas
- PEG: Polietilenglicol
- ASI: Intervalo Antesis-Silking
- ACG: Aptitud Combinatoria General
- ACE: Aptitud Combinatoria Específica

Capítulo II

- F.C.A.: Facultad de Ciencias Agropecuarias
- CIMMYT: Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo
- LASYDIS: Laboratorio de Análisis de Semillas de la FCA-UNC
- MPa: Mega Pascales
- PG: Porcentaje de Germinación
- LPA: Longitud de la Parte Aérea
- LR: Longitud de la Raíz principal
- PS: Peso Seco de plántula
- LS: Latitud Sur
- LO: Longitud Oeste
- DBCA: Diseño en Bloques Completamente Aleatorizados
- EAC1: Emergencia a Campo a los 12 días desde la siembra
- EAC2: Emergencia a Campo a los 19 días desde la siembra
- V1: Vigor en escala visual uno
- V5: Estado de 5 hojas

- V2: Vigor en escala visual dos
- V7: Estado de 7 hojas
- ALT1: Altura de planta a los 23 días desde la siembra
- ALT2: Altura de planta a los 30 días desde la siembra
- PSPTA: Peso Seco de Planta a los 40 días desde la siembra
- IV1: Índice de Vigor 1
- IV2: Índice de Vigor 2
- EF: Elongación Foliar
- RTO: Rendimiento
- PCA: Análisis de Componentes Principales
- CV: Coeficiente de Variación
- DMS: Diferencia Mínima Significativa
- CP: Componente Principal
- CP1: Componente Principal uno
- CP2: Componente Principal dos
- V2: Estado de 2 hojas
- V3: Estado de 3 hojas
- V6: Estado de 6 hojas
- VIG: Vigor
- PE: Porcentaje de Emergencia
- Fv/Fm: Eficiencia máxima de fotosíntesis II
- IC: Índice de Cosecha

Capítulo III

- ER: Efectos Recíprocos
- ANAVA: Análisis de la Varianza
- QTL: Quantitative Traits Loci
- PSII: Fotosíntesis II
- SPAD: Contenido de clorofila de la hoja
- SLA: Área específica de la hoja

- LRP: Longitud de la Raíz Principal
- NRS: Número de Raíces Secundarias
- RR: Radio Radical
- Vi: Vigor inicial de plántula
- IVI: Índice de Vigor Inicial
- APL: Altura de Planta

INTRODUCCIÓN GENERAL

La población mundial continúa incrementándose a razón de 1,2% por año pudiendo llegar a los 9.200 millones de habitantes para el año 2050 (ONU, 2007). Junto al crecimiento per se de la población, se han producido mejoras en la cantidad y calidad de la dieta consumida por habitante (Von Braun, 2007). Por otro lado, existen crecientes necesidades de biocombustibles para satisfacer los requerimientos energéticos de esa población en expansión, como así también el reemplazo de los combustibles fósiles. Todo esto, en su conjunto, plantea un sostenido incremento de la demanda mundial de granos de maíz (FAO, 2004).

El cultivo de maíz (*Zea mays* L.) es aprovechado principalmente como alimento para el hombre en casi todo el mundo. Constituye uno de los principales cereales de mayor importancia en Argentina, tanto por el área de explotación que ocupa como por su consumo. El maíz se ha convertido en un cultivo de alto valor estratégico debido a su importancia en la dieta humana y al número de personas que lo explotan en la geografía nacional, además es un cultivo a partir del cual se produce semilla certificada, lo que implica mayor seguridad para el productor a la hora de comprar semilla; esto permite que el país pueda disponer de volúmenes de semillas de calidad que se requieren para satisfacer las necesidades de siembra nacionales.

El aumento de la producción de maíz en la Argentina, hasta la década del 60, se debió a un aumento en la superficie cultivada. A partir de esa época, donde el área cultivada sufrió un estancamiento, la producción siguió aumentando por un incremento en el rendimiento (Andrade, 2000), lo cual puede ser explicado por ganancias genéticas y por mejoras en el manejo de los cultivos. Tollenaar y Lee (2002) demostraron que la mayor parte del aumento en los rendimientos de los híbridos de maíz en Estados Unidos y Canadá, se debió a un incremento en la tolerancia a distintos tipos de estrés, como resultado de la selección genética por la estabilidad del rendimiento, dado por el interés de las compañías semilleras por identificar híbridos ampliamente adaptados (Mastronardi *et al.*, 2010).

En Argentina, la disponibilidad de genotipos con buen comportamiento ante restricciones ambientales ha permitido ampliar tanto, la zona de producción de maíz hacia ambientes con menor oferta hídrica, como la estación de crecimiento explorada por los cultivos (Mercau y Otegui, 2002). En particular, en gran parte del norte de la pampa sub-húmeda y NOA, las fechas de siembra de diciembre se adoptan como alternativas de manejo para conservar el agua disponible durante etapas críticas, disminuir la incidencia de estrés térmico, o como parte de un sistema de cultivos sucesivos destinados a incrementar la productividad por hectárea (Vega, 2010). Al mismo tiempo, el mejoramiento genético permitió lograr mayores rendimientos, mejorar la tolerancia a estrés hídrico y reunir en un genotipo una serie de caracteres agronómicos deseables, haciendo posible explorar regiones marginales para la producción del maíz como la región Norte del país (Díaz *et al.*, 2010). Así también, se destaca la rápida expansión en los últimos años de las prácticas de manejo conservacionistas, en particular la siembra directa, que ha consolidado al maíz como uno de los cultivos más importantes en la región del noroeste Argentino (Gamboa *et al.*, 2010).

En maíz, las elevadas ganancias genéticas obtenidas en la historia del mejoramiento han sido gracias a la selección basada casi exclusivamente en el rendimiento en grano y su estabilidad (Duvick y Cassman, 1999), más unos pocos rasgos morfológicos de fácil observación (vigor de planta, resistencia a plagas y enfermedades, tamaño de panoja) o medición (altura de planta y de inserción de espiga, porcentaje de vuelco y quebrado, número de espigas, calidad de grano) (Hageman y Lambert, 1988); sin dejar de mencionar a los maíces genéticamente modificados (MGM) cuyos eventos genéticos incorporados aportan resistencia o tolerancia a determinadas plagas endémicas (ej. los maíces Bt resistentes a los ataques del Barrenador del tallo) como así también a los herbicidas ampliamente utilizados como el glifosato (ej. Maíces RR) o los maíces tolerantes a los herbicidas del sistema de control Clearfield (ej. Maíces CL o HCL). Con este criterio, el promedio del rendimiento de cultivares de maíz en la Argentina creció a una tasa de 105 Kg/ha/año entre 1979 y 1990 (Eyhérbide *et al.*, 1994); sin embargo, desde los 90' hasta el año 2009 la tasa de incremento del rendimiento promedio alcanzó 161 Kg/ha/año (Uhart, 2010). Por lo que, el alza en la producción de granos fue debida principalmente a una mejora sostenida del número de granos, sin existir una caída compensatoria del peso de los mismos (Luque *et al.*, 2006).

En cuanto a la producción de granos de maíz, se espera una demanda de 908,8 millones de toneladas para la campaña 2018/2019, lo que representaría un incremento del 15% (FAPRI, 2009). Este incremento deberá ser cubierto básicamente por un aumento en el rendimiento por unidad de área. Además, el recurso hídrico agrícola será cada vez más limitante debido al aumento del consumo doméstico e industrial y, en algunas regiones, el cambio climático global impactará en la oferta de lluvias (Fererres y Gonzalez-Dugo, 2009). En consecuencia, el aumento en la producción se deberá lograr en un contexto de escasez del recurso hídrico, lo cual requerirá de sistemas que tengan altos niveles de eficiencia en el uso del agua (De Santa Eduvigis *et al.*, 2010).

En Argentina, el área de cultivo abarca desde el sur de Buenos Aires hacia el norte del país, atravesando varios climas: templado-serrano, templado-pampeano-húmedo, tropical serrano y subtropical con estación seca, posibilitando para las regiones centro y núcleo de clima templado (comprendida entre los 32°-35° latitud Sur y entre los 59°-63° latitud Oeste), regímenes térmicos variables por ejemplo; dos períodos de siembra en el mismo año, siembras en octubre (fecha de primera) y en noviembre/diciembre (fecha de segunda) (Andrade *et al.*, 2002). Así, la región del noroeste argentino (NOA), que fue considerada tradicionalmente una zona marginal para la producción de maíz, adquirió en las dos últimas décadas mayor importancia por la aparición e introducción de variedades e híbridos de buena adaptación a condiciones sub-tropicales.

En nuestro país, el maíz es cultivado en sistemas de siembra directa y con frecuencia en rotación con la siembra de soja (Díaz, 2010). Actualmente entre los sistemas de labranza utilizados en el área maicera, la siembra directa es estimada en 1,7 millones de hectáreas, lo que representa más del 56% del total de la superficie cultivada anualmente (García, 2003). La gran variación en amplitud de épocas y de localidades de siembra expone a las plantas, en sus diferentes estadios fenológicos, a condiciones de clima y de microclima muchas veces desfavorables (Díaz, 2010).

En la campaña 2009/2010, la producción en Argentina se registró en 22.676.920 de toneladas, con una superficie implantada de 3.668.580 has y un rendimiento promedio de 78,12 qq/ha (MAGyP, 2010). Los precios internacionales de los productos agrícolas, junto con los cambios en la tendencia del clima (aumentos de las precipitaciones de hasta un

50% en algunas zonas de la Pampa (Barros, 2008), han promovido la expansión de la agricultura hacia zonas anteriormente consideradas como semiáridas (<700 mm/año) por ejemplo, La Pampa Interior, donde el pastoreo era el uso predominante del suelo. Del mismo modo, la frontera agrícola se ha desplazado hacia el norte de la Pampa Ondulada a partir de la desforestación de los bosques nativos. Por lo tanto el cultivo de maíz se ha expandido fuera de la zona tradicional de producción, sosteniendo el área agrícola ocupada anualmente con este cultivo, pero sin un análisis profundo del impacto de las condiciones climáticas sobre su productividad (Maddoni, 2010).

Para el caso particular de la provincia de Córdoba en donde el maíz es un cereal de suma importancia, los datos que se relevaron para el ciclo agrícola 2009/2010 registran una producción total de 6.760.270 toneladas y una superficie cultivada con 998.100 has que dio como resultado rendimientos superiores a los citados anteriormente a nivel nacional alcanzando valores cercanos a los 80,12 qq/ha (MAGyP, 2010) debido a las condiciones climáticas propias de la región de la pampa sub húmeda y a la utilización de las variedades híbridas adaptadas a la zona. Las técnicas de manejo sanitario del cultivo y el uso masivo de la siembra directa como estrategia de mejora de las condiciones del suelo (conservación de la humedad y la fertilidad del perfil con la cobertura de cultivos antecesores), control de plagas y enfermedades influyeron en el incremento evitando la remoción de la capa superficial del suelo. De cualquier manera, la principal limitante para la obtención de altos rendimientos en dicha zona, está dada por la disponibilidad de agua para el crecimiento del cultivo (Cantarero *et al.*, 2000).

En la producción bajo condiciones de secano, el abastecimiento de agua puede limitar el crecimiento del cultivo en cualquier momento de la estación, pero las características necesarias para mejorar los rendimientos en condiciones de sequía pueden ser bastante diversas según la etapa de crecimiento del cultivo en que ocurre el estrés hídrico. En el caso de un estrés temprano es importante el ajuste osmótico (Chimenti *et al.*, 1997); de manera que si el estrés ocurre en la época de floración, la forma de distribución de los carbohidratos resulta relevante. El principal peligro de este tipo de estrés es la reducción de la población de plantas, dado que el maíz tiene una baja capacidad de macollaje y cada planta debe sobrevivir hasta que se restablezcan las lluvias; de lo contrario el rendimiento será irreversiblemente comprometido. Así mismo, las

características que favorecen la supervivencia de las plantas son un enraizamiento profundo y precoz, una pérdida reducida de agua de las hojas y un ajuste osmótico que permita a la planta continuar la absorción del agua del suelo seco. Por otro lado, el estrés de la floración ocurre cuando hay un periodo seco entre el inicio de la antesis y la aparición de los estambres, lo cual puede llevar a la esterilidad o a una severa reducción en el número de granos por mazorca. (Lafitte, 2001).

Durante el estrés hídrico, las plantas ajustan parcialmente su grado de turgencia mediante el incremento de la concentración de solutos en las células. La parte radical resulta menos afectada, aumentando la relación peso seco raíz : peso seco tallo (Mackay y Barber, 1985; Otegui, 1992). Así, tanto los parámetros de crecimiento longitudinal como radial son alterados en las raíces creciendo a bajo potencial hídrico, dando sistemas radicales de mayor longitud pero con menor radio (Vartanian, 1981; Sharp *et al.*, 1988). De acuerdo a esto, Edmeades *et al.* (1996) sugiere que un ideotipo de maíz tolerante a sequía debe poseer la capacidad de germinar en suelos con poca humedad y presentar una alta relación raíz : tallo en el estadio temprano de plántula.

En ciertas áreas agrícolas, al igual que en otros cultivos, períodos de baja disponibilidad de humedad durante su ciclo biológico causan significativas reducciones del crecimiento y desarrollo de las plantas y como resultado se presenta un detrimento en la producción de granos (Betrán *et al.*, 2003). Las etapas cercanas a la antesis y la etapa inicial del período de llenado de grano, son las más susceptibles a la presencia de estrés hídrico, como también los períodos de estrés hídrico desde la germinación a la iniciación floral (fase vegetativa) que pueden provocar significativas reducciones del rendimiento de grano debido a un mal establecimiento del cultivo (Delouche, 1952; Helms *et al.*, 1996).

Los mejoradores han utilizado la variación genética del maíz tropical para seleccionar cultivares con un mejor comportamiento bajo estreses abióticos específicos como los suelos ácidos y las sequías en la época de floración. Si bien, los logros para desarrollar cultivares con tolerancia, o en su defecto, un buen comportamiento a las inundaciones, a la baja fertilidad de suelos y al estrés de sequía de las plántulas; han sido relativamente escasos. Sin embargo, existe una amplia evidencia de variación genética contra estos tipos de estrés (Lafitte, 2001). A pesar de ello, la respuesta del cultivo a la

sequía puede ser bastante diferente en áreas de agricultura comercial, donde el objetivo es el alto potencial de rendimiento, comparado con áreas de agricultura de subsistencia, donde la prioridad es la estabilidad de los rendimientos. (Ludlow y Mulchow, 1990).

Cabe destacar que los agricultores requieren de la calidad de semilla como información crucial para determinar con anticipación la rapidez y la uniformidad de la emergencia de las plántulas cuando se adquieren las semillas para la siembra. Por otro lado, los técnicos también necesitan de esta información ya que la pérdida de vigor precede a la pérdida de viabilidad y las pruebas de vigor podrían ayudar en el monitoreo de la calidad de la semilla después de la maduración en planta. (Mc Donald, 1975; Filho, 1998).

En la actualidad se cuenta con una industria semillera organizada, representada, en muchos casos, por empresas productoras que están asociadas y que al mismo tiempo se ocupan del suministro de semillas desde la producción y distribución del material básico y la multiplicación hasta la venta del producto final y de alta calidad. Este sistema, que va desde la evaluación de los cultivares, las investigaciones científicas, la multiplicación de semillas, el control de calidad y hasta la comercialización, funciona de manera eficaz siempre y cuando la verificación de la calidad de los lotes producidos den cumplimiento de responsabilidad y garantía de una correcta certificación de semillas. De esta forma, en la región Central (zona núcleo), la industria de semillas contribuye actualmente en un alto porcentaje a la producción de semilla certificada de maíz incorporando materiales elegibles en su gran mayoría híbridos mejorados.

Uno de los principales objetivos en la comercialización de semillas de maíz es garantizar al agricultor semillas de alta calidad de los mejores cultivares que sean oficialmente reconocidos y certificados para que contribuyan a mejorar la producción y la productividad del cultivo.

El concepto de calidad de la semilla abarca la sumatoria de todas aquellas propiedades o características que determinan un nivel potencial para el comportamiento de los lotes de semillas y el establecimiento del cultivo. Por otro lado, los componentes de la calidad incluyen aspectos genéticos, físicos, fisiológicos y sanitarios (microorganismos e insectos); estos cuatro componentes pueden ser afectados adversamente durante la producción, procesamiento, almacenamiento y el transporte de las semillas. Así, los

tecnólogos de semillas dirigen grandes esfuerzos para identificar los principales problemas que ocurren en la producción y en el desarrollo de prácticas apropiadas que aseguren altos niveles de calidad de las semillas producidas (Méndez Natera *et al.*, 2007).

Con el criterio de obtener calidad, uno de los componentes fisiológicos que debiera tenerse en cuenta es el vigor, ya que el mismo se manifiesta como diferencias en la emergencia a campo de los lotes de semillas de alta germinación (Murcia, 2003). Otros autores consideran que el vigor es un concepto múltiple que describe varias características relacionadas a distintos aspectos del desempeño de los diferentes lotes en el campo (Van de Venter, 2000). AOSA (1983) afirma que el vigor comprende todas las propiedades de las semillas que determinan su potencial para una emergencia rápida y uniforme para el desarrollo de plántulas normales bajo un amplio rango de condiciones de campo. Sin embargo, Van de Venter (2001) definió al vigor como la suma de aquellas propiedades que determinan la actividad y el desempeño de los lotes de aceptable germinación en un amplio rango de ambientes, ampliando el concepto anterior.

Otros aspectos de la calidad asociados al vigor pueden ser expresados según: tasa y uniformidad de germinación de las semillas y crecimiento de plántulas, habilidad de emergencia bajo condiciones ambientales desfavorables y capacidad de germinación después del almacenamiento (Murcia, 2003). Si bien se tiene en cuenta que el deterioro de la semilla comienza luego de que ésta alcanza la maduración fisiológica y continua hasta perder su capacidad de germinar, la duración del proceso de deterioro está determinada principalmente por la interacción entre herencia genética, su contenido de humedad y la temperatura (Delouche, 2002).

El objetivo general de los ensayos de vigor es proporcionar información respecto a la performance potencial de un lote de semillas de alto poder germinativo, en condiciones de almacenamiento o de campo. Sus resultados no se expresan en términos absolutos, pero permiten establecer diferencias entre los lotes de alto poder germinativo (Van de Venter, 2001). Dichos ensayos se desarrollan para proporcionar información adicional al test de germinación, complementándolo sin sustituirlo (Krzyzanowski *et al.*, 1999).

Mientras que el ensayo de germinación estándar se mantiene como la prueba básica que pone de manifiesto la potencialidad germinativa bajo condiciones óptimas y

controladas según Hampton (2002), de la misma forma, Mc Donald (1980) y Bennett (2002) destacan que una de las características que se espera de una prueba de vigor es que tenga capacidad de correlacionarse con el desempeño de las semillas en el campo.

Conceptualmente, la germinación es el proceso que se inicia con la imbibición de la semilla (Duffus y Slaughter, 1985). La disponibilidad de humedad es uno de los principales requerimientos de este proceso (Heenan *et al.*, 1988).

En el caso particular del maíz, la semilla necesita embeber una tercera parte de su peso en agua para realizar de manera óptima el proceso germinativo; condiciones restrictivas de humedad durante esta fase resultan en una imbibición parcial. De esto, se podría inferir que una semilla de menor tamaño concluiría con mayor rapidez la etapa de germinación; situación que bajo condiciones de humedad restringida podría ser conveniente. Aunque también se conoce que un menor tamaño de semilla indica una menor cantidad de reservas para el desarrollo pre emergente de la plántula y un menor tamaño del embrión, condiciones que juntas o individualmente provocarían una disminución en el vigor inicial de la plántula (Sanderson y Elwinger, 2000).

Para tener una total apreciación de la necesidad de las pruebas de vigor, de su potencial y de sus usos, es importante entender que la prueba de germinación no es una medida adecuada del potencial de una semilla para la producción de plantas.

La filosofía que lidera la prueba de germinación es la optimización y padronización de las condiciones de la prueba, de manera de obtener los mejores resultados. Generalmente, las pruebas son realizadas en un medio esencialmente artificial y esterilizado, humedecido en un grado favorable, en germinadores ajustados a una temperatura óptima para la especie de la semilla probada, por un tiempo suficientemente largo para permitir que todas las semillas, incluso las “débiles”, germinen y desarrollen plántulas normales. Los principios de optimización y maximización de las pruebas de germinación son relativamente moderados por los conceptos de plántulas normales y anormales; las plántulas muy enfermas y deformadas son normalmente excluidas del porcentaje de germinación. Se considera, además, que las plantas débiles así como las semidefectuosas y las robustas tienen el mismo valor en el porcentaje de germinación final (Delouche, 2002).

La emergencia de la plántula es el resultado de dos fases: germinación de la semilla y desarrollo pre-emergente de la misma. Estas dos fases, de manera general, se llevan a cabo bajo la superficie del suelo (Hamman *et al.*, 2002) en ausencia de radiación solar, por lo cual la energía necesaria para la realización de estos procesos de crecimiento y desarrollo es suministrada en su totalidad por las reservas acumuladas tanto en el endosperma como en la aleurona (Duffus y Slaughter, 1985). En este sentido, bajo condiciones de estrés, el vigor inicial es de gran importancia ya que permite a la plántula mantener un mayor nivel de crecimiento, mejor establecimiento del cultivo y mayor rendimiento (Biswas *et al.*, 2000).

La evaluación del vigor, como rutina en la industria de semillas, tiene que evolucionar a medida que las pruebas disponibles van siendo perfeccionadas, fortaleciendo con mayor precisión y reproducibilidad los resultados dentro y entre laboratorios (Krzyzanowski y Franca Neto, 1991).

El desempeño de las semillas depende no sólo de la historia del lote sino, principalmente, de las condiciones ambientales a las cuales están expuestas (Krzyzanowski *et al.*, 1999). Por lo tanto, es recomendable dirigir la atención a ensayos que anticipen el comportamiento de las mismas en condiciones agroclimáticas particulares y previsibles de cada región, simulando en el laboratorio el factor principal de estrés que opera en el campo (Parvathamma *et al.*, 1991; Hampton, 1993) y analizando la respuesta germinativa bajo ese estrés.

Según lo expresado por Egli y Tekrony (1996), la capacidad de los ensayos de calidad de laboratorio para poder estimar el desempeño de los lotes de semillas en las primeras etapas de crecimiento en el campo, estaría asociada con las condiciones ambientales preponderantes en la cama de siembra. A partir de esta afirmación, Hampton y Coolbear (1990) sostienen que un solo ensayo de laboratorio es insuficiente como estimador de la calidad en relación a su comportamiento a campo.

De esta manera, la Tecnología de semillas, como una fase del proceso de producción, debe procurar mejorar las pruebas de vigor con el objetivo de optimizar las estimaciones del potencial de desempeño de un lote a campo (Vieira, 1994). El desarrollo

de genotipos con características de vigor apropiadas y altos rendimientos potenciales, son objetivos importantes en el mejoramiento de la producción y calidad de semillas de maíz.

El análisis de genotipos seleccionados en ambientes altamente variables y con alta probabilidad de ocurrencia de sequía, podría traer aparejado la detección de cambios en ciertas características durante la germinación y el crecimiento de plántula. Por lo cual, la selección en ambientes con alta probabilidad de ocurrencia de estrés hídrico, ha sido indicada por varios autores (Christiansen y Lewis, 1981; Blum, 1985; Ceccarelli, 1989) como un medio eficaz para lograr un aceptable nivel de tolerancia a sequía.

El proceso de selección a campo tiene en cuenta determinados caracteres morfológicos que mejoran la tolerancia de los genotipos, como ser la reducción del intervalo de floración, una mayor prolificidad y un rendimiento aceptable bajo estrés. En este sentido, un aspecto que podría ayudar al proceso de mejoramiento, es la identificación temprana de características que indiquen si un determinado genotipo, es o no potencialmente tolerante. En instancias posteriores, dichos caracteres podrían ser utilizados en la selección durante etapas tempranas del desarrollo de la planta (Biasutti y Galiñanes, 2001).

Características simples como el porcentaje de germinación, la longitud de la parte aérea (Acevedo *et al.*, 1971), la longitud de la raíz principal y peso seco de plántulas (Trawatha *et al.*, 1990; Teruel *et al.*, 2008), han sido identificadas como aceptables indicadores de vigor de plántula en maíz.

Las diferencias en tamaño de canopia, color y apariencia general a las tres semanas de la emergencia a campo, también han sido colectivamente indicadas como características o variables de vigor temprano en maíz (Revilla *et al.*, 1999; Mihura, 2008). La importancia de estos caracteres adquiere mayor relevancia cuando su identificación es factible de realizarse en etapas tempranas del desarrollo del cultivo (Ludlow y Muchow, 1990; Gutiérrez-Rodríguez *et al.*, 1998). Por otra parte, características como porcentaje de emergencia, número de mazorcas por parcela, peso de grano (Alizaga *et al.*, 1992), altura de planta, número total de hojas, días desde la siembra al 50% de floración masculina y femenina (Cervantes Ortiz *et al.*, 2007; Alemán, 2009), biomasa o peso seco de planta (Wesley *et al.*, 2002; Peter *et al.*, 2009), elongación foliar, temperatura foliar, intervalo de

floración (Alemano, 2009) son características que han sido identificadas como variables asociadas al vigor temprano a campo en maíz.

En particular la prueba de frío es, entre los ensayos de laboratorio, el más utilizado para medir vigor en maíz, incluso se lo ha utilizado para predecir emergencia como valor absoluto y determinante en la calidad de un lote. Sin embargo, existen diferentes metodologías para su realización y las correlaciones citadas en la bibliografía entre el ensayo de frío y la emergencia, presentan alta variación (Mihura, 2008).

También existen tests de vigor realizados en laboratorio donde el déficit hídrico en el suelo puede ser simulado mediante el uso de soluciones con potenciales hídricos definidos (Emmerich y Hardegree, 1991). Varios estudios reportan la utilización del polyetilenglicol (PEG) como “medio” para la simulación de condiciones de deficiencia hídrica con el fin de evaluar el comportamiento de diferentes especies, entre las que se incluyen: poroto (De y Kar, 1995), arroz (Perez–Molphe–Balch *et al.*, 1996), girasol (Chimenti, 1982), lupino (Perissé, 1997), trigo (Blum, 1993) y maíz (Chimenti, 1982; Trapani y Gentinetta, 1984; Biasutti y Galiñanes, 2001; Alemanno *et al.*, 2003). Así, la prueba en soluciones osmóticas sería apropiada para diferenciar materiales genéticos resistentes para ser utilizados como progenitores en cruzamientos (Blum, 1988). Con este criterio, la identificación de genotipos con altos porcentajes de germinación bajo estrés hídrico puede mejorar el vigor de plántula, el establecimiento a campo y la competitividad intraespecífica, es decir plantas más vigorosas (Willenborga *et al.*, 2005).

Un enfoque del mejoramiento para tolerancia a estreses abióticos, es identificar un carácter simple de un componente fisiológico que sea probable de conferir tolerancia al estrés; la selección que se realiza en este caso sería sólo sobre el carácter aislado. En el mismo momento se analiza el valor del carácter como criterio de selección evaluando el cambio producido. Esto refleja la heredabilidad real de la característica en consideración bajo las condiciones de selección utilizadas y las ganancias en rendimiento del cultivo bajo estrés en el campo. Este tipo de mejoramiento fisiológico, tal como el ajuste osmótico, han sido intentados durante muchos años (Blum, 1988). Lamentablemente, pocos documentos informan acerca de un mejoramiento significativo de los rendimientos en condiciones de

estrés como resultado de la aplicación de estreses en las plántulas de maíz. (Ludlow y Muchow, 1990).

Los cultivares que tienen valores extremos de un carácter pueden diferir en muchas otras características importantes de modo que, sus estrategias frente al estrés pueden ser bastante diferentes. En tal caso, la selección para un carácter simple en una población uniforme en mejoramiento, puede no tener efecto o puede tener un impacto negativo sobre el rendimiento a causa de que el carácter es efectivo para la tolerancia al estrés solo cuando ocurre en combinación con muchas otras adaptaciones.

En el maíz de zonas templadas parecería que la tolerancia general al estrés, o la capacidad de la planta para ajustarse a condiciones ambientales no óptimas, es el resultado acumulativo de muchas pequeñas diferencias difíciles de medir individualmente (Tollenaar *et al.*, 1993). Es razonable asumir que, muchos procesos a varios niveles de organización, también están involucrados en la determinación de los rendimientos bajo estreses específicos tales como la sequía. De acuerdo a Edmeades *et al.* (1996), la cantidad de agua transpirada que está directamente relacionada con la biomasa producida, es influida por caracteres que afectan la capacidad de supervivencia (como por ejemplo: un alto porcentaje de germinación y la supervivencia de las plántulas bajo sequía). De acuerdo a ello, un ideotipo de maíz tolerante a sequía debe poseer la capacidad de germinar en suelos con poca humedad y presentar una alta relación raíz:tallo en el estadio temprano de plántula.

Una de las estrategias propuestas para aumentar la eficiencia de la selección en los programas de mejoramiento genético vegetal, es el uso de caracteres secundarios correlacionados con el rendimiento (Blum, 1988). Mirabilio *et al.* (2010) sostienen que este camino ha sido poco explorado hasta el momento, por lo que el avance vertiginoso en los estudios del genotipo no ha sido acompañado por una evaluación minuciosa del fenotipo en el germoplasma adecuado, ni siquiera para caracteres de determinación relativamente sencilla como la fenología y los determinantes numéricos de rendimiento (ej. Número potencial de flores, prolificidad, intervalo anthesis-silking –ASI-, número de granos por planta y peso de grano (Palmieri *et al.*, 2010), pudiendo en algunas condiciones ser de utilidad para aumentar la ganancia genética de los programas de mejoramiento. Sin embargo, en el presente estudio se demuestra la existencia de numerosos trabajos que

tratan sobre los caracteres secundarios relacionados al rendimiento pero éstos presentan fuertes discrepancias entre sus hipótesis.

Desde el punto de vista de la genética, se espera poder determinar cuáles son los efectos génicos que gobiernan a los caracteres asociados al vigor temprano. De esta forma una vez identificados, pueden ser utilizados como criterios de selección para eficientizar las estrategias de mejora genética. Más aún, si estos caracteres están asociados a la producción de granos en híbridos de maíz.

Para tal fin se han realizado pruebas de laboratorio para estimar los efectos génicos que rigen, por ejemplo, la tolerancia del maíz a bajas temperaturas. Así, Maryan y Jones (1983) hallaron que a partir de las líneas parentales se podía predecir el comportamiento de los híbridos. Por otro lado, Hodges *et al.* (1997) y Mc Connell y Gardner (1979) observaron que la germinación y el crecimiento de las plántulas están regidos por diferentes factores génicos tanto aditivos como no aditivos, por lo que no es posible pronosticar acertadamente el comportamiento de los híbridos a partir del conocimiento de la respuesta de las líneas parentales.

Trabajos de Teruel *et al.* (2008) demostraron que los caracteres relacionados al vigor de plántula de maíz en condiciones limitantes de humedad, estuvieron controlados principalmente por efectos aditivos en condiciones de laboratorio. La significancia estadística de la ACG y ACE encontrada por Ajala y Fakorede (1988) indica que hay efectos génicos aditivos y dominantes involucrados en el vigor de la plántula. Mientras que, cuando se realizaron pruebas a campo para estimar los efectos génicos que rigen la tolerancia del maíz a bajas temperaturas, se encontró que los efectos aditivos y recíprocos para caracteres de vigor fueron significativos. (Revilla *et al.*, 1999).

Por todo lo mencionado anteriormente, la importancia del presente trabajo de tesis radicó en probar la efectividad y el poder discriminatorio de la prueba de vigor bajo estrés hídrico en laboratorio, y establecer su influencia bajo condiciones de campo incluyendo al rendimiento en el conjunto de variables evaluadas. Paralelamente, realizar la determinación de los efectos génicos que rigen al vigor tanto a campo como a laboratorio con el fin de determinar su forma más eficiente de selección.

El impacto a nivel de las Ciencias Agropecuarias implica, el poder disponer de una prueba adicional (además de las ya utilizadas y estandarizadas: poder germinativo, cold test, envejecimiento acelerado, tetrazolio, conductividad eléctrica, etc.); que contribuya a la caracterización de genotipos de maíz. En este sentido, el presente trabajo de investigación buscó corroborar la validez del test de vigor bajo estrés hídrico en PEG para considerarlo tan válido como muchos otros. Por otro lado dicha prueba, en conjunto con el conocimiento de los efectos génicos que rigen el vigor temprano y la producción de semillas, proporcionará un aporte al mejoramiento para la predicción del comportamiento de genotipos de maíz en condiciones de secano y brindar una herramienta más para la elección eficiente de líneas parentales en función de la producción de granos de los híbridos de maíz, utilizados frecuentemente bajo condiciones de secano tal como las realizadas en esta investigación.

La información que se obtenga será de valor para las empresas semilleras y los fitomejoradores dedicados a la obtención de híbridos de maíz, ya que el conocimiento de la existencia de diferencias en la producción de semillas, debidas a efectos génicos de origen materno, proveerá información adicional para la selección de la o las líneas maternas más productivas permitiendo, además, reducir los costos de producción de los híbridos y por consiguiente optimizar la producción de semilla híbrida por hectárea.

Cabe destacar que no existen aún en el país reportes similares respecto a este tipo de estudio y al mismo tiempo, los ya realizados no contemplan ambas instancias de evaluación: pruebas de laboratorio y pruebas de campo en forma conjunta incluyendo al rendimiento de los híbridos en el análisis.

PLANTEO DEL PROBLEMA:

No existe suficiente información para predecir el comportamiento de híbridos de maíz en base a la prueba de vigor de estrés hídrico, como así tampoco han sido explicados sus efectos génicos.

A pesar de todos los estudios mencionados, ninguno de ellos evaluó el vigor de plántula bajo estrés hídrico en laboratorio y sus relaciones con el vigor temprano a campo con caracteres de planta adulta, incluyendo el rendimiento. Además, no existen suficientes reportes en la bibliografía sobre la acción génica y la existencia de efectos maternos que influyen el vigor temprano, tanto en condiciones controladas de estrés como en etapas tempranas a campo, y su relación con el rendimiento en híbridos de maíz.

HIPÓTESIS

El vigor temprano está regido predominantemente por efectos aditivos y es un indicador del rendimiento potencial de los híbridos de maíz ensayados.

OBJETIVO GENERAL

Establecer la influencia del vigor temprano y sus efectos génicos sobre el rendimiento en híbridos de maíz.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Establecer las relaciones entre el vigor bajo estrés hídrico evaluado en laboratorio, el vigor temprano a campo y el rendimiento.
2. Estimar los efectos de aptitud combinatoria general, específica y efectos recíprocos para vigor evaluado en laboratorio y para vigor temprano a campo.

Estos objetivos específicos son abordados en los capítulos 2 y 3 del presente trabajo de tesis.

BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo E., Hsiao T. C. and Henderson D. W. 1971. Immediate and subsequent growth responses of maize leaves to changes in water status. *Plant Physiology* 8: 631-636.
- Ajala S. O. and Fakorede M. A. 1988. Inheritance of seedling-vigor and its association with mature plant traits in a population at two levels of inbreeding. *Maydica* 33: 121-129.
- Alemano G., Lerda S., Oliden E., Vagliendo C., Valiente P. y Biasutti C. A. 2003. Heterosis en ensayos de calidad de semillas en híbridos experimentales de maíz. 32° Congreso Argentino de Genética y 36° Reunión Annual Sociedad de Genética de Chile. IV Jornadas Argentino-Chilenas de Genética. Basic and Applied Genetics, XV, Supplement 2. pp: 124.
- Alemano G. 2009. Relaciones entre la calidad de semilla de híbridos simples de maíz (*Zea mays* L.) y las características adaptativas a condiciones adversas presentes en las líneas parentales. Tesis Magister en Ciencias Agropecuarias. Mención Tecnología de Semillas. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina, pp: 145.
- Alizaga R., Sterling F. y Herrera J. 1992. Evaluación del vigor en semillas de maíz y su relación con el comportamiento en el campo. *Agronomía Costarricense*. 16(2): 203-210.
- Andrade, F. H. 2000. Producción potencial y demanda futura de alimentos agrícolas. En: Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja, Andrade, F.H. y Sadras, S. O. (eds). Editorial Médica Panamericana, Argentina. pp: 9-27.
- Andrade F. H., Cirilo A. G. y Otegui M. 2002. Aportes de la Fisiología a la Sustentabilidad. Conferencia, En: Actas VI Congreso Nacional de Maíz, AIAMBA, Pergamino, Argentina. Noviembre 2001. pp: 1-23.
- AOSA. 1983. Seed Vigor Testing Handbook. Contribution N° 32. To the Handbook on Seed Testing. Association of Official Seed Analysts. USA. pp: 88-93.
- Barros V. A. 2008. Adaptation to Climate Trends: Lessons from the Argentine Experience, Local Perspective on Adaptation to Climate Change: Lessons from Mexico and Argentina y Maize and Soybean Cultivation in Souttheastern South America. En: Climate change and adaptation. Vol. 1. Edited by: Neil Leary, James Adejuwon, Vicente A. Barros, Ian Burton, Jyoti Kulkarni and Rodel Lasco. ISBN-13: 978-1-84407-470-9 (hardback). Earthscan Climate in the UK and USA. pp: 296-350.
- Bennett M. 2002. Saturated salt accelerated aging (SSAA) and other vigor tests for vegetable seeds. Pp: 188-193. En: Proceedings International Seed Seminar. Trade, Production and Technology., McDonald M. and Contreras S. (eds). Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Departamento de Ciencias Vegetales, October, 15th and 16th. 2002. Santiago-Chile.
- Betrán F.J., Beck D., Banzinger M. and Edmeames G.O. 2003. Genetic analysis of inbred and hybrid grain yield under stress and non-stress environments in tropical maize. *Crop Science*. 43: 807-817.

- Biasutti C. A. y Galiñanes V. 2001. Influencia del ambiente de selección sobre la germinación de semillas de maíz (*Zea mays L.*) bajo estrés hídrico. Relaciones entre caracteres de plántula con el rendimiento a campo. Agriscientia. Vol. XVIII: 37-44.
- Biswas J.C., Ladha J.K., Dazzo FB., Yanni Y.G. and Rolfe B.G. 2000. Rhizobial inoculation influences seedling vigor and yield of rice. Agronomy Journals. 92:880-886.
- Blum A. 1985. Breeding crop varieties for stress environments. CRC Critical Review in Plant Science 2 (3): 199-238.
- Blum A. 1988. Plant Breeding for stress environments. CRC Press, Boca Ratón, Florida, USA. pp. 213.
- Blum A. 1993. Selection for Sustained Production in Water Deficit Environmets. In: International Crop Science I: 343-347.
- Cantarero M. G., Luque S. F. y Rubiolo O. J. 2000. Efecto de la época de siembra y la densidad de plantas sobre el número de granos y el rendimiento de un híbrido de maíz en la región central de Córdoba (Argentina). AgriScientia. Vol. XVII: 3-10.
- Ceccarelli S. 1989. Wide adaption: How wide? Euphytica 40: 197-205.
- Cervantes Ortiz F., García De los Santos G., Carballo-Carballo A., Bergvinson D., Crossa J. L., Mendoza- Elos M. y Martínez-Moreno E. 2007. Herencia del vigor de plántula y su relación con caracteres de planta adulta en líneas endogámicas de maíz tropical. Agriscientia. Vol. 41: 425-433.
- Chimenti C. A. 1982. Variabilidad intraespecífica y ontogénica en la capacidad de ajuste osmótico en girasol (*Helianthus annus L.*). Tesis Magister Scientiae. Área: Producción Vegetal. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires.
- Chimenti C., Cantagallo J. and Guevara E. 1997. Osmotic adjustment in maize: genetic variation in association with water uptake. En: Edmeades G.O., Bänziger M., Mickelson H.R. and Peña-Valdivia C.B., (eds). Developing Drought and Low-Nitrogen Tolerant Maize, Proc. of a Symp., CIMMYT, El Batan, Mexico, pp: 25-29.
- Christiansen M. N. and Lewis C. F. 1981. Plant response to water stress. En: Breeding Plants for Less Favorable Environments, Christiansen M. N. and Lewis C. F., (eds). Wiley Interscience Publishing Co., New York, USA, pp: 175-192.
- De R. and Kar R. K. 1995. Seed germination and seedling growth of mung bean (*Vigna radiata*) under water stress induced by PEG 6000. Seed Sci. and Technol. 23: 301-308.
- De Santa Eduvigis J. M., Cendoya M. G. y Andrade F. H. 2010. Potencial y estabilidad de rendimiento en híbridos de maíz. IX Congreso Nacional de Maíz. Simposio Nacional de Sorgo. Rosario. Santa Fe. Argentina. pp: 322-324.
- Delouche, J. C. 1952. Influence of moisture and temperature levels on the germination of corn, soybeans, and watermelon. Proc. Assoc. Off. Seed Anal. 43:117-126.

- Delouche J. C. 2002. Germinación, Deterioro y Vigor de Semillas. Revista SEED News. Vol.6 N°6. Publicado en internet, disponible en www.seednews.inf.br Activo Abril 2012.
- Díaz C. G. 2010. Escenario actual de las enfermedades foliares del maíz e impacto potencial de los cambios climáticos globales. Conferencia. IX Congreso Nacional de Maíz. Simposio Nacional de Sorgo. Rosario. Santa Fe. Argentina. pp: 159-162.
- Díaz C., Juárez J. y Larralde M. 2010. Respuesta de híbridos comerciales a enfermedades prevalente del maíz en Departamento San Martín-Salta. IX Congreso Nacional de Maíz. Simposio Nacional de Sorgo. Rosario. Santa Fe. Argentina. pp: 204-205.
- Duffus C. y Slaughter C. 1985. Las semillas y sus usos. AGT Editor, México. 188 pp.
- Duvick D. N. and Cassman K. G. 1999. Post-green revolution trends in yield potential of temperate maize in the north-central United States. *Crop Sci.* 39: 1622-1630.
- Edmeades G. O., Bolaños J. and Chapman S. C. 1996. Value of secondary traits in selecting for drought tolerance in tropical maize. En: *Development Drought and Low nitrogen tolerant maize*. Edmeades G. O., Banziger M., Mickelson H. R. and Peña-Valdivia C. B. (eds), CIMMYT, El Batán, México. pp: 426-432.
- Egli D. B. and Tekrony D. M. 1996. Seedbed conditions and prediction of field emergence of soybean seed. *J. Prod. Agric.* 9: 365-370.
- Emmerich W. E. and Hardegree D. P. 1991. Seed Germination in Polyethylene Glycol Solution: Effects of filter paper exclusion and water vapor loss. *Crop. Science.* 31: 454-458.
- Eyhérabide G. H., Damilano A. L. y Colazo J. C. 1994. Genetic gain for grain yield of maize in Argentina. *Maydica* 39: 207-211.
- FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 2004. El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2003-2004. Roma. Publicado en internet, disponible en <http://www.fao.org/docrep/006/y5160s/y5160s08.htm>.
- FAPRI. 2009. Food and Agricultural Policy Research Institute. U.S. and World Agricultural Outlook 2009. Publicado en internet, disponible en <http://www.fapri.iastate.edu/outlook/2009/>
- Fereres E. y Gonzalez-Dugo V. 2009. Improving productivity to face water scarcity in irrigated agricultura. *Crop Physiology: Appl. For genetic improvement and agronomy*, Academic Press. 2009.
- Filho M. J. 1998. New approaches to seed vigor testing. *Sci. Agric. (Piracicaba)* 55 (Número especial). pp: 27-33.
- Gamboa D. E., Medina D. A. L y Devani M. R. 2010. Análisis del comportamiento de híbridos comerciales de maíz en el noroeste argentino. IX Congreso Nacional de Maíz. Simposio Nacional de Sorgo, Rosario, Santa Fe, Argentina. pp: 331-333.
- García F. O. 2003. Grain Production Systems in Argentina. InfoAg 2003 Pre conference tour. July 30-August 1, 2003 Indianapolis, IN.
- Gutiérrez-Rodríguez M. R., Miguel-Chávez y Larqué-Saavedra A. 1998. Physiological aspects in Tuxpeño maize with improved drought tolerant. *Maydica* 43: 137-141.

- Hageman R. H. and Lambert R. J. 1988. The use of physiological traits for corn improvement. En: Corn and corn improvement, Sprage G. F. y Dudley J. W. (eds), Madison, Wi.
- Hamman B., Egli D. B. and Koning G. 2002. Seed vigor, soilborne pathogens, preemergent growth and soybean seedling emergence. *Crop Science*. Madison. 42: 451-457.
- Hampton J. G. and Coolbear P. 1990. Potential vs. Actual seed performance can vigor testing provide an answer? *Seed Science and Technology*. 18:215-228.
- Hampton J. G. 1993. The ISTA Perspective of Seed Vigour Testing. *Journal of Seed Technology*. 17: 105-109.
- Hampton J. G. 2002. What is seed quality?. *Seed Science and Technology*. 30(1): 1-10.
- Heenan D. P., Lewin L. G. and McCaffery D. W. 1988. Salinity tolerance in rice varieties at different growth stages. *Aust. J. Exp. Agric.* 28 (3): 343-349.
- Helms T.C., Deckard E.L., Goos R.J., and Enz J.W. 1996. Soil moisture, temperature, and drying influence on soybean emergence. *Agron. J.* 88:662-667.
- Hodges D. M., Andrews C. J., Johnson D. A. and Halmiton R. I. 1997. Sensitivity of maize hybrids to chilling and their combining abilities two developmental stages. *Crop. Sci.* 37: 850-856.
- Krzyzanowski F. C. e Franca Neto J. B. 1991. Situacao atual do uso de testes de vigor como rotina em programas de sementes no Brasil. *Informativo ABRATES*. Londrina. 1 no 3. pp: 42-53.
- Krzyzanowski F. C., Viera R. D. e Franca Neto J. B. 1999. Vigor de sementes: conceitos e testes *Asociacao Brasileira de Tecnología e sementes*. Comité de Vigor de sementes. Londrina. Brasil. pp: 218.
- Lafitte, H. R. 2001. Mejoramiento para resistencia a los estreses abióticos. El maíz en los tropicos. *FAO Plant Production and Protection Series*. Publicado en internet, disponible en www.fao.org/docrep/003/x7650s/x7650s19.htm
- Ludlow M. M. and Muchow R. C. 1990. A critical evaluation of trait for improving crop yields in water limited environments. *Advances in Agronomy* 43(1): 107-153.
- Luque S., Cirilo A. G. and Otegui M. E. 2006. Genetic gains in grain yield and related physiological attributes in Argentine maize hybrids. *Field Crops. Res.* 95: 383-397.
- Mackay A. D. and Barber S. A. 1985. Soil moisture effects on root growth and phosphorus uptake by corn. *Agronomy Journals*. 77: 519-523.
- Maddoni G. A. 2010. Caracterización de los escenarios hídricos y térmicos en las regiones maiceras argentinas. *Publicación. IX Congreso Nacional de Maíz, Simposio Nacional de Sorgo, Rosario, Santa Fe, Argentina*. pp: 25-27.
- MAGyP. Ministerio de agricultura, ganadería y pesca de la nación. 2010. Publicado en internet, disponible en http://www.minagri.gob.ar/site/agricultura/cultivos_en_la_argentina/index.php. Activo Abril de 2012.

- Maryan B. D. and Jones A. 1983. The genetics of maize (*Zea mays L.*) growing at low temperatures. I. Germination of inbred lines and their F1s. *Euphytica* 32, 535-542.
- Mastronardi P.H., Slaberry M. T. y Wallace J. C. 2010. Progreso genético de los híbridos de maíz Dekalb comercializados en la Argentina entre 1965 y 2008. Publicación. IX Congreso Nacional de Maíz, Simposio Nacional de Sorgo, Rosario, Santa Fe, Argentina. pp: 350-352.
- Mc Connell R. L. and Gardner C.O. 1979. Inheritance of several cold tolerance traits in corn. *Crop Sci.* 19: 847-852.
- Mc Donald M. B. 1975. A review and evaluation of seed vigor test. *Proceedings of the Association of Official Seed Analysts.* 65. pp. 109-139.
- Mc Donald M. B. 1980. Assessment of seed quality. *HortScience* 15: 784-788.
- Méndez Natera J., Ysavit Marcano L. y Merazo J. 2007. Uso del agua caliente para evaluar la Calidad de semillas de maíz (*Zea Mays L.*). *Revista Tecnológica ESPOL.* Vol 20, N° 1. pp: 229-236.
- Mercau, J. L. y Otegui M. E. 2002. Granero: maíz tardío y maíz de segunda. Software. Departamento de Producción Vegetal FAUBA y Monsanto Argentina S. A.
- Mihura E. J. 2008. Calidad fisiológica de semillas de maíz en relación con la emergencia a campo en siembras tempranas en la zona núcleo maicera argentina. Tesis Magister en Ciencias Agropecuarias. Mención Tecnología de Semillas. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina, 57 pp.
- Mirabilio V., D'Andrea K. E., Otegui M. E., Cirilo A. G. y Eyherabide G. H. 2010. Variabilidad genotípica en líneas endocriadas recombinantes de maíz: I- Estudio de la heredabilidad para los determinantes ecofisiológicos del rendimiento. IX Congreso Nacional de Maíz, Simposio Nacional de Sorgo, Rosario, Santa Fe, Argentina. pp.: 353-355.
- Murcia M.L. 2003. Evaluación del vigor en semillas de girasol (*Helianthus annuus L.*) cultivares "Alto Oleico". Respuesta a la baja temperatura. Tesis Magister en Ciencias Agropecuarias. Mención Tecnología de Semillas. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina, 67 pp.
- ONU. Organización de las Naciones Unidas. 2007. World population prospects: The 2006 revision. United Nations, New York. Passioura, J. S. 2007. The drought environment: physical, biological and agricultural perspectives. *Journal of Experimental Botany.* Vol. 58. N° 2: 113-117.
- Otegui M. E. 1992. Incidencia de una sequía alrededor de antesis en el cultivo de maíz. Consumo de agua, producción de materia seca y determinación del rendimiento. Tesis Magister Scientiae. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Mar del Plata. Balcarce, Bs. As. Argentina. pp: 93.
- Palmieri E., D'Andrea K. E., Otegui M. E., Cirilo A. G. y Eyherabide G. H. 2010. Variabilidad genotípica en líneas endocriadas recombinantes de maíz: II- Estudio de la heredabilidad para los determinantes numéricos del rendimiento. IX Congreso Nacional de Maíz, Simposio Nacional de Sorgo, Rosario, Santa Fe, Argentina. pp: 358-360.

- Parvathamma S., Prakash H. S. and Shekhara Shetty H. 1991. Evaluation of seed vigour in sorghum and sunflower. *Advances in Plant Science*. 4: 35-42.
- Perez-Molphe-Balch E., Gidekel M., Segura-Nieto M., Herrera-Estrella L. and Ochoa Alejo N. 1996. Effects of water stress on plant growth and root proteins three cultivars of rice (*Oriza sativa L.*) with different levels of drought tolerance. *Physiol. Plant*. 96: 284-290.
- Perissé P. 1997. Caracterización morfológica de la cubierta seminal de *Lupinus Albus* y *Lupinus angustifolius L.* y su relación con la germinación. Tesis Magister en Ciencias Agropecuarias. Mención Tecnología de Semillas. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina, pp. 87.
- Peter R., Eschholz T. W., Stamp P. and Liedgens M. 2009. Swiss Flint maize landraces – A rich pool of variability for early vigor in cool environments. *Field Crop Research*. 110 : 157-166.
- Revilla P., Butrón A., Malvar R. A. and Ordás A. 1999. Relationships among Kernel Weight, Early Vigor, and Growth in Maize. *Crop Sci*. 39:654-658.
- Sanderson M.A. and Elwinger G.F. 2000. Chicory and English plantain seedling emergence at different planting depths. *Agronomy Journals* 92: 1206-1210.
- Sharp R. E., Kuhn-Silk W. and Hsiao T. C. 1988. Growth of the maize primary root at low water potentials. *Plant Physiology*. 87: 50-57.
- Teruel, M. E., Biasutti C. A., Nazar M. C. y Peiretti D. A., 2008. Efectos de aptitud combinatoria para vigor de plántula bajo estrés hídrico en maíz. *Agriscientia*. Vol. XXV (1): 27-34.
- Tollenaar M., Mc Cullough D. E. and Dwyer L. M. 1993. Physiological basis of the genetic improvement of corn. En: *Genetic improvement of field crops*, Slafer G.A. (ed). M. Dekker. New York, NY, USA, pp: 183-236.
- Tollenaar, M. and Lee E. A. 2002. Yield potential, yield stability and stress tolerant in maize. *Field Crops Research* 75:161-169.
- Trapani N. and Gentinetta E. 1984. Screening of maize genotypes using drought tolerance tests. *Maydica* 29: 89-100.
- Trawatha, S. E.; Steiner, J. J. and Bradford, K. J. 1990. Laboratory Vigor test used to predict seedling field emergence performance. *Crop Science*. 30: 713-717.
- Uhart S. A. 2010. Maíz: Manejo para ambientes subtropicales con estrés hídrico y térmico. IX Congreso Nacional de Maíz, Simposio Nacional de Sorgo, Rosario, Santa Fe, Argentina, pp: 31-33.
- Van De Venter A. 2000. What is seed vigor? *ISTA News Bulletin*. 121: 13-14.
- Van De Venter A. 2001. Seed Vigor Testing. *ISTA News Bulletin*. 122: 12-15.
- Vartanian N. 1981. Some aspects of structural and functional modifications induced by drought in roots systems. *Plant Soil*. 63: 83-92.
- Vega, C. R. C. 2010. Relación fuente/destino durante el llenado de granos y expresión del síndrome del quebrado de tallos y signos de podredumbre de tallo en maíz. IX

Congreso Nacional de Maíz, Simposio Nacional de Sorgo, Rosario, Santa Fe, Argentina, pp: 170-171.

- Vieira R.D. 1994. Teste de condutividade elétrica. En: Teste de vigor em sementes (Jaboticulal), Vieira R. D. and Carvalho N. M. (Eds.), FUNEP. Brasil, pp. 103-132.
- Von Braun J. 2007. The world food situation: new driving forces and required actions. Food Policy Report 18. International Food Policy Research Institute. Publicado en internet, disponible en <http://www.ifpri.org>. Activo Noviembre de 2008.
- Wesley B. B., Edmeades G. O. and Baker T. C. 2002. Molecular and physiological approaches to maize improvement for drought tolerance. *Journal of Experimental Botany*. Vol. 53. N° 366. pp: 13-25.
- Willenborga C. J., Wildemanc J. C., Millerb A. K., Rossnageld B. G. and Shirliffeb S. J. 2005. Oat germination characteristics differ among genotypes, seed sizes and osmotic potentials. *Crop Sci*. 45: 2023-2029.

ANÁLISIS DE LAS RELACIONES ENTRE EL VIGOR TEMPRANO EVALUADO EN LABORATORIO Y A CAMPO

INTRODUCCIÓN

En los esquemas de control de calidad de las empresas semilleras resulta de vital importancia poder identificar con anticipación aquellos híbridos que presenten un mejor comportamiento en condiciones limitantes de campo, a fin de disminuir riesgos en el momento de la toma de decisiones técnicas y comerciales; y así optimizar la eficiencia del proceso de producción de los cultivares. Para ello es necesario establecer, a priori, la calidad de los lotes de semillas para poder identificar aquellos con mejor comportamiento potencial en condiciones limitantes de secano (Mihura, 2008).

En general, desde el punto de vista de la tecnología de semillas, la calidad es crucial para definir el destino que llevará el lote de semillas y en particular, para los programas de fito-mejoramiento es importante no sólo el componente genético y físico de la semilla sino también el componente fisiológico que incluye el vigor inicial de plántula (Cervantes Ortiz *et al.*, 2007) para asegurar la germinación, la emergencia y el desarrollo posterior de las plantas a campo.

El término “vigor” no sólo es utilizado para definir una prueba en laboratorio, sino también lo que se denomina vigor temprano a campo. El “vigor temprano” es considerado un componente esencial del desarrollo de los cultivos en la mayoría de las condiciones ambientales (Ludlow y Muchow, 1990). Este último se evalúa después de la emergencia y comprende colectivamente la habilidad diferencial de los genotipos para producir hojas, presentar un color determinado y la apariencia general de las plántulas. En el mismo sentido, el vigor está representado por el porcentaje de plántulas normales que germinan bajo condiciones limitantes, diferenciándose del ensayo de germinación en condiciones normales u óptimas (Peretti, 1994). Edje y Burris (1970) definieron al vigor de semillas como el potencial para una rápida y uniforme germinación y un rápido crecimiento de las plántulas bajo condiciones generales de campo. Características simples como el porcentaje de germinación y la longitud de la parte aérea, han sido identificadas como aceptables

indicadores de vigor de plántula (Acevedo *et al.*, 1971). Las diferencias en tamaño de canopia, color, y apariencia general a las tres semanas de la emergencia a campo han sido colectivamente indicadas también como características de vigor temprano en maíz (Revilla *et al.*, 1999).

Cabe mencionar que dentro de las metodologías utilizadas para establecer la calidad de lotes de semillas, el ensayo de germinación es el atributo más estudiado en ambientes controlados y que por lo tanto, el objetivo del análisis de germinación es determinar el potencial máximo de un lote de semillas, el cual puede ser utilizado para comparar la calidad de diferentes lotes y también estimar el valor de siembra (ISTA, 2003).

El test de germinación estándar determina el porcentaje de semillas sin dormición capaces de producir plántulas normales bajo condiciones óptimas (Anfinrud y Schneiter, 1984). Paralelamente, Hampton y Tekrony (1995) consideran que ante condiciones ambientales favorables, la emergencia de plántulas de maíz a campo presenta alta correlación con los valores obtenidos con el ensayo de germinación; mientras que la determinación del vigor no representa un aporte significativo en la toma de decisiones. Sin embargo, las condiciones óptimas de crecimiento son poco frecuentes, ya sea por incidencia de estrés de temperatura, de humedad, de encostramiento; que conducen a diferencias en la velocidad y número de plántulas emergidas. Así mismo, Anfinrud y Schneiter (1984) sostienen que, en condiciones limitantes, los lotes de semillas de alto vigor emergerán mejor respecto a aquellos de bajo vigor, aún cuando presenten valores similares de germinación.

El ensayo de germinación estándar determina la germinación de la semilla sólo bajo condiciones óptimas. Dado que la relación entre la calidad de las semillas y la performance a campo son dificultosas, este ensayo no debería ser el único que se utilice para evaluar la calidad de semillas. Actualmente se sabe que existen marcadas discrepancias entre los resultados obtenidos por la germinación estándar, realizada bajo condiciones ideales, y la emergencia a campo donde frecuentemente las condiciones distan de ser ideales, no sólo por los factores climáticos sino también por los bióticos. De allí surge la necesidad de disponer de una evaluación de vigor, ya que la germinación sólo brinda un potencial máximo. Algunos autores como Grabe (1967) hallaron que plantas que provienen de

semillas débiles no se recuperan plenamente, como se podría suponer, y rinden menos. Delouche y Caldwell (1960) indicaron que el vigor además, es importante en la producción de una emergencia rápida y uniforme para facilitar la aplicación de herbicidas que están relacionados con el desarrollo de la planta y de una maduración uniforme.

En la práctica, la prueba de germinación estándar ha mostrado sobreestimar el comportamiento de las semillas y, además, resulta deficiente para discriminar lotes de semilla en relación con la rapidez y uniformidad de germinación (Mc Donald, 1980; Copeland y Mc Donald, 2001). En base a esto, Tekrony *et al.* (1989); Hampton y Coolbear (1990) sostienen que para diferenciar más sensiblemente niveles de calidad entre lotes de semillas, los ensayos de vigor son los más adecuados. Al mismo tiempo, los estudios de Contreras y Barros (2005) constatan que pruebas como el Análisis de Imagen Digital y el Test de Envejecimiento Acelerado con Solución Saturada, tienen correlación positiva con ensayos de emergencia en condiciones de campo simuladas en laboratorio en semillas de lechuga.

En relación a los diferentes ensayos de vigor utilizados en maíz, se cita al ensayo de Frío o Cold Test como el más aplicado a nivel mundial (Burris y Navratil, 1979; Johnson y Wax, 1981; Tekrony *et al.*, 1989; Adegbuyi y Burris, 1989; Hampton y Tekrony, 1995; Shah Faward *et al.*, 2002). Estos investigadores han reportado coeficientes de correlación significativos entre el ensayo de frío en laboratorio y la emergencia de plántulas a campo. Sin embargo, otros autores informaron acerca de inconsistencias y dificultades con los valores de estimación de la emergencia a partir del ensayo de frío (Funk *et al.*, 1962; Burris, 1976; Burris y Navratil, 1979; Perry, 1984; Fiala, 1987; Martin *et al.*, 1988; Tekrony *et al.*, 1989).

Estudios más recientes realizados por Murcia (2003), indicaron que existe correlación entre el test de frío y la emergencia a campo de cultivares de girasol en condiciones subóptimas de temperatura (fecha de siembra intermedia), evidenciando la utilidad de dicha prueba para estimar el comportamiento a campo. En consecuencia, el vigor temprano bajo condiciones de estrés por frío recibió considerable atención en grandes áreas de zonas cultivables templadas, ya que hay una persistente tendencia a sembrar maíz en primaveras tempranas, con el objetivo de extender el crecimiento y

maximizar los rendimientos. Así mismo, el rápido desarrollo en primavera se torna esencial para escapar a la sequía de verano durante el período de floración, el cual es un riesgo en incremento (Lauer *et al.*, 1999; Lafitte, 2001).

El mejoramiento para vigor temprano bajo condiciones de crecimiento en frío depende de la variabilidad genética para la germinación, emergencia y vigor de plántula; al igual que para el estrés hídrico (Revilla *et al.*, 2000). Shah Faward *et al.* (2002) indicaron que la declinación del vigor de semilla es más pronunciada en híbridos de maíz subtropicales que en los templados y además, el mejor test de vigor como predictor de la emergencia a campo, es el test de envejecimiento acelerado modificado. Sin embargo, la combinación del test de frío estándar y el test de envejecimiento acelerado dan una mejor predicción.

En el caso del germoplasma subtropical, sólo un rápido desarrollo de la canopia podría maximizar la captura de radiación solar y por ello, es el principal factor limitante del crecimiento en las altas latitudes. Por tal motivo, se ha experimentado con el déficit hídrico en estudios de laboratorio como otra prueba factible de ser utilizada a modo de test de vigor para discriminar diferentes lotes de semillas. Esta condición de estrés puede ser simulada mediante el uso de soluciones con potenciales hídricos definidos (Emmerich y Hardegree, 1991). Varias especies han sido evaluadas en su comportamiento bajo condiciones de deficiencia hídrica simulada con polyetilenglicol (PEG), tal como se mencionara en el capítulo anterior.

La identificación de genotipos con altos porcentajes de germinación bajo estrés hídrico puede mejorar el vigor de plántula, el establecimiento a campo y la competitividad intraespecífica, es decir, obtener plantas más vigorosas (Willenborga *et al.*, 2005). Los hallazgos de Biasutti y Galiñanes (2001), determinaron que al seleccionar genotipos en ambientes altamente contrastantes, dados por su disponibilidad hídrica, se pueden detectar cambios en ciertos caracteres relacionados a estadios tempranos del crecimiento de las plántulas, los cuales podrían constituirse luego en criterios de selección adecuados para ser aplicados en las etapas tempranas del desarrollo de los genotipos. Esto brindaría una alternativa para caracterizar a un determinado genotipo como tolerante o susceptible al

estrés, fundado en pruebas con ambientes controlados seguido de su posterior evaluación a campo.

En consideración, bajo condiciones de estrés el vigor inicial es de gran importancia ya que permite a la plántula mantener un mayor nivel de desarrollo, mejor establecimiento del cultivo y mayor rendimiento (Biswas *et al.*, 2000). A su vez, el vigor inicial está relacionado con mayor producción de biomasa y área foliar por la planta (Klos y Brummer, 2000) efecto que junto con las condiciones externas e internas en las cuales germina la semilla y se desarrolla la plántula, provoca diferentes cambios en su estatus fisiológico, los cuales podrían influir durante todo el ciclo biológico de la planta y por consiguiente en su rendimiento (Teng, 1990).

Considerando lo mencionado anteriormente, se puede apreciar que las pruebas estándares de vigor en maíz realizadas frecuentemente, no necesariamente predicen el comportamiento a campo de los híbridos como así tampoco extienden sus posibilidades de inferencia sobre el rendimiento potencial de los mismos.

En definitiva, aún no existe información suficiente y consistente sobre las pruebas de vigor tanto en condiciones controladas (particularmente estrés hídrico con PEG), como la evaluación del vigor temprano en experimentos de campo incluyendo el rendimiento. No obstante, el establecimiento de las posibles relaciones entre el vigor en laboratorio, el vigor temprano a campo y el rendimiento en grano, permitiría una mejor predicción del comportamiento de los híbridos de maíz con el consiguiente incremento de la eficiencia en la selección y producción de nuevos cultivares.

Objetivo Específico

Establecer las relaciones entre el vigor bajo estrés hídrico evaluado en laboratorio, el vigor temprano a campo y el rendimiento.

MATERIAL Y MÉTODOS

Material Biológico:

Los ensayos se llevaron a cabo con veinte híbridos simples de maíz provenientes de la cruce dialélica de 5 líneas endocriadas incluyendo los recíprocos. Tres de las líneas endocriadas parentales de maíz (L71, L83, L3) fueron obtenidas por selección Genealógica a partir de una población de polinización libre, dentro del programa de mejoramiento de la Cátedra de Mejoramiento Genético Vegetal de la F.C.A. (Biasutti *et al.*, 2006). Las líneas constituyen genotipos en avanzada homocigosis (S6) y han sido seleccionadas por su buen comportamiento *per se* y por poseer buena aptitud combinatoria general. Las restantes dos líneas utilizadas (C4F y C4A) correspondieron a maíces de origen subtropical seleccionadas por su tolerancia al estrés hídrico introducidas del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, CIMMYT (Biasutti *et al.* 1997). Para los ensayos en laboratorio y a campo se utilizó semilla cuyas condiciones de almacenamiento se mantuvieron en 4°C durante aproximadamente 12 meses.

Evaluación en laboratorio:

En **laboratorio** la prueba de vigor bajo estrés hídrico se llevó a cabo entre los meses de noviembre y diciembre de 2008, en el Laboratorio de Análisis de Semillas de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Córdoba (LASYDIS).

Ensayo de Osmolitos: La simulación del estrés hídrico se logró utilizando solución de PEG 8000 al -1,4 MPa siguiendo la metodología descrita por Sharp *et al.* (1988), Trawatha *et al.* (1990), Biasutti y Galiñanes (2001), Teruel *et al.* (2008), Alemanno (2009). Se utilizó un Diseño en Bloques Completos al azar con 4 repeticiones de 50 semillas por cada híbrido en bandejas plásticas sobre papel “Valot” humedecido con 30 ml de solución de PEG (de acuerdo a las normas estándares de pruebas de germinación ISTA (1999). Las semillas se desinfectaron previamente con hipoclorito de sodio al 5% durante un minuto. Luego, las bandejas se cubrieron con bolsas de polietileno transparente y se colocaron en cámaras de germinación con humedad controlada y alternancia de temperatura entre 20-30°C y ciclos de luz y oscuridad de 8 y 16 hs, respectivamente, durante 7 días. Además, se

utilizaron dos testigos comerciales (CO7 Y 806) con el fin de comparar el comportamiento general de los híbridos experimentales con híbridos presentes en el mercado.

Al término de los 7 días de realizada la siembra se procedió a la evaluación mediante el conteo y cuantificación del porcentaje de plántulas normales emergidas (% PG) sobre el total de semillas sembradas, cuantificado en % de plántulas normales. (Peretti, 1994; ISTA 1999; Teruel *et al.*, 2008; Alemano, 2009). Se consideró plántula normal aquella que presentó como mínimo 5 mm de crecimiento en longitud de la parte aérea y raíz primaria normal.

Ensayo de Germinación Estándar: Paralelamente a los ensayos de estrés, se evaluó el poder germinativo de cada híbrido en condiciones no limitantes de humedad con el fin de poder ajustar el PG bajo estrés hídrico en cada híbrido evaluado. Se trabajó con 2 repeticiones de 50 semillas cada una que sirvieron como control, de acuerdo a las normas estándares de pruebas de germinación (ISTA 1999). Como sustrato se utilizaron dos hojas de papel tipo “Valot” humedecidas con agua destilada. Las semillas se desinfectaron con hipoclorito de sodio al 5% durante un minuto. Luego, las bandejas se cubrieron con bolsas de polietileno transparente y se colocaron en cámaras de germinación con humedad controlada y temperatura alterna de 20-30°C y ciclos de luz y oscuridad de 8 y 16 hs respectivamente. A los 7 días desde la siembra se evaluó el porcentaje de germinación (% PG).

Inmediatamente después de extraer las bandejas con PEG de las cámaras y luego de realizar la evaluación del porcentaje de germinación se procedió a evaluar otros caracteres bajo estrés hídrico sobre muestras de 5 plántulas por bandeja tomadas al azar (Mroginski *et al.* 2010).

Otros caracteres evaluados fueron:

- Longitud de la parte aérea de la plántula (LPA) en milímetros (Peretti, 1994; Biasutti y Galiñanes, 2001; Teruel *et al.*, 2008; Alemano, 2009). Se midió desde el extremo de la primera hoja hasta el cuello de la plántula; sólo en aquellas en las que la longitud del coleóptilo resultó igual o mayor a 0,5 mm, dado que el desarrollo vegetativo está limitado por la capacidad reducida de absorción de agua.

- Longitud de raíz principal de la plántula (LR) en centímetros. Se midió desde el cuello de la plántula hasta el extremo de la raíz primaria (Peretti, 1994; Teruel *et al.*, 2008; Alemano, 2009).

- Peso seco de plántulas (PS) en gramos (Trawatha *et al.* 1990; Alemano, 2009). Las plántulas se colocaron en bolsas de papel y se llevaron a estufa a 65° hasta peso constante. Luego de sacar las bolsitas de la estufa, se colocaron en una campana con sílica-gel para evitar la absorción de humedad del ambiente y posteriormente se las pesó en una balanza de precisión (4 decimales); los resultados se expresaron en gramos/planta.

Evaluación a Campo:

Los experimentos a campo se llevaron a cabo entre los meses de octubre de 2008 y abril de 2009 en el Campo Escuela de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina (31° 29' LS; 64° 00' LO), altitud 425 msnm con un promedio anual de lluvias de 700mm. Se realizó una siembra temprana bajo condiciones de secano, el día 9 de octubre de 2008 y se utilizó un diseño DBCA (Diseño en Bloques Completamente Aleatorizado) con dos repeticiones por cada uno de los 20 híbridos experimentales en evaluación. Las condiciones al momento de la siembra determinaron que no era necesaria la aplicación de fertilizantes. La cantidad de agua retenida por el suelo al inicio de la siembra fue de 190 mm hasta los 1,5m de profundidad y la precipitación ocurrida desde la siembra a cosecha fue de 381mm, cuya distribución se muestra en la siguiente figura:

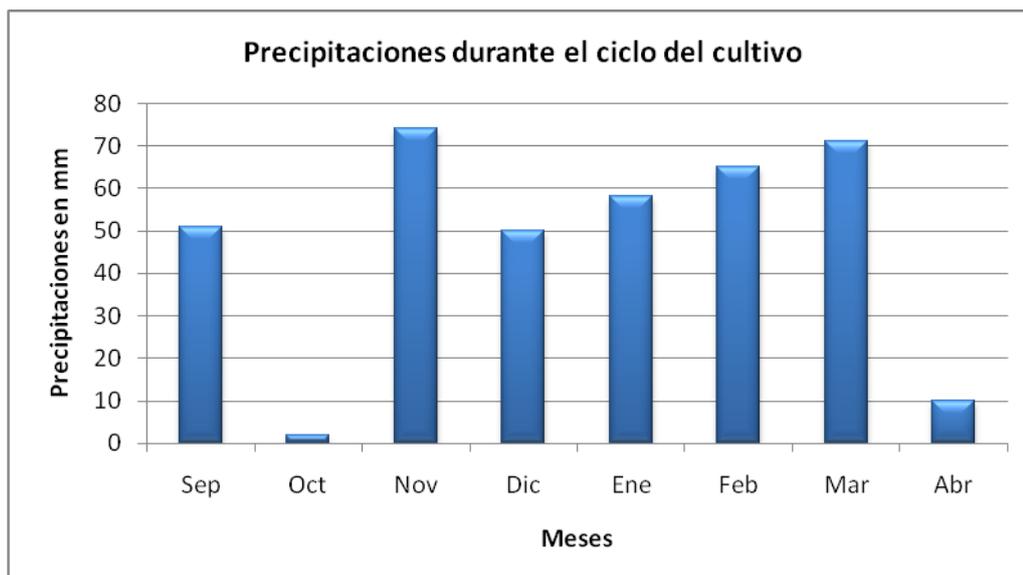


Figura 2.1. Precipitaciones ocurridas entre los meses de septiembre hasta abril de 2008 y 2009 durante el ciclo del cultivo.

El tamaño de parcela consistió en 5 m² y la densidad final de siembra fue de 70.000 plantas ha⁻¹. Los datos se recolectaron sobre una muestra de 5 plantas (Mirabilio *et al.*, 2010; Palmieri *et al.*, 2010) por parcela (híbrido) de un total de 22 plantas por surco; no se consideraron las plantas al inicio y al final de cada parcela ya que se respetó una bordura de 3 surcos rodeando todo el ensayo por completo. No se realizó fertilización en ningún momento y las malezas fueron controladas en preemergencia con atrazina y manualmente durante todo el ciclo del cultivo.

En esta instancia se evaluaron las siguientes variables:

- Emergencia de las plantas: EAC1 (emergencia a campo a los 12 días desde la siembra) y EAC2 (a los 19 días desde la siembra) midiendo el número total de plantas emergidas en cada parcela. (CIMMYT, 1985; Mihura, 2008).
- Vigor: al estado de V5 (V1) y V7 (V2) mediante una escala visual de vigor de 1 a 5 (1: pobre, 5: excelente) por parcela. Se evaluó la uniformidad en la emergencia, la apariencia general y la altura de las plantas. (Revilla *et al.*, 1999; Cervantes Ortiz *et al.*, 2007; Peter *et al.*, 2009; Heathcliffe y Kenneth, 2010).

- Altura de plantas ALT 1 (a los 23 días desde la siembra) y ALT 2 (a los 30 días desde la siembra), en centímetros desde la superficie hasta la última hoja desplegada con lígula visible, sobre una muestra de cinco plantas por repetición. Las mediciones de Vigor 1 y Vigor 2 se realizaron conjuntamente con la variable Altura en las dos fechas citadas anteriormente. (Bolaños *et al.*, 1993; Peter *et al.*, 2009).
- Peso seco de planta (PSPTA) a los 40 días (V5) desde la siembra sobre una muestra de 5 plantas por repetición (Revilla *et. al*, 1999; Peter, *et al.* 2009; González Carmielutti, *et al.* 2010). Se procedió al corte del tallo de cada planta a la altura del primer nudo por encima de las raíces adventicias; luego se secaron en estufa a 65° hasta alcanzar el peso seco constante momento en el cual fue determinado su valor. Los datos se expresaron en gr de materia seca/planta.
- Se crearon Índices de vigor (IV1 e IV2) relacionando los caracteres de V (Vigor 1 y 2) y ALT (altura de planta 1 y 2). Es una medida a dimensional resultante del producto entre la variable Vigor (en escala visual de 1-5) y Altura de planta, de acuerdo a la fórmula de Kharb *et al.*, (1994) modificada.
- La Elongación Foliar (EF) se calculó en base a la diferencia entre los caracteres de ALT2 – ALT1 en cm.
- Por último, el Rendimiento (RTO) fue estimado sobre una muestra de 5 plantas por parcela/híbrido luego de la cosecha de cada parcela en forma completa. El peso de grano y de marlo se determinó sobre la base del total de la parcela (híbrido). El valor se expresó en qq/ha ajustado al 14% de humedad.

Análisis Estadístico:

La metodología para el Análisis Estadístico de los datos pertenecientes a las variables medidas en laboratorio y a campo consistió, en primera instancia, en un análisis de la varianza ANAVA (Infostat, 2010) para evaluar a cada una de ellas en función de todos los híbridos y testigos utilizados para detectar diferencias y conocer la naturaleza o

comportamiento de cada variable. Para ello fue necesario, previamente, transformar los datos de la variable PG para normalizarlos a través de la función arco seno $\sqrt{X/100}$.

Se procedió a realizar un Análisis de Correlación de SPEARMAN, para determinar, a través de los coeficientes, la posible asociación entre las variables evaluadas a laboratorio y a campo incluyendo el rendimiento.

El método de reducción de dimensión se realizó aplicando un Análisis de Componentes Principales (PCA) con carácter exploratorio, a fin de visualizar en un plano con pocos ejes la variabilidad genética entre los híbridos experimentales en relación de las múltiples variables evaluadas y así poder detectar qué tipo de asociaciones existen e inferir sobre su comportamiento.

Sabiendo que las correlaciones lineales utilizadas frecuentemente, establecen relaciones variable a variable (lineales) y no contemplan la asociación o influencia entre el conjunto de variables respecto a los materiales experimentales evaluados y además las regresiones lineales generalmente tampoco ajustan en forma correcta como para considerarlas como técnicas confiables, es que se planteó la utilización del Árbol de Regresión como técnica multivariada que, a diferencia del análisis de correlación lineal de Spearman, nos permite correlacionar variables respetando la multicolinealidad de las mismas en el espacio multivariado.

Cabe destacar que las variables utilizadas son no conmensurales (medidas en diferentes escalas) por lo que se procedió previamente a estandarizar los datos.

RESULTADOS

En Laboratorio

Los resultados obtenidos en laboratorio se presentan en las tablas 2.1 y 2.2.

Tabla 2.1. Análisis de la Varianza de 20 híbridos experimentales de maíz mostrando los valores de Cuadrados Medios para los caracteres: Porcentaje de germinación en PEG (PG), Longitud de la Raíz principal de la plántula (LR), Longitud de la Parte Aérea de la plántula (LPA) y Peso seco de plántula (PS).

CARACTER	GL	FV	CM	p-valor
PG%	24	Modelo	886,69	0,0003**
	21	Genotipo	766,58	0,0021**
	3	Repetición	1727,50	0,0014**
	61	Error	296,77	
		R2	0,54	
		CV	57,38	
LR	24	Modelo	3,06	0,0615ns
	21	Genotipo	3,14	0,0596ns
	3	Repetición	2,53	0,2638ns
	61	Error	1,86	
		R2	0,39	
		CV	29,34	
LPA	24	Modelo	2,21	0,2041ns
	21	Genotipo	1,85	0,3855ns
	3	Repetición	4,75	0,0482*
	61	Error	1,70	
		R2	0,34	
		CV	32,30	
PS	24	Modelo	0,01	<0,0001**
	21	Genotipo	0,02	<0,0001**
	3	Repetición	3E-03	0,6843ns
	61	Error	2,7E-03	
		R2	0,66	
		CV	20,05	

Referencias

G.L.: grados de libertad. F.V.: Fuentes de Variación. C.M.: Cuadrados Medios

*, ** Significativo a 0,05 y 0,01 nivel de probabilidad, respectivamente. n.s.: No significativo.

Tabla 2.2. Valores medios para los caracteres Porcentaje de Germinación, Longitud de Raíz Principal de la plántula, Longitud de la Parte Aérea de la plántula y Peso Seco de plántula evaluados en los 20 híbridos experimentales y dos testigos (C07 y 806).

GENOTIPO	PG %	LR (cm)	LPA (mm)	PS (gr/pl.)
608	56,74 de	4,66 abcde	4,03 abc	0,275 defgh
613	59,68 e	6,71 f	5,90 d	0,190 bc
615	50,56 cde	5,58 bcdef	4,85 cd	0,223 bcde
611	33,14 abcd	5,63 cdef	4,34 abcd	0,185 bc
619	33,58abcd	4,28 abcde	4,40 abcd	0,100 a
609	50,00 cde	3,74 abc	3,55 abc	0,240 bcdef
616	22,22 ab	4,91 abcdef	3,93 abc	0,300 fgh
600	9,90 a	3,25 a	3,90 abc	0,293 efgh
603	13,37 a	4,86 abcdef	4,28 abcd	0,305 fgh
621	41,18 bcde	4,86 abcdef	3,80 abc	0,308 fgh
607	15,65 a	4,00 abcd	3,00 ab	0,260 cdefg
625	24,23 ab	5,70 def	4,13 abcd	0,190 bc
624	27,90 abc	4,62 abcde	3,55 abc	0,210 bcd
617	22,94 ab	4,73 abcde	3,50 abc	0,265 defg
601	15,33 a	3,21 a	2,75 a	0,170 ab
618	25,28 ab	4,64 abcde	4,13 abcd	0,318 gh
604	20,79 ab	4,60 abcde	3,35 abc	0,313 fgh
620	21,67 ab	3,81 abcd	3,70 abc	0,313 fgh
605	25,28 ab	4,79 abcdef	4,63 abcd	0,303 fgh
614	32,56 abcd	4,18 abcde	4,03 abc	0,313 gh
TESTIGOS				
CO7	27,91 abc	6,20 ef	4,83 bcd	0,350 h
806	30,18 abc	3,52 ab	4,67 abcd	0,31fgh
MEDIA	30,10	4,64	3,99	0,254
CV (%)	57,38	29,34	32,3	20,05
DMS (0,05)	24,68	1,96	1,87	0,07

PG%: poder germinativo bajo PEG en porcentaje. **LR:** longitud de raíz en cm. **LPA:** longitud de la parte aérea en cm. **PS (gr/pl.):** peso seco en gramos/plántula. **R²:** PG: 0,54. LR: 0,39. LPA: 0,34. PS: 0,66.

Se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los híbridos experimentales y los testigos para dos de las cuatro variables evaluadas a laboratorio, PG y PS (Tabla 2.1).

Las diferencias fueron altamente significativas para PG % ($p < 0,0021$) donde se destacaron los híbridos 613, 608, 615, 609, 621, los cuales presentaron los valores más

altos de PG y los mismos no difieren entre sí (Tabla 2.2). Cabe aclarar que, si bien el coeficiente de variación para este carácter fue alto (57,38), también otros trabajos de investigación encontrados en maíz bajo las mismas condiciones de estrés hídrico en laboratorio utilizando solución de PEG (Biasutti y Galiñanes, 2001 - CV: 34,57; Teruel *et al.*, 2008 - CV: 48,17; Alemano, 2009 - CV: 24,10), mostraron valores cercanos.

Con respecto a la variable PS, se detectaron diferencias altamente significativas entre los híbridos, sin embargo, aproximadamente la mitad de los ellos no mostraron variabilidad genética, destacando dentro de este gran grupo, al testigo C07 por presentar el valor cuantitativo más alto (Tabla 2.2).

Para los caracteres LR y LPA no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los híbridos experimentales.

El híbrido 613 se destacó del resto de los híbridos experimentales por mostrar el mayor valor en las variables PG, LPA y LR.

A Campo

Los resultados obtenidos a campo se presentan en las tablas 2.3, 2.4, 2.5 y 2.6.

Tabla 2.3. Análisis de la Varianza de 20 híbridos experimentales de maíz mostrando los valores de Cuadrados Medios para los caracteres: Emergencia a Campo a los 12 días desde la siembra (EAC 1), Vigor en escala visual en V5 (VIGOR 1), Índice de Vigor 1 (IVIGOR 1), Peso Seco (PSPTA), Emergencia a Campo a los 19 días desde la siembra (EAC 2), Vigor en escala visual en V7 (VIGOR 2), Índice de Vigor 2 (IVIGOR 2).

CARACTER	GL	FV	CM	p-valor
EAC 1	24	Modelo	23,72	0,0003**
	23	Genotipo	24,23	0,0003**
	1	Repetición	12	0,1462ns
	23	Error	5,3	
		R2	0,82	
		CV	11,89	
VIGOR 1	24	Modelo	0,71	<0,0001**
	23	Genotipo	0,74	<0,0001**
	1	Repetición	0,01	0,7881ns
	23	Error	0,07	
		R2	0,91	
		CV	9,2	
IVIGOR 1	24	Modelo	710,8	<0,0001**
	23	Genotipo	735,91	<0,0001**
	1	Repetición	133,33	0,2915ns
	23	Error	114,38	
		R2	0,87	
		CV	18,55	
PSPTA	24	Modelo	1,3E-05	0,0072**
	23	Genotipo	9,8E-06	0,0321*
	1	Repetición	7,9E-05	0,0003**
	23	Error	4,5E-06	
		R2	0,75	
		CV	16,58	
EAC 2	24	Modelo	17,45	0,0009**
	23	Genotipo	17,45	0,0009**
	1	Repetición	17,52	0,06ns
	23	Error	4,48	
		R2	0,80	
		CV	10,35	
VIGOR 2	24	Modelo	2,16	0,0061**
	23	Genotipo	2,25	0,0049**
	1	Repetición	0,08	0,7395ns
	23	Error	0,74	
		R2	0,75	
		CV	23,39	
IVIGOR 2	24	Modelo	1616,36	0,0024**
	23	Genotipo	1673,59	0,002**
	1	Repetición	300,0	0,4372ns
	23	Error	479,91	
		R2	0,78	
		CV	28,33	

Referencias

G.L.: grados de libertad. F.V.: Fuentes de Variación. C.M.: Cuadrados Medios

*, ** Significativo a 0,05 y 0,01 nivel de probabilidad, respectivamente. n.s.: No significativo.

Tabla 2.4. Valores medios para los caracteres EAC1, VIGOR 1, IVIGOR 1, PSPTA, EAC 2, VIGOR 2, IVIGOR 2 para 20 híbridos experimentales de maíz evaluados y los dos testigos (C07 y 806).

HIBRIDO	EAC 1 (N° pl)	VIGOR 1	I VIGOR 1	PSPTA (gr/pla)	EAC 2 (N° pl)	VIGOR 2	I VIGOR 2
600	18,0 cdef	2,8 cd	50,00 bcde	0,0133 bcd	20,0 cdef	3,0 abcd	60,00 abcde
617	14,0 abc	2,3 bc	32,00 abc	0,0133 bcd	22,5 ef	3,0 abcd	70,00 bcdef
625	17,5 cde	3,0 de	52,50 cdef	0,0117 bc	19,5 bcdef	2,5 abc	49,00 abcd
601	17,5 cde	2,8 cd	48,75 bcde	0,0133 bcd	17,5 bc	2,5 abc	45,00 abcd
603	19,5 defg	3,0 de	58,50 defg	0,0133 bcd	20,5 cdef	3,0 abcd	61,50 abcde
604	21,0 efg	3,3 def	68,25 efghi	0,0142 bcd	22,0 def	4,5 de	99,00 efg
605	22,5 fg	4,0 g	90,00 i	0,0142 bcd	21,5 cdef	4,5 de	96,00 efg
607	20,0 defg	3,8 fg	74,75 ghi	0,0125 bc	21,5 cdef	4,0 cde	86,00 defg
608	22,5 fg	3,0 de	67,50 efgh	0,0133 bcd	23,0 f	5,0 e	115,00 fg
609	11,0 a	1,5 a	16,50 a	0,0100 ab	12,0 a	3,0 abcd	36,00 ab
611	22,0 efg	3,8 fg	82,75 hi	0,0150 cd	23,5 f	5,0 e	117,50 g
613	22,5 fg	3,3 def	73,50 fghi	0,0133 bcd	22,0 def	5,0 e	110,00 fg
614	21,5 efg	2,8 cd	59,00 defg	0,0133 bcd	23,0 f	4,5 de	102,50 efg
615	23,0 g	3,3 def	75,25 ghi	0,0133 bcd	22,0 def	4,5 de	100,50 efg
616	20,0 defg	3,0 de	60,00 defg	0,0150 cd	21,0 cdef	4,0 cde	85,00 defg
618	22,0 efg	3,3 def	72,25 fghi	0,0175 d	22,5 ef	4,5 de	100,00 efg
619	19,5 defg	3,0 de	58,50 defg	0,0142 bcd	18,5 bcde	4,5 de	83,50 cdefg
620	22,5 fg	3,5 ef	78,75 ghi	0,0142 bcd	23,0 f	3,5 bcde	81,00 bcdefg
621	23,0 g	2,8 cd	63,75 efgh	0,0100 ab	23,5 f	4,5 de	107,00 fg
624	19,0 defg	2,0 ab	38,00 abcd	0,0100 ab	18,0 bcd	2,0 ab	36,00 ab
TESTIGOS							
CO7	16,0 bcd	2,0 ab	32,00 abc	0,0067 a	15,5 ab	1,5 a	23,50 a
806	12,5 ab	2,3 bc	28,50 ab	0,0100 ab	15,5 ab	2,5 abc	39,50 abc
MEDIA	19,4	2,9	57,65	0,0127	20,4	3,7	77,33
CV (%)	11,89	9,20	18,55	16,58	10,35	23,39	28,33
DMS (0,05)	4,76	0,55	22,12	0,0044	4,38	1,77	45,32

EAC 1: emergencia a campo a los 12 días desde la siembra. **VIGOR 1:** vigor en escala visual en V5. **IVIGOR 1:** índice de vigor 1. **PSPTA (gr/pl.):** peso seco en kg/planta. **EAC 2:** emergencia a campo a los 19 días desde la siembra. **VIGOR 2:** vigor en escala visual en V7. **IVIGOR 2:** índice de vigor 2. R2 : EAC1: 0,82. V1: 0,91. IV1: 0,87. PSPTA: 0,75. EAC2: 0,80. V2: 0,75. IV2: 0,78.

Tabla 2.5. Análisis de la Varianza de 20 híbridos experimentales de maíz mostrando los valores de Cuadrados Medios para los caracteres: Altura de planta a los 23 días desde la siembra (ALT 1), Altura de planta a los 30 días desde la siembra (ALT 2), Elongación Foliar (EF), Rendimiento (RTO).

CARACTER	GL	FV	CM	p-valor
ALT 1	24	Modelo	1,21	0,0001**
	23	Genotipo	1,21	0,0001**
	1	Repetición	1,20	0,0355*
	23	Error	0,24	
		R2	0,84	
		CV	9,44	
ALT 2	24	Modelo	12,42	0,0004**
	23	Genotipo	12,58	0,0004**
	1	Repetición	8,76	0,0933ns
	23	Error	2,86	
		R2	0,82	
		CV	9,17	
EF	24	Modelo	7,80	0,0053**
	23	Genotipo	7,99	0,0047**
	1	Repetición	3,48	0,2597ns
	23	Error	2,6	
		R2	0,76	
		CV	12,19	
RTO	24	Modelo	815,29	0,0006**
	23	Genotipo	769,88	0,0010**
	1	Repetición	1859,78	0,0057**
	23	Error	200,42	
		R2	0,81	
		CV	17,17	

Referencias

G.L.: grados de libertad. F.V.: Fuentes de Variación. C.M.: Cuadrados Medios

*, ** Significativo a 0,05 y 0,01 nivel de probabilidad, respectivamente. n.s.: No significativo.

Tabla 2.6. Continuación Tabla 2.4: Valores medios para los caracteres ALT 1, ALT 2, EF Y RTO para los 20 híbridos evaluados y los dos testigos (C07 y 806).

HIBRIDO	ALT 1 (cm)	ALT 2 (cm)	EF (cm)	RINDE (qq/ha)
600	6,85 g	19,35 defgh	12,50 bcde	106,24 fg
617	4,35 abc	17,25 bcdef	12,90 cdef	78,18 bcdef
625	4,20 ab	13,50 a	9,30 ab	70,24 abcde
601	5,47 def	17,60 bcdef	12,13 bcde	93,73 cdefg
603	5,27 cdef	17,65 bcdef	12,38 bcde	54,90 ab
604	5,60 ef	20,10 efgh	14,50 defg	67,18 abcd
605	5,40 def	20,05 efgh	14,65 efg	80,54 bcdef
607	5,50 def	20,20 efgh	14,70 efg	65,19 abc
608	4,65 abcde	17,95 bcdef	13,30 cdef	67,68 abcd
609	4,29 abc	17,00 bcde	12,71 cdef	92,96 cdefg
611	6,02 fg	21,90 gh	15,88 fg	113,06 gh
613	5,80 f	19,85 efgh	14,05 defg	71,54 abcde
614	4,00 a	19,15 cdefg	15,15 efg	68,51 abcde
615	5,25 cdef	19,45 efgh	14,20 defg	44,76 a
616	5,97 fg	19,45 efgh	13,48 cdefg	80,80 bcdef
618	5,85 fg	22,65 h	16,80 g	69,88 abcde
619	5,85 fg	20,50 fgh	14,65 efg	97,63 efg
620	5,87 fg	20,15 efgh	14,28 defg	79,94 bcdef
621	5,82 f	20,00 efgh	14,18 defg	86,74 cdefg
624	4,55 abcd	14,85 ab	10,30 abc	92,11 cdefg
TESTIGOS				
C07	4,10 a	12,50 a	8,40 a	95,77 defg
806	4,57 abcd	15,80 abc	11,23 abcd	137,17 h
MEDIA	5,19	18,42	13,23	82,47
CV (%)	9,44	9,17	12,19	17,17
DMS (0,05)	0,29	3,50	3,34	29,29

ALT 1: altura de planta a los días 23 días desde la siembra. **ALT 2:** altura de planta a los días 30 días desde la siembra. **EF:** elongación Foliar. **RTO (qq/ha):** rendimiento en qq/ha. **R² :** ALT1: 0,84. ALT2: 0,82. EF: 0,76. RTO: 0,81

Todas las variables evaluadas a campo presentaron diferencias significativas entre los híbridos experimentales incluyendo los testigos.

Para las variables EAC1 y EAC2 más de la mitad de los híbridos no difieren estadísticamente entre sí. Se destacaron los híbridos 615 y 621 por valores cuantitativos más altos para número de plantas emergidas en EAC1, y los híbridos 611, 621, 620, 608, 614 en EAC2.

Para la variable V1, se destacaron los híbridos 620, 607, 611 y 605 que no difirieron significativamente entre ellos. El híbrido 605 presentó el mayor valor cuantitativo de vigor.

Para la variable V2, los híbridos 613, 611, 608 mostraron el mismo valor promedio de vigor y se destacaron por ser los más altos, pero no difirieron significativamente con aproximadamente la mitad de los híbridos evaluados.

Para las variables IV1 e IV2, se destacaron los híbridos 605 y 611 por presentar los valores cuantitativos más altos sin embargo, no se diferenciaron significativamente de los híbridos 611, 620, 615, 607, 613, 618, y 604 para IV1, mientras que el 611 no difirió estadísticamente de un grupo más grande de híbridos para la variable IV2 (608, 613, 621, 614, 615, 618, 604, 605, 607, 616, 619 y 620).

Para PSPTA se observaron diferencias significativas entre los híbridos, sin embargo la mitad de ellos no mostraron diferir significativamente. Cuantitativamente los híbridos 618, 616 y 611 exhibieron los valores medios más altos para dicha variable.

Para ALT1 y ALT2 existieron diferencias altamente significativas. Para ALT1 se destacaron los híbridos 600, 611, 616, 620, 618 y 619, que no difirieron entre sí y presentaron los valores más altos. Para ALT2 hubo un grupo más grande de híbridos que no difirieron entre sí, entre los que se destacó el híbrido 618 por tener el valor promedio más altos.

La mitad de los híbridos no presentaron diferencias significativas entre ellos para la variable EF, destacándose sólo el híbrido 618 con el valor cuantitativo más alto.

Finalmente, el Rendimiento promedio de los híbridos fue de 82,5qq/ha, superado ampliamente por los híbridos 611 y 806 (testigo) que además no difirieron estadísticamente entre ellos destacándose del resto de los híbridos experimentales, sin embargo el híbrido 600 obtuvo un rendimiento cuantitativamente aceptable. Por el contrario, el híbrido 615 presentó el menor rendimiento promedio.

Análisis de correlación

Coefficientes de correlación de Spearman

Los coeficientes de correlación entre las variables evaluadas fueron calculados utilizando la correlación de Spearman (Peter *et al.*, 2009) porque la asociación entre las variables difícilmente es lineal y además se incluyen variables como la valoración de vigor temprano en escala visual a campo, la cual particularmente contempla rangos de escala con pocos valores numéricos y con escasa variabilidad entre esos datos (rango de 1 a 5).

En la Tabla 2.7 se muestran los coeficientes de correlación de Spearman para cada una de las variables evaluadas.

Tabla 2.7: Coeficientes de correlación de Spearman entre caracteres medidos en laboratorio bajo condiciones de estrés hídrico y a campo en condiciones de secano, para 20 híbridos experimentales de maíz.

Correlación de Spearman: coeficientes\probabilidades															
	PG %	LR (cm)	LPA (mm)	PS (gr/pl.)	EAC 1	VIGOR 1	I VIGOR 1	PSPSTA	EAC 2	VIGOR 2	I VIGOR 2	ALT 1 (cm)	ALT 2 (cm)	EF (cm)	RTO (qq/ha)
PG %	1														
LR (cm)	0,41	1													
LPA (mm)	0,5*	0,65**	1												
PS (gr/pl.)	-0,26	-0,14	-0,14	1											
EAC 1	0,46*	0,4	0,49*	0,35	1										
VIGOR 1	-0,01	0,33	0,43	0,14	0,61**	1									
I VIGOR 1	0,18	0,35	0,45*	0,25	0,84**	0,93**	1								
PSPSTA	-0,11	0,14	0,35	0,28	0,32	0,6*	0,54*	1							
EAC 2	0,29	0,32	0,18	0,47*	0,72**	0,39	0,6*	0,34	1						
VIGOR 2	0,6*	0,4	0,56*	0,16	0,77**	0,57*	0,71**	0,49*	0,69**	1					
I VIGOR 2	0,52*	0,47*	0,47*	0,21	0,82**	0,54*	0,72**	0,39	0,82**	0,95**	1				
ALT 1 (cm)	-0,23	-0,02	0,11	0,09	0,29	0,43	0,41	0,61**	0,2	0,32	0,25	1			
ALT 2 (cm)	0,04	0,03	0,26	0,24	0,58*	0,74**	0,75**	0,68**	0,48*	0,66**	0,59*	0,72**	1		
EF (cm)	0,21	0,02	0,27	0,33	0,56*	0,64**	0,71**	0,6*	0,59*	0,73**	0,68**	0,36	0,87**	1	
RINDE(qq/ha)	0,01	-0,25	-0,1	-0,41	-0,31	-0,29	-0,3	0,09	-0,25	-0,15	-0,28	0,41	0,01	-0,14	1

Referencias

*, ** Significativo a 0,05 y 0,01 nivel de probabilidad, respectivamente. n.s.: No significativo.

Se detectaron correlaciones significativas para las variables de laboratorio como el PG y LR, donde ambas correlacionaron positivamente con LPA (r: 0,5 y r: 0,65 respectivamente). Por el contrario, la variable PS no mostró correlación significativa con las demás variables a laboratorio (Tabla 2.7).

Entre las variables de campo existieron numerosas correlaciones significativas, sin embargo, el rendimiento no estuvo incluido en estas relaciones si se considera una significancia de $p \leq 0,05$. Ahora bien, teniendo en cuenta una significancia de $P \leq 0,1$ fue posible detectar que la variable ALT1 correlacionó positivamente con el rendimiento con un valor de correlación de r: 0,41 y, seguida de esta, la variable PS con una correlación negativa (Tabla 2.7).

Se observó una correlación significativa ($p \leq 0,05$) y positiva para las variables de laboratorio PG y LPA con las de campo EAC1, V2 e IV2 (r: 0,46; r: 0,6; 0,52 con la primera y r: 0,49; r: 0,56; r: 0,47 con la segunda) y además LPA con IV1 (r: 0,45). La variable LR correlacionó sólo con IV2 (r: 0,47) y el PS de plántula con EAC2 (r: 0,47).

Lo anterior supone la posibilidad de poder inferir el comportamiento de los híbridos en las primeras etapas de crecimiento a campo con una prueba de vigor bajo estrés a laboratorio.

La variable EAC1 mostró correlaciones positivas con V1, IV1, EAC2, V2, IV2, ALT2 y EF (r: 0,61; r: 0,84; r: 0,72; r: 0,77; r: 0,82; r: 0,58; r: 0,56 respectivamente). Por otro lado, se observó también que la mayoría de las variables medidas a campo exhibieron correlaciones significativas entre ellas, sin incluir en estas asociaciones al rendimiento.

Análisis de Componentes Principales (ACP)

En las figuras 2.2, 2.3 y 2.4 se muestran los gráficos Biplot obtenidos de un ACP realizado con las variables medidas a laboratorio y a campo en forma separada, facilitando su observación e interpretación. En dichos gráficos se visualizaron los híbridos experimentales y las variables evaluadas en un plano óptimo de dos dimensiones. Esta herramienta resultó útil para estudiar variación entre las observaciones (híbridos) debida a las variables estudiadas.

Análisis de laboratorio:

Las dos primeras Componentes Principales explicaron un 81% de la variabilidad total observada en el espacio multidimensional para las variables y los híbridos experimentales. La correlación cofenética correspondió a un 95%, lo cual indicó que la deformación fue mínima y la proyección en el plano de dos dimensiones (R2) fue confiable (Anexo I).

La CP1 representa la mayor variabilidad con respecto a cualquier otra CP y permitió observar que las variables PG, LPA y LR estuvieron altamente correlacionadas entre sí, a diferencia de la variable PS que mostró una correlación negativa con aquellas, debido a que el ángulo entre los vectores fue superior a 90°.

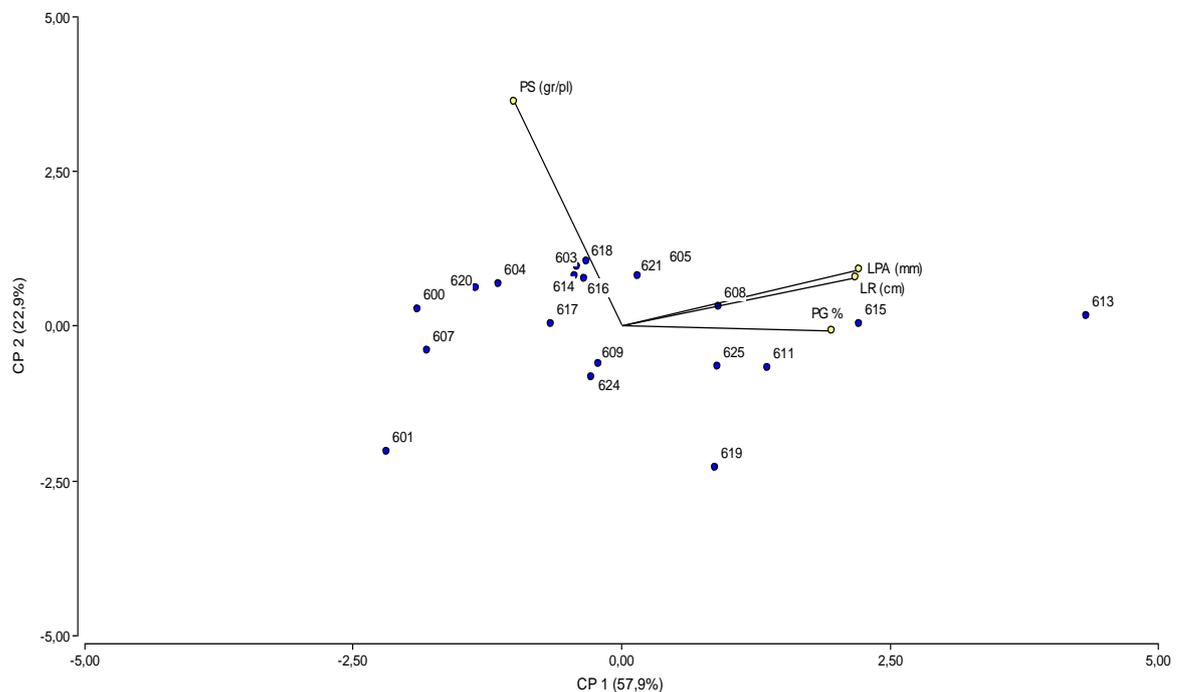


Figura 2.2. Gráfico Biplot de un Análisis de Componentes Principales (ACP) para 20 híbridos de maíz evaluados a laboratorio en base a las variables Porcentaje de Germinación en PEG, Longitud de la Raíz principal, Longitud de la Parte Aérea y Peso Seco de plántula.

En cuanto a los autovectores, se observó que las variables LPA, LR y PG tuvieron valores similares en un rango de 0,52-0,58 lo que evidenció su alta inercia en la proyección

de este eje. La variable LPA aportó el mayor “peso” en la diferenciación de las observaciones (híbridos) (Anexo I).

Los híbridos mostraron un comportamiento diferencial de acuerdo a la CP1, lo que permitió separar un pequeño grupo de híbridos conformado por el 613, 615 y 611 los cuales expresaron un mejor comportamiento para LPA, LR y PG. Por el contrario los híbridos 601, 607 y 600 mostraron poca relación con las variables antes mencionadas pero con altos valores de PS.

Cabe destacar que el híbrido 613, de acuerdo a su posición en el gráfico (derecha del gráfico) demostró una mayor expresión para las variables PG, LR y LPA.

En relación a la CP2, la variable PS mostró un valor de autovector de 0,95 lo que indicó su predominancia en la proyección de este eje (Anexo I); si bien no estuvo asociada a ningún grupo definido de híbridos, de acuerdo al gráfico los híbridos 619 y 601 fueron los únicos que se diferenciaron de acuerdo a la CP2.

Análisis de campo

En la Figura 2.3 se muestra la proyección de las variables medidas a campo en la CP1 siguió el mismo patrón de distribución que las observadas en laboratorio pero al mismo tiempo, mostraron una mayor diferenciación entre los híbridos.

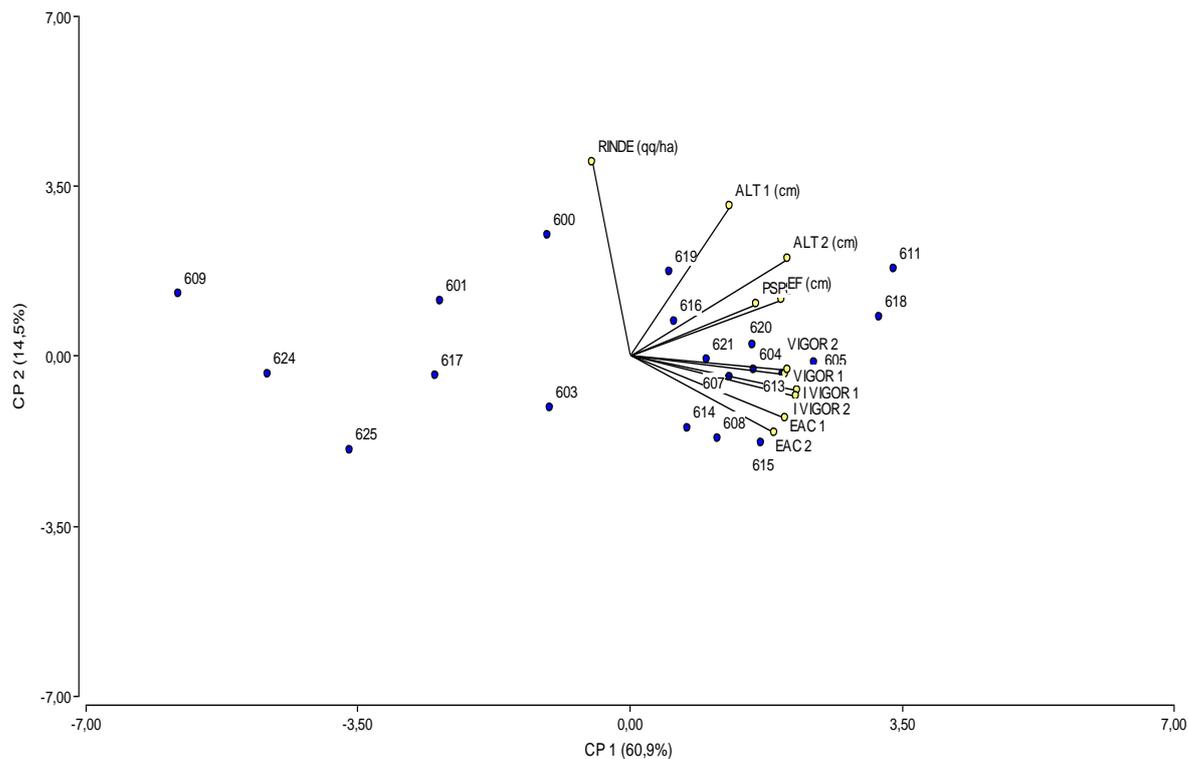


Figura 2.3. Gráfico Biplot de un Análisis de Componentes Principales (ACP) para 20 Híbridos evaluados a campo en base a las variables Emergencia a campo 1 (EAC1), Vigor 1 (VIGOR1), Índice de Vigor 1 (IVIGOR1), Peso seco de planta (PSPTA), Emergencia a campo 2 (EAC2), Vigor 2 (VIGOR2), Índice de Vigor 2 (IVIGOR2), Altura 1 (ALT1), Altura 2 (ALT2), Elongación Foliar (EF) y Rendimiento (RTO).

Los autovalores acumulados en las CP1 y CP2 explicaron un 76% de la variación, indicando que no es necesario contar con una tercera CP.

La correlación cofenética arrojó un valor de 97%, lo cual hizo aún más confiable la proyección sobre el plano R2 (Anexo I).

Con respecto a las variables evaluadas a campo, se observó que el RTO se correlacionó positivamente con Alt1, y en menor medida, con Alt2; sin embargo, la correlación entre el RTO y las variables EAC1 y 2, V1 y 2 e IV1 y 2 se tornó negativa. Además cabe mencionar que, entre las variables PSPTA y EF y el RTO, no existió correlación, dado que el ángulo conformado por los vectores de estas variables y el RTO fue de aproximadamente 90°.

Por otra parte, a nivel de la CP1 se evidenciaron claramente dos grupos de híbridos. Por un lado los híbridos 609, 624 y 625 que no se mostraron asociados directamente al rendimientos pero sí exhiben un comportamiento desfavorable en cuanto a EAC1, EAC2, PSPTA, V1, V2, ALT1, ALT2 y EF; mientras que por otro, los híbridos con mejor desempeño para estas variables fueron 611, 618, 605, 615 y 613 pero con rendimientos variables.

En cuanto a la CP2, las variables que permitieron diferenciar los híbridos fueron el RTO y, en menor medida, ALT1 (con menor valor de autovector), destacándose los híbridos 600, 611 y 619.

Es necesario resaltar que los híbridos 600 y 611 fueron los que tuvieron un mejor comportamiento en lo referente a RTO y ALT1. En tal sentido, se puede observar también que, particularmente el híbrido 611, fue uno de los que presentó mejor comportamiento en condiciones de laboratorio para las variables PG, LPA y LR (componentes de vigor) y, por otro lado, el híbrido 600 se mostró con valores altos de PS de plántula bajo estrés y asociado a las variables ALT1 y RTO en condiciones de campo.

No obstante, si conjugamos las matrices de laboratorio y de campo (cuyos autovalores acumulados en las CP1 y CP2 arrojan un 64,7%), el Biplot muestra nuevamente que las variables PS, ALT1 y RTO continúan asociadas positivamente. Si además consideramos el coeficiente de correlación de Spearman positivo observado con un nivel de significancia del 10%, se puede inferir la importancia de esta asociación.

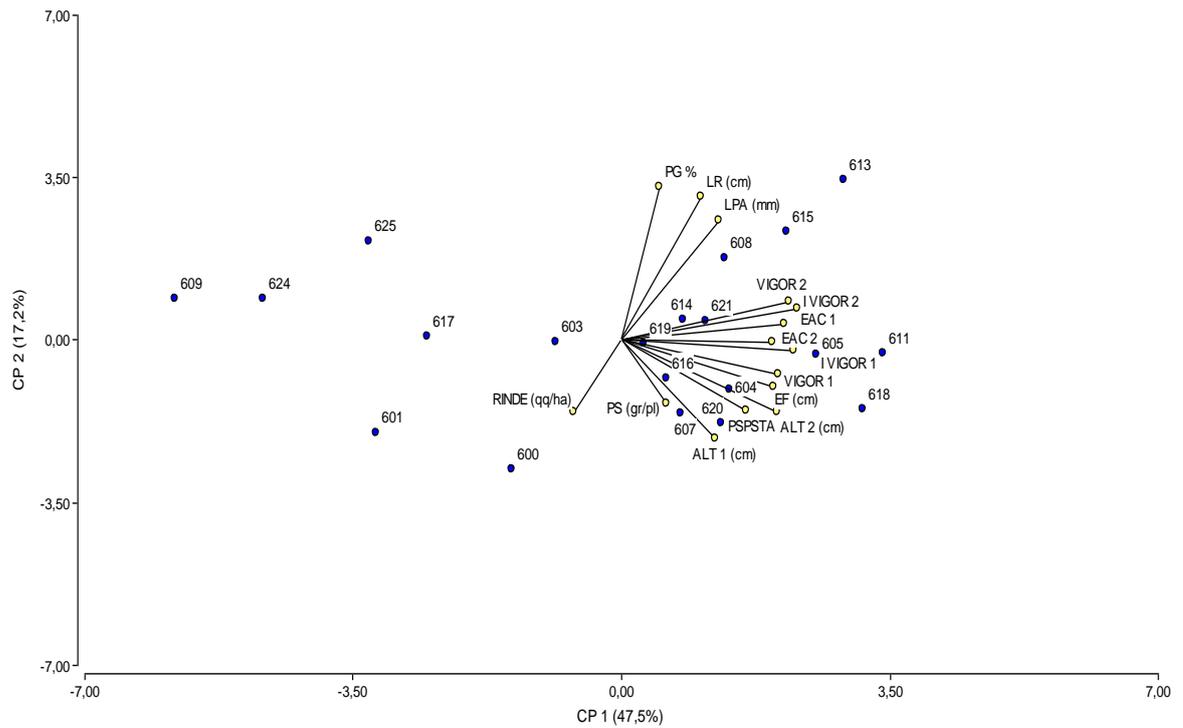


Figura 2.4. Gráfico Biplot de un Análisis de Componentes Principales (ACP) para 20 híbridos experimentales de maíz evaluados a laboratorio y a campo, en base a las variables Porcentaje de Germinación en PEG (PG), Longitud de la Raíz principal (LR), Longitud de la Parte Aérea (LPA) y Peso Seco de plántula (PS), Emergencia a campo 1 (EAC1), Vigor 1 (VIGOR1), Índice de Vigor 1 (IVIGOR1), Peso seco de planta (PSPTA), Emergencia a campo 2 (EAC2), Vigor 2 (VIGOR2), Índice de Vigor 2 (IVIGOR2), Altura 1 (ALT1), Altura 2 (ALT2), Elongación Foliar (EF) y Rendimiento (RTO).

Árbol de regresión

Los resultados obtenidos en el Arbol de Regresión mostraron que, para el grupo de híbridos experimentales evaluados, únicamente existió correlación entre las variables ALT1 y RTO, no así entre variables de laboratorio y a campo. Esto concuerda con el análisis de PCA graficados en las figuras 2.2, 2.3 y 2.4 en suma con el coeficiente de correlación de Spearman (con $p \leq 0,1$), donde se mostró la asociación positiva entre ALT1 y RTO. En base a este análisis, se pudo detectar que los híbridos con mayor ALT1 (más de 6 cm a los 23 días desde la siembra) presentaron un rendimiento promedio de 109 qq/ha superando al resto de los híbridos en 33 qq/ha; éstos valores corresponden a los híbridos 600 y 611 con 106,24 qq/ha y 113,06 qq/ha, respectivamente.

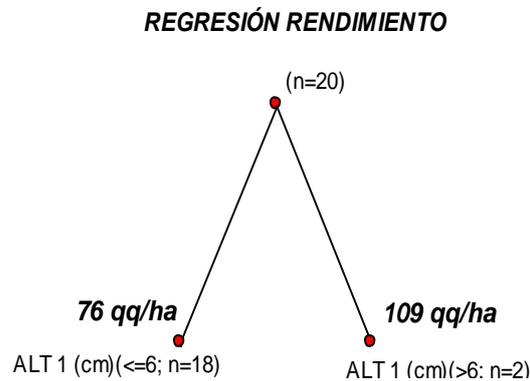


Figura 2.5. Árbol de Regresión para 20 híbridos experimentales de maíz evaluados a laboratorio y a campo, en base a las variables Porcentaje de Germinación en PEG (PG), Longitud de la Raíz principal (LR), Longitud de la Parte Aérea (LPA) y Peso Seco de plántula (PS), Emergencia a campo 1 (EAC1), Vigor 1 (VIGOR1), Índice de Vigor 1 (IVIGOR1), Peso seco de planta (PSPTA), Emergencia a campo 2 (EAC2), Vigor 2 (VIGOR2), Índice de Vigor 2 (IVIGOR2), Altura 1 (ALT1), Altura 2 (ALT2), Elongación Foliar (EF) y Rendimiento (RTO).

DISCUSIÓN

El ensayo de vigor a laboratorio bajo estrés hídrico permitió detectar diferencias y una adecuada variabilidad genética entre los híbridos experimentales evaluados. Esta primera apreciación se basa en lo enunciado por AOSA (1983), donde se considera que varios test de vigor ya estandarizados han sido establecidos para la mayoría de los cereales con el objetivo de poder determinar diferencias en la performance de lotes de semillas. El poder discriminatorio de esta prueba de estrés de vigor utilizada se reflejó en forma altamente significativa en las variables PG y PS.

Estudios realizados por Alemanno (2009) y Teruel *et al.* (2008), determinaron que el ensayo de vigor aplicando solución de PEG 8000 mostró una alta variabilidad entre híbridos de maíz en cuanto a vigor de plántula con respecto a las variables: PG, LR y LPA; coincidiendo con los resultados obtenidos en este trabajo en relación a la variable PG, pero en contraposición con los resultados para LR y LPA; ya que estos caracteres no mostraron una sustancial variabilidad genética entre los híbridos evaluados. Posiblemente, el factor que pudo haber influido en esta disparidad es, por un lado, que los híbridos bajo evaluación son producto de la cruce de pocas (cinco) líneas endocriadas y, por otro, que la variabilidad genética existente entre ellos se haya debido sólo a la influencia de las líneas parentales de origen subtropical (CIMMYT) las cuales son muy diferentes a las otras tres líneas templadas con las que se trabajó. En consecuencia, la influencia de éstas en la expresión del carácter de germinación en sequía, quizás fue determinante para demostrar las diferencias genéticas observadas entre los híbridos y no así para el resto de las demás variables medidas a laboratorio.

Estudios de Somers *et al.* (1983) indicaron que en semillas de girasol, la germinación bajo soluciones acuosas de PEG tiene potencial para discriminar cultivares con elevada emergencia durante condiciones de estrés de humedad en laboratorio. No obstante, Trachsel *et al.* (2010) pudo demostrar que líneas endocriadas de maíz subtropical, pueden diferenciarse a través de la longitud de la raíz axial principal de las plántulas bajo condiciones de estrés hídrico con PEG 8000; mientras tanto, Bolaños y Edmeades (1991), y a diferencia de lo encontrado en el presente trabajo, mostraron que la selección por incremento en la capacidad de ajuste osmótico de híbridos de maíz tropical, a través de

caracteres secundarios, no es eficiente ya que sólo un número limitado de materiales experimentales pueden exhibir variación genética bajo condiciones de estrés hídrico.

Por su parte, Mihura (2008) generaliza y considera que cada uno de los diferentes ensayos de calidad de semillas está limitado en el número de aspectos que pueden llegar a medir, por lo que en general, los ensayos de vigor sólo son capaces de distinguir entre los lotes de semillas con diferencias extremas en el nivel de vigor. Sin embargo, la contrastación entre lotes con diferencias menores en vigor y condiciones ambientales variables, hace necesario la utilización de más de un indicador o test. En este sentido, los resultados aquí obtenidos coinciden además con los de Trawatha *et al.* (1990) quien sostiene, que los test de vigor han sido usados para detectar diferencias en el potencial comportamiento de lotes de semillas que no son detectados con el test convencional de germinación.

Por otra parte, Mihura (2008), obtuvo resultados en ensayos de frío y consideró que éstos no permiten categorizar a lotes de semillas de híbridos de maíz de manera consistente, en relación a la emergencia a campo, debido a que las condiciones de estrés por frío húmedo durante siete días en ensayos de laboratorio, no se equiparan a las condiciones que ocurren en el área en estudio y años evaluados. Revilla *et al.* (2000) sostiene que el mejoramiento para vigor temprano bajo condiciones de crecimiento en frío depende de la variabilidad genética para la germinación, emergencia y vigor de plántula. Sin embargo, y en función de la variabilidad obtenida entre los híbridos evaluados en el presente trabajo, podría considerarse al ensayo de laboratorio bajo estrés hídrico, como una prueba alternativa para la evaluación del vigor de plántulas a través del PG y PS a los fines de determinar variabilidad entre genotipos híbridos de maíz.

Para el caso en estudio, además de tener en cuenta la capacidad discriminativa del ensayo de vigor bajo estrés hídrico, se consideraron las correlaciones significativas ($p \leq 0,05$) existentes entre el conjunto de variables evaluadas a laboratorio. Las correlaciones positivas que se obtuvieron fueron entre las variables PG, LR y LPA reflejada especialmente en los híbridos 613, 615 y 611 (Fig. 2.2). Esto concuerda con Trapani y Gentinetta (1984), Biasutti y Galiñanes (2001) y Alemano (2009); quienes demostraron que la selección de híbridos con altos valores de PG en PEG 8000, llevó a

obtener plántulas con mayores valores de longitud de raíz primaria bajo estrés. A su vez, resultados obtenidos por De y Kar (1995), indican que la germinación y el crecimiento de la plántula (longitud de raíz y parte aérea) declinan con incrementos en el estrés hídrico dado por PEG-6000, sin embargo, el crecimiento de la parte aérea es mucho más afectado que el crecimiento de la raíz, resultando en una relación raíz/parte aérea incrementada, tal como se observó en los materiales del presente estudio. Esto indica que el estrés influye en forma diferente el crecimiento de la raíz y de la parte aérea de la plántula. Dichas consideraciones afirman que, una estimulación del crecimiento de la raíz y la inhibición del crecimiento del coleoptilo son importantes, siendo citados además en otros trabajos como los de Bhatt y Srinivasa Rao (1987).

En tal sentido, Trachsel *et al.* (2010) confirma las observaciones aquí encontradas respecto al test de germinación estándar, al determinar que el crecimiento de las raíces seminales bajo estrés hídrico, es reducido a favor del desarrollo de la raíz principal. Klepper (1991) indicó que en general las especies anuales presentan una alta relación raíz/vástago durante la germinación y el establecimiento de las plántulas, disminuyendo progresivamente en estados posteriores. Simon y Meany (1965), trabajando con *Phaseolus*, llegaron a similar conclusión. Ludlow y Muchow (1990), demostraron que un incremento en materias asimiladas en las raíces reduce la cantidad de materias asimiladas disponibles para crecer en el área adicional de las hojas y limita la radiación interceptada por el cultivo dando lugar a un menor vigor. Estas consideraciones ayudarían a explicar los resultados obtenidos en cuanto a la correlación negativa encontrada entre la variable PS con LR y LPA, ya que de igual manera se observó una disminución del tamaño del coleoptilo y un menor desarrollo radicular, dado este último por un menor número de raíces adventicias y un incremento en longitud de raíz primaria en detrimento de su grosor, llevando a obtener una disminución en el PS de la plántula en condiciones de estrés hídrico.

En la selección de genotipos bajo ambientes altamente contrastantes, dado por su disponibilidad hídrica, se pueden detectar cambios en ciertos caracteres relacionados a estadios tempranos del crecimiento de las plántulas. Estos podrían constituirse luego en criterios de selección adecuados para ser aplicados en etapas tempranas del desarrollo de genotipos de maíz a campo (Biasutti y Galiñanes, 2001). Así mismo, en el presente trabajo, la existencia de correlación significativa ($p \leq 0,05$) entre las variables de laboratorio

en PEG y de campo (sin incluir el rendimiento), evidenciaron relaciones positivas entre PG y LPA, ambas, con EAC1, V2 e IV2; y a su vez LPA con IV1. La variable LR también se correlacionó positivamente con IV2, al igual que el PS de plántula con EAC2. Estos resultados coinciden parcialmente con los hallazgos de Alemanno (2009), quien demostró que altos valores de PG bajo PEG determina plántulas con una mayor longitud de la raíz primaria y a su vez esta última en condiciones estándar, es una variable que permite predecir el crecimiento temprano a campo en híbridos de maíz.

Con el mismo criterio, Willenborga *et al.* (2005), plantea el hecho de que, poder identificar genotipos de maíz con altos porcentajes de germinación bajo estrés hídrico, haría incrementar el vigor temprano de las plántulas y por consiguiente el establecimiento de las plantas a campo, mermando la competitividad intra-específica y obteniendo plantas más vigorosas con un adecuado desarrollo vegetativo. De igual manera Thill *et al.* (1979), determinaron la existencia de un coeficiente de correlación altamente significativo entre la tasa de emergencia a campo y la tasa de germinación de plántulas, e indicó que el test en PEG podría constituir un valor predictivo en la selección para el caso de cultivares de trigo aptos para germinar bajo condiciones de baja humedad.

Teniendo en cuenta las correlaciones obtenidas entre las variables de laboratorio y campo, tanto el PG como la LPA bajo estrés hídrico en PEG 8000, pueden ser consideradas variables indicadoras del vigor temprano a campo ya que permitieron predecir el comportamiento de híbridos de maíz en condiciones de secano.

Cabe destacar que, otros autores trabajaron con diferentes tests de vigor y obtuvieron resultados ambiguos en cuanto a la determinación del comportamiento temprano a campo de diferentes materiales. Por consiguiente, Trawatha *et al.* (1990) en su investigación determinó que el test de germinación estándar de semillas, si bien es adecuado para la evaluación de calidad de lotes de semillas, reconoce que altos porcentajes de germinación a laboratorio no necesariamente resultan en un buen comportamiento de emergencia a campo. Además indicó que la capacidad predictiva de los test de vigor a laboratorio utilizadas en forma independiente, muestran una correlación pobre y no sirven como indicadores o predictores de la emergencia a campo de las plántulas. Por su parte, Möckel (1976) sostuvo que el test de germinación estándar en maíz resulta un buen índice

para estimar la emergencia a campo siempre y cuando la semilla sea de óptima calidad o cuando tenga muy poca viabilidad, no pudiéndose detectar casos intermedios cuando se produce una buena germinación en condiciones ideales pero pobre en condiciones de campo, a pesar de lo excelente que pudieran ser éstas.

Estudios realizados en girasol por Anfinrud y Schneiter (1984), demostraron que el porcentaje de emergencia de plántulas a campo está altamente correlacionado con la germinación de las plántulas evaluadas a laboratorio, pero utilizaron pruebas de vigor como el test de conductividad eléctrica, el test de clasificación de plántulas por vigor y el test de envejecimiento acelerado; resultando más significativas que el ensayo de germinación estandar a 21°C. No obstante, si retomamos consideraciones de Mihura (2008), allí se indica que, las categorías de calidad de diferentes lotes de híbridos de maíz establecidas inicialmente de acuerdo al ensayo de frío, no se reflejan en la emergencia de plántulas a campo y que el ensayo de frío, por sí solo, no resulta ser un buen indicador de la emergencia en condiciones de baja temperatura. Además sostiene que, los coeficientes de correlación obtenidos en base a los resultados de calidad determinados en los ensayos de laboratorio y los valores de emergencia de plántulas a campo en siembra directa en fecha óptima, son bajos y en algunos casos, hasta de signo opuesto con respecto a la fecha de siembra temprana. Por ello, y debido a que las condiciones cambian año a año, es que ninguno de los ensayos de vigor por sí solos podrían predecir los diferentes eventos que se dan en las condiciones ambientales características de cada área en cuestión.

De la misma manera, Burris y Navratil (1979) obtuvieron resultados similares evaluando el comportamiento de los coeficientes de correlación en diferentes lotes de semillas de maíz híbrido. Por su parte Revilla *et al.* (1999), indicaron que el vigor de plántula evaluado a laboratorio bajo estrés hídrico, no es garantía de un buen vigor temprano a campo ya que comprobaron que el peso de las mazorcas sólo se correlacionó con Vigor en escala visual (carácter subjetivo) y el PSPTA. Así mismo, los estudios de Cervantes Ortiz *et al.* (2007) mostraron que las correlaciones entre los caracteres de vigor inicial de plántula y los de planta adulta son inconsistentes.

Podemos observar que, a pesar de las discrepancias entre los diferentes test de vigor citados ut-supra, no podemos descartar que la prueba de vigor bajo estrés hídrico en PEG,

sea factible para ser utilizada como técnica para evaluar el comportamiento temprano a campo de genotipos de maíz, al mismo tiempo que los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación poseen bajos niveles de error estadísticos, dando cuenta de la confianza que presentó el test como para ser utilizado en este tipo de determinaciones.

En cuanto al análisis a campo, resulta necesario describir que entre las variables utilizadas, el uso de la Escala de Vigor Visual a Campo o Valoración Visual aplicada en conjunto con otras variables (EAC, ALT, PSPTA y EF) si bien, no permitió predecir el comportamiento de los híbridos en cuanto al rendimiento, si proporcionó información acerca de la discriminación entre genotipos híbridos de maíz respecto a las variables medidas en los estados tempranos de crecimiento del cultivo. Por otra parte, dicha variable se correlacionó con la emergencia a campo (EAC1 y EAC2) y los índices de vigor utilizados (IV1 y IV2).

Peter *et al.* (2009), mediante la aplicación de la misma técnica que en el presente trabajo, llegaron a la conclusión que en maíces del tipo Flint criollos el scoring de vigor (escala visual de vigor) en estados tempranos del cultivo a campo (entre V2 y V6) - que contempla características como altura general de plantas, área foliar y color del follaje - es una técnica eficiente, rápida, no destructiva que permite seleccionar genotipos tolerantes a bajas temperaturas y, entre otras, contempla un fuerte poder discriminatorio entre híbridos de maíz. Sin lugar a dudas, estos hallazgos concuerdan con lo obtenido en este trabajo de investigación en relación a los aspectos del cultivo considerados en la evaluación de vigor, como así también en la forma en que fue aplicada la técnica. Con el mismo criterio Revilla *et al.* (1999) observó también, que el vigor temprano medido en escala visual es igualmente efectivo para distinguir diferencias genéticas en el vigor de plántulas. Además, sostuvo que el score de Vigor no destructivo es altamente informativo, simple y rápido de medir.

Partiendo del análisis de PCA, se pudo observar que el PSPTA está asociado con el VIG e IV, lo cual concuerda con los hallazgos de Peter *et al.* (2009), quienes pudieron determinar que el vigor temprano medido en escala visual estuvo correlacionado con los resultados obtenidos con variables como PSPTA en V3, PSPTA en V6 y tasa de crecimiento, pero el scoring de vigor en particular, se mostró como el mejor discriminante

en grupos de híbridos de maíces criollos. Los tres caracteres (PSPTA en V3, PSPTA en V6 y VIG) reflejan claramente el vigor temprano típico del grupo de maíces criollos. Sin embargo, si se incluyen caracteres secundarios como la emergencia de plantas, establecimiento y los mecanismos fotosintéticos, ninguno de los maíces que evaluaron demostraron una clara superioridad en todos los caracteres en conjunto. Según Fracheboud *et al.* (2004) y Presterl *et al.* (2007), esto no tendría sentido, si se considera que el vigor temprano bajo condiciones de frío es un carácter complejo y cuantitativo no heredable.

Los caracteres citados por Peter *et al.* (2009) (PSPTA en V3 y V6) tuvieron una mejor correlación con el scoring no destructivo para vigor temprano (VIG) que con los demás caracteres que midieron durante el crecimiento temprano, tal como se pudo detectar en los resultados obtenidos en el presente estudio. Sin embargo, las similitudes encontradas, también concuerdan con los hallazgos de Dolstra y Miedema (1985), quienes indicaron correlaciones altas entre el vigor temprano y variables como el peso de tallo en plantas jóvenes de maíz.

Si bien se comparten las consideraciones citadas anteriormente, es necesario destacar que esta técnica en particular (vigor a escala visual), carece de confiabilidad y repetibilidad ya que el criterio que se utiliza para categorizar a los materiales es totalmente subjetivo y depende exclusivamente del técnico que realiza la evaluación. En consecuencia, la factibilidad de plantear este tipo de técnica debería estar acompañada de otras formas de evaluación que hagan más objetiva la medición de vigor en etapas tempranas del cultivo, tal como se planteó en este trabajo de investigación logrando asociar diferentes variables al concepto de vigor temprano.

Entre otros resultados contrastados, encontramos que Peter *et al.* (2009) consideraron correlaciones negativas entre porcentaje de emergencia (PE) y peso seco de planta en V3 y V6, como así también con tasa de crecimiento del tallo entre V3 y V6; esto difiere con los resultados obtenidos, ya que la variable PG no tuvo una correlación significativa con el PSPTA según lo planteado en el análisis de correlación de Spearman, y además la asociación entre estas variables no fue sustancialmente importante (Fig. 2.4).

Por otro lado, si consideramos la variable EAC1, tampoco se observaron correlaciones significativas con el PSPTA (Correlación de Spearman) y el PCA (donde la

correlación fue muy débil), por lo que el incremento del porcentaje de plantas emergidas a los 12 días no necesariamente estuvo relacionado con el peso seco/planta alcanzado a los 40 días desde la siembra. Probablemente estos resultados depende de la capacidad diferencial de cada híbrido de comportarse frente a altas o bajas densidades (en función del porcentaje de plantas emergidas en la parcela), ya que las líneas templadas parentales no han sido mejoradas para dicho carácter. Sin embargo, el mencionado autor sostiene que existen correlaciones negativas entre VIG y los caracteres que reflejan la performance fotosintética de las plantas como por ejemplo Fv/Fm (eficiencia máxima de fotosíntesis II); por lo que se puede inferir que quizás el vigor (VIG) sólo dependa de la arquitectura foliar y/o porte de las plantas y no de la masa fotosintética desarrollada en los estadios fenológicos mencionados anteriormente.

Desde el punto de vista del análisis respecto al carácter RTO, podemos decir que no existió correlación significativa con las variables evaluadas a laboratorio, por lo que el ensayo de vigor bajo estrés hídrico en PEG no demostró utilidad para estimar la producción de granos en los híbridos a campo. De la misma forma, Biasutti y Galiñanes (2001), sostienen que no existe correlación significativa entre variables medidas a laboratorio y el rendimiento a campo en condiciones con y sin estrés hídrico en poblaciones de maíz bajo diferentes ciclos de selección. Además, concluyeron que la evaluación temprana de genotipos de maíz en distintos ciclos de selección no contribuyó a una alternativa plausible de evaluación directa a campo del comportamiento potencial para rendimiento.

Por otro lado, cabe destacar los hallazgos de Mock y Bakri (1976), que reportaron una baja correlación entre el vigor de plántula (medido como porcentaje de emergencia) y materia seca de plántula (a los 42 días después de la siembra a campo), con el rendimiento en grano en una población de maíz denominada BSSS 13. A pesar de ello, reportes como los de Fakorede y Ayoola, (1980) evidenciaron que con selección recurrente en maíz, la correlación entre el vigor de plántula y rendimiento en grano puede ser tanto positiva, negativa o cero; sin embargo, en algunos casos la asociación con el crecimiento inicial de plántula es positiva según Hawkins y Cooper (1979); Derieux *et al.* (1989); Bockstaller y Girardin (1994). En otros casos, se sostiene que aunque es significativo el efecto del crecimiento de la plántula durante el período heterotrófico (porcentaje de emergencia,

altura de plántula y materia seca), éste desaparece antes de antesis (Hawkins y Cooper, 1979).

No obstante en el presente trabajo, mediante el análisis de Spearman y considerando un nivel de confianza del 90% ($p < 0,1$), se pudo observar que existiría un cierto grado de asociación entre el PS de plántula en PEG con respecto al RTO, cuyo valor de correlación se mostró negativo. Estos resultados se asemejan a los hallazgos de Bruce *et al.* (2002) quienes demostraron que, en el caso de líneas endocriadas de maíz, las plántulas evaluadas a laboratorio bajo condiciones de estrés hídrico que presentan un pobre desarrollo temprano de raíces (menor biomasa radical), rinden más que aquellas plántulas con un desarrollo radicular más vigoroso. En otras palabras, es probable que el crecimiento vigoroso de las raíces resulte en una menor producción de grano debido al costo adicional que involucra el desarrollo de nuevas raíces seminales, en lugar que un sistema radical más vigoroso pudiera ser más ventajoso en condiciones de estrés hídrico en un suelo seco. A estos resultados se adicionan también los de Bolaños *et al.* (1993), cuyos resultados coinciden en un incremento en rendimiento bajo estrés hídrico acompañado por la reducción en la biomasa radicular. La similitud planteada con el presente estudio se fundamenta en el hecho de que, la disminución del PS de las plántulas a laboratorio estaría dado por una menor relación vástago/raíz debido a que los parámetros de crecimiento longitudinal como radial son alterados en raíces creciendo a bajo potencial hídrico, dando sistemas radicales de mayor longitud pero de menor radio (Vartanian, 1981; Sharp *et al.*, 1988), lo cual llevaría a incrementar la capacidad de exploración radical y la disponibilidad hídrica para el cultivo.

Por el contrario, si tomamos en cuenta el PCA (con un nivel de confianza del 95% $p < 0,05$ donde se fuerzan aun más las relaciones entre las variables de campo y laboratorio), se puede apreciar que existió también una correlación entre PS y el RTO, pero en este caso resultó positiva, aunque se debe destacar que el vector de dicha variable además es muy pequeño en comparación con la de otras variables que correlacionan con RTO (Fig. 2.4). Estudios de Mock y McNeill (1979) muestran que los coeficientes de correlación entre caracteres de vigor de plántula con altura y número de hojas de planta juvenil, altura de planta adulta y rendimiento de grano en líneas endogámicas de maíz son bajos, sin embargo la acumulación de materia seca inicial afecta positiva y significativamente el

rendimiento de grano. Por su parte, Kumar *et al.* (2009) si bien observaron que el vigor temprano en maíz bajo situaciones tanto de ausencia de estrés hídrico como en condiciones de estrés intermitente, éstas mostraron una correlación genética significativa con el rendimiento lo cual podría ser incluido como un eficiente criterio de selección para incrementar los rendimientos.

En consecuencia, podría establecerse un grado de asociación entre el PS de plántula medido a laboratorio y el RTO, sin embargo y debido a las discrepancias encontradas en los análisis estadísticos realizados y los resultados planteados por los mencionados autores, es que no podemos aseverar que la correlación entre PS y RTO sea consistente; por lo tanto se debería continuar profundizando aún más dicha relación con otros estudios de investigación.

Siguiendo con el análisis, resulta importante destacar que, las correlaciones entre el RTO y las variables EAC1 y EAC2, V1 y V2 e IV1 y 2 no fueron significativas; por el contrario y a diferencia de estos resultados, Peter *et al.* (2009) hallaron que para híbridos de maíz, en condiciones de bajas temperaturas, existe una asociación significativa y negativa entre valores de porcentaje de emergencia a campo y rendimiento considerándolo, no obstante, como prerequisite para lograr un estand de plantas uniforme y con altos rendimientos para la adaptación en ambientes fríos.

Trabajos de Biswas *et al.* (2000) destacaron que bajo condiciones de estrés, el vigor inicial es de gran importancia, ya que permite a la plántula mantener un mayor nivel de desarrollo, mejor establecimiento del cultivo y mayor rendimiento a campo. A su vez, el vigor inicial está relacionado con mayor producción de biomasa y área foliar por la planta (Klos y Brummer, 2000) efecto que junto con las condiciones externas e internas en las cuales germina la semilla y se desarrolla la plántula, provoca diferentes cambios en el estatus fisiológico de ésta; cambios que podrían influir durante todo el ciclo biológico de la planta y por lo tanto en su rendimiento (Teng, 1990). En tal sentido, el vigor temprano, asociado a un incremento de la radiación, podría ser exceptuado de tener una influencia negativa sobre el rendimiento potencial ya que este último está altamente fijado en las primeras dos o tres semanas después de la siembra, particularmente en los cereales cultivados en el trópico, y donde las altas temperaturas están asociadas con rápidos

desarrollos del cultivo (Rawson, 1986). Cabe tener en cuenta también a Ludlow y Muchow (1990), con quienes se comparte aquí el mismo criterio. Ellos consideraron que debido a que el rendimiento es la integración de todos los factores que influyen en el crecimiento del cultivo, un carácter que sea parte de la habilidad para el desarrollo o su supervivencia durante ciertos períodos bajo estrés hídrico, puede resultar relativamente sin importancia en el contexto del ulterior desarrollo del cultivo.

Si se toman en cuenta las variables PSPTA y EF en relación al RTO, se pudo observar que no existió correlación significativa entre ellas (Fig. 2.4, 2.3 y Análisis de correlación de Spearman) por lo tanto, no fueron indicativas del RTO a campo bajo condiciones de secano. En este sentido, los híbridos 611, 618, 605, 615 y 613 que exhibieron un mejor desempeño para PSPTA y EF no necesariamente mostraron buenos rindes. Esto puede deberse a que, de considerarse que la biomasa lograda en estados de planta adulta es independiente de los rendimientos posteriores y que, por el contrario, existen otros caracteres que pueden influir en mayor medida en la expresión del rendimiento. Resultados como los de Turner y Nicholas (1988) son contradictorios, ya que sus hallazgos indicaron que, en 22 líneas de trigo evaluadas en ambientes mediterráneos, el crecimiento vigoroso temprano resultó en altos rendimientos de materia seca en anéxos e incrementos de rendimiento en grano, sin disminuir el índice de cosecha (IC). También sugirieron que el crecimiento vigoroso temprano no es restrictivo de los rendimientos bajo limitaciones en el contenido de humedad. Estos autores sostienen también, que esto se debe a que el buen uso del agua se lleva a cabo en la etapa temprana del crecimiento del cultivo, la cual es más fría, luego el vigor temprano permite incrementar la eficiencia en el uso del agua. Sin embargo, en algunas situaciones, el vigor temprano puede resultar en un rápido y temprano uso del agua, seguido de severos déficit de agua en estados críticos de crecimiento y consecuentes reducciones en el índice de cosecha. Esta podría ser la situación para el crecimiento de cereales en estratos de suelo con contenidos de humedad limitados. En términos de determinantes de la supervivencia del cultivo, estas características podrían tener una influencia negativa en la anulación de la deshidratación por el incremento del uso del agua, proporcional con una gran área foliar.

En función de los resultados obtenidos, las condiciones de campo a la que estuvieron expuestos los genotipos fueron en secano y éstos no sufrieron un estrés marcado

en la etapa de planta adulta, por lo que la eficiencia en el uso del agua se torna independiente de lograr altos valores de PSPTA y EF y sin embargo, el RTO no estuvo sujeto a la influencia de dichas variables. No se descarta que bajo condiciones de déficit hídrico a campo esto no suceda, por lo que debería investigarse en materiales híbridos de maíz y en forma más exhaustiva contrastando ambas situaciones de estrés.

Todos los Análisis de Correlación realizados y los resultados obtenidos evidenciaron la existencia de una asociación ($p < 0,1$) positiva entre la variable RTO y Alt1 (23 días desde la siembra), en menor medida Alt2 (30 días desde la siembra), medida a campo en etapas tempranas de desarrollo del cultivo. Además, se observó a los híbridos 600 y 611 como los que tuvieron un mejor comportamiento para estas tres variables en cuestión. Por lo tanto, la variable ALT1 puede mostrarse, con una confianza del 90%, como la más indicativa del comportamiento posterior de los híbridos a campo influyendo más que otras en la producción de granos de híbridos de maíz. Esto demuestra la importancia de la altura de planta como variable temprana de vigor, capaz de pronosticar el rendimiento real de los híbridos a campo.

Por último, y en virtud de lo mencionado hasta aquí, podemos decir que los resultados obtenidos se ajustan en su mayor parte a los de Thill *et al.* (1979), Ludlow y Muchow (1990), Revilla *et al.* (1999; 2000), Biasutti y Galiñanes (2001), Teruel *et al.* (2008), Alemo (2009) y Peter *et al.* (2009) pero, al mismo tiempo, contrastan con los de Mock y McNeill (1979), Revilla *et al.* (1999) y Peter *et al.* (2009) y Cervantes Ortiz *et al.* (2007), quienes no han podido encontrar aún alguna característica que asocie el comportamiento temprano de los híbridos de maíz con su rendimiento a campo. Sin embargo, en el presente estudio se rescata una variable de vigor de planta como lo es la ALT1, que se mostró como pronosticadora ($p < 0,1$) del comportamiento de los híbridos a cosecha.

Otra discrepancia observada con estos autores es que los ensayos realizados en esta investigación incluyen ambientes bajo estrés hídrico en condiciones de laboratorio, mientras que los trabajos de Cervantes Ortiz *et al.* (2007) y Peter *et al.* (2009) fueron en su totalidad bajo condiciones de campo, lo cual podría explicar en parte las diferencias encontradas. Al mismo tiempo, el germoplasma utilizado por Cervantes Ortiz *et al.* (2007)

y Mock y McNeill (1979) consistieron en líneas endocriadas de maíz e híbridos de origen tropical, a diferencia, del material evaluado en este trabajo donde sólo dos de las cinco líneas evaluadas contienen germoplasma tropical y las demás fueron líneas de maíces templados. Si consideramos los resultados obtenidos con Revilla *et al.* (1999) éstos son producto de experimentos con maíces de origen estadounidense y europeo tipo Flint. Por otro lado, las diferencias puntuales observadas con Peter *et al.* (2009) se basan en que las correlaciones significativas y negativas encontradas entre porcentaje de emergencia (PE) con PSPTA en V3 y V6, la tasa de crecimiento del tallo entre V3 y V6 y el RTO difieren claramente de los resultados aquí obtenidos.

CONCLUSIONES

En respuesta al objetivo específico propuesto inicialmente, y en función de los materiales y métodos utilizados, se detecta la existencia de correlaciones significativas y positivas obtenidas entre las variables de laboratorio (PG, LPA, LR y PS) y las de campo en estadíos tempranos del cultivo (EAC1, EAC2, V2, IV1 e IV2), lo cual permite demostrar que en mayor o menor medida, resultan indicadoras y pronosticadoras del vigor temprano en condiciones de secano.

En cuanto al RTO, no existe una correlación significativa con las variables evaluadas a laboratorio, en consecuencia, el ensayo de vigor bajo estrés hídrico no demuestra utilidad para estimar la producción de granos en los híbridos experimentales evaluados sin embargo, permite discriminar genotipos por su naturaleza genética.

Todos los resultados obtenidos de los análisis de correlación evidencian la existencia de una asociación positiva entre el RTO y la altura de planta joven a los 23 días desde la siembra (ALT1) a campo en condiciones de secano.

BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo E., Hsiao T. C. and Henderson D. W. 1971. Immediate and subsequent growth responses of maize leaves to changes in water status. *Plant Physiology* 8: 631-636.
- Adegbuyi E. and Burris J. S. 1989. Effects of seed vigor on crop characters in uniform and reduced populations of corn *Zea Mays L.* *Journal of Agronomy and Crop Science*. 162 (1): 10-20.
- Alemano G. 2009. Relaciones entre la calidad de semilla de híbridos simples de maíz (*Zea mays L.*) y las características adaptativas a condiciones adversas presentes en las líneas parentales. Tesis Magister en Ciencias Agropecuarias. Mención Tecnología de Semillas. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina, 145 pp.
- Anfinrud M. N. and Schneiter A. A. 1984. Relationship of Sunflower Germination and Vigor Test to Field Performance. *Crop Science*. Vol 24: 341-344.
- AOSA. 1983. Seed Vigor Testing Handbook. Contribution N° 32. To the Handbook on Seed Testing. Association of Official Seed Analysts. USA, pp: 88-93.
- Bhatt R. M. and Srinivasa Rao N. K. 1987. Seed germination and seedling growth responses of tomato cultivars to imposed water stress. *Journal of Horticultural Science*. Vol. 62. N° 2:221-225.
- Biasutti C. A., Tedin D. A., Peiretti D. A. y Nazar M. C. 1997 b. Evaluación de agrupamientos de líneas adaptadas y no adaptadas de maíz seleccionadas por su tolerancia al estrés hídrico. VI Congreso Argentino de Maíz. Pergamino. Tomo 1: 14-19.
- Biasutti C. A. y Galiñanes V. 2001. Influencia del ambiente de selección sobre la germinación de semillas de maíz (*Zea mays L.*) bajo estrés hídrico. Relaciones entre caracteres de plántula con el rendimiento a campo. *Agriscientia*. Vol. XVIII: 37-44.
- Biasutti C. A., Peiretti D. A., Nazar M. C., Carreras J. J., Teruel M. E., Alemano G. A. y Ciacci B. 2006. Comportamiento de híbridos entre líneas selectas de maíz con distintos niveles de endocría. III Jornadas Integradas de Investigación y Extensión. FCA-UNC. Pp: 43.
- Biswas J.C., Ladha J.K., Dazzo FB., Yanni Y.G. and Rolfe B.G. 2000. Rhizobial inoculation influences seedling vigor and yield of rice. *Agronomy Journals*. 92:880-886.
- Bockstaller C. and Girardin P. 1994. Effects of seed size on maize growth from emergence to silking. *Maydica* 39: 213-218.
- Bolaños J. and Edmeades G. O (1991). Value of Selection for Osmotic Potential in Tropical Maize. *Agronomy Journal*. 83: 948-956.
- Bolaños J., Edmeades G. O. and Martinez L. 1993. Eight cycles of selection for drought tolerance in lowland tropical maize. III. Responses in drought-adaptative physiological and morphological traits. *Field Crop Research*. 31: 269-286.

- Bruce Wesley B., Edmeades Gregory O. and Barker Thomas C. 2002. Molecular and physiological approaches to maize improvement for drouth tolerance. *Journal of Experimental Botany*. Vol. 53, N°366, pp. 13-25.
- Burris J. S. 1976. Seed/Seedling vigor and field performance. *J. Seed Technol.* 1:58-74.
- Cervantes Ortiz F., García De los Santos G., Carballo-Carballo A., Bergvinson D., Crossa J. L., Mendoza- Elos M. y Martínez-Moreno E. 2007. Herencia del vigor de plántula y su relación con caracteres de planta adulta en líneas endogámicas de maíz tropical. *Agriscientia*. Vol. 41: 425-433.
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). 1985. Manejo de Ensayos e Informe de Datos de Ensayos Internacionales de Maíz del CIMMYT. México.
- Contreras S. y Barros M. 2005. Pruebas de Vigor en Semillas de Lechuga y su Correlación con Emergencia. *Ciencia e Investigación Agraria*. 32(1): 3-11.
- Copeland L. O. and Mc Donald M. B. 2001. Principles of seed science and technology. 4th ed. Kluwer Academic Publishers, EUA. Pp: 467.
- De R. and Kar R. K. 1995. Seed germination and seedling growth of mung bean (*Vigna radiata*) under water stress induced by PEG 6000. *Seed Sci. and Technol.* 23: 301-308.
- Delouche J. C. and Caldwell W. P. 1960. Seed Vigor and Vigor Tests. *Assoc Off. Seed Analysts Proc.* 50: 124-129.
- Derieux M., Boardu R., Durburq J. B. and Boizard H. 1989. La crise de criossance de la plantulate de mais á basse temperature. *Agronomie* 9: 207-212.
- Dolstra O. and Miedema P. 1985. Breeding for improved vegetative growth at low temperature in maize (*Zea mays L.*). En: Dolstra O. and Miedema P. (eds.). *Breeding of Silage Maize*, Wageningen, The Netherlands. Pp: 61-69.
- Edje, O. T., and Burris, J. S. 1970. Seedling vigor in soybeans. *Proc. Assoc. Offic. Seed Anal.* 60: 149-157.
- Emmerich W. E. and Hardegree D. P. 1991. Seed Germination in Polyethylene Glycol Solution: Effects of filter paper exclusion and water vapor loss. *Crop. Science*. 31: 454-458.
- Fakorede M. A. B. and Ayoola A. O. 1980. Relationship between seedling vigor and selection for yield improvement in maize. *Maydica* 25: 135-147.
- Fiala F. 1987. Report of the vigour test committe 1983-1986. *Seed Science and Thecnology* 15: 507-522.
- Fracheboud Y., Jompuk C., Ribaut J. M., Stamp P. and Leipner J. 2004. Genetic analysis of cold-tolerance of photosynthesis in maize. *Plant Molecular Biology* 56: 241-253.
- Funk C. R., Anderson J. C., Johnson M. W. and Atkinson R. W. 1962. Effect of seed source and seed age on field and laboratory performance of field corn. *Crop Science* 2: 318-320.
- González Carmielutti E., Ruiz M., Doña C., Tanaka W. y Uhart S. 2010. Variables morfofisiológicas asociadas con la tolerancia al estrés hídrico en híbridos de maíz.

- Publicación. IX Congreso Nacional de Maíz, Simposio Nacional de Sorgo, Rosario, Santa Fe, Argentina. Pp: 84-86.
- Grabe D. F. 1967. Hidden Threat to Crop Yields. *Crops and Soils*. 19: 11-13.
- Hampton J. G. and Coolbear P. 1990. Potential vs. Actual seed performance can vigor testing provide an answer? *Seed Science and Technology*. 18:215-228.
- Hampton J. G. and Tekrony D. M. 1995. *Handbook of Vigour Test Methods*. 3rd. Edition, The International Seed Testing Association, Zurich, Switzerland. Pp: 117.
- Hawkins R. C. and Cooper P. J. M. 1979. Effects of seed size on growth and yield of maize in the Kenya highlands. *Exptal. Agric.* 15: 73-79.
- Heathcliffe Riday and Kenneth A. Albrecht. 2010. Registration of Kural *Trifolium ambiguum* (M. Bieb) *Germoplasm*. *Juornal of Plant Registration*. 4: 80-85.
- InfoStat. 2010. InfoStat/Estudiantil, version 2010P. Estadística. Grupo InfoStat/F.C.A. Universidad Nacional de Córdoba. Ed. Brujas, Córdoba, Argentina.
- ISTA. 1999. International Rules for Seed Testing. Rules 1999. International Seed Testing Association. Zurich. Switzerland.
- ISTA. 2003. International Rules for Seed Testing. International Seed Testing Association, CH- Switzerland.
- Johnson R. R. and Wax L. M. 1981. Stand establishment and yield of corn as affected by herbicides and seed vigor. *Agron J.* 73: 859-863.
- Kharb R. P. S., Lather B. P. S. and Deswal D. P. 1994. Prediction of field emergence through heritability and genetic advance of vigour parameters. *Seed Science & Technology*. Vol. 22: 461-466.
- Klepper B. 1991. Root Shoot Relationship. En: *Plant Root the hidden half*, Waisel Y., Eshel A. and Kafkafi U. (eds), Dekker M, New York. Pp: 948.
- Klos K. L. E. and Brummer E. C. 2000. Response of six alfalfa populations to selection under laboratory conditions for germination and seedling vigor at low temperatures. *Crop Science*. 40: 959-964.
- Kumar A.; Verulkar S.; Dixit S.; Chauhan B. and Bernier J. 2009. Yield and yield-attributing traits of rice (*Oryza sativa L.*) under lowland drouht and suitability of early vigor as a selection criterion. *Field Crops Research*. Vol: 144 (1): 99-107.
- Lafitte, H. R. 2001. Mejoramiento para resistencia a los estreses abióticos. El maíz en los tropicos. *FAO Plant Production and Protection Series*. Publicado en internet, disponible en www.fao.org/docrep/003/x7650s/x7650s19.htm
- Lauer J. G., Carter P. R., Wood T. M., Diezel G., Wiersma D. W., and Mlynarek M. J. 1999. Corn hybrid response to planting date in the northern Corn Belt. *Agron. J.* 91: 834-839.
- Ludlow M. M. and Muchow R. C. 1990. A critical evaluation of trait for improving crop yields in water limited environments. *Advances in Agronomy* 43(1): 107-153.
- Martin B. A., Smith O. S. and O' Neil M. 1988. Relationship between laboratory germination test and field emergence of maize inbreds. *Crop Science*. 28: 801-805.

- Mc Donald M. B. 1980. Assessment of seed quality. *HortScience* 15: 784-788.
- Mihura E. J. 2008. Calidad fisiológica de semillas de maíz en relación con la emergencia a campo en siembras tempranas en la zona núcleo maicera argentina. Tesis Magister en Ciencias Agropecuarias. Mención Tecnología de Semillas. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina, 57 pp.
- Mirabilio V., D'Andrea K. E., Otegui M. E., Cirilo A. G. y Eyherabide G. H. 2010. Variabilidad genotípica en líneas endocriadas recombinantes de maíz: I- Estudio de la heredabilidad para los determinantes ecofisiológicos del rendimiento. IX Congreso Nacional de Maíz, Simposio Nacional de Sorgo, Rosario, Santa Fe, Argentina. PP.: 353-355.
- Mock J. J. and Bakri A. A. 1976. Recurrent selection for cold tolerance in maize. *Crop Science*. 16: 230-233.
- Mock J. J. and McNeill M. J. 1979. Cold tolerance of maize inbred lines adapted to various latitudes in North America. *Crop Sci*. 19: 239-242.
- Möckel, F. E. 1976. Determinación del vigor de plántula en maíz por la prueba del Cloruro de Amonio. Suplemento Maíz. IDIA N° 33. Pag: 255-257.
- Mroginski E., Eyherabide G. y Toledo M. 2010. Germinación de diferentes genótipos de maíz a bajas temperaturas. Publicación. IX Congreso Nacional de Maíz, Simposio Nacional de Sorgo, Rosario, Santa Fe, Argentina. PP.: 347-349.
- Murcia M.L. 2003. Evaluación del vigor en semillas de girasol (*Helianthus annuus L.*) cultivares "Alto Oleico". Respuesta a la baja temperatura. Tesis Magister en Ciencias Agropecuarias. Mención Tecnología de Semillas. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina, 67 pp.
- Palmieri E., D'Andrea K. E., Otegui M. E., Cirilo A. G. y Eyherabide G. H. 2010. Variabilidad genotípica en líneas endocriadas recombinantes de maíz: II- Estudio de la heredabilidad para los determinantes numéricos del rendimiento. IX Congreso Nacional de Maíz, Simposio Nacional de Sorgo, Rosario, Santa Fe, Argentina. Pp: 358-360.
- Peretti, A., 1994. Manual Para Análisis de Semillas. Editorial Hesmiferio Sur. Argentina. 1ra. Ed. Bs. As. Pp. 273.
- Perry D. A. 1984. Report of the vigour test committee 1980-1983. *Seed Science and Technology*. 12: 287-299.
- Peter R., Eschholz T. W., Stamp P. and Liedgens M. 2009. Swiss Flint maize landraces – A rich pool of variability for early vigor in cool environments. *Field Crop Research*. 110 : 157-166.
- Presterl T., Ouzunova M., Schmidt W., Möller E., Röber F., Knaak C., Ernst K., Westhoff P. and Geiger H. 2007. Quantitative trait loci for early plant vigour of maize grown in chilly environments. *Theor. Appl. Genet*. 114: 1059-1070.
- Rawson H. M. 1986. Gas Exchange and Growth in Wheat and Barley Grown in Salt. *Australian Journal of Plant Physiology*. CSIRO. Vol: 13 (4): 475-489.
- Revilla P. and Trazy W. F. 1995. Morphological Characterization and Classification of Open-pollinated Sweet Corn Cultivars. *J. Amer. Soc. Hor. Sc.* 120 (1): 112-118.

- Revilla P., Butrón A., Malvar R. A. and Ordás A. 1999. Relationships among Kernel Weight, Early Vigor, and Growth in Maize. *Crop Sci.* 39:654-658.
- Revilla P., Malvar R. A., Cartea M.E., Butrón A. and Ordás A. 2000. Inheritance of cold tolerance at emergence and during early season growth in maize. *Crop Sci.* 40:1579-1585.
- Shah Faward S., Watson Clarence E. and Cabrera Edgar R. 2002. Seed Vigor Testing of Subtropical Corn Hybrids. Research Report. Vol. 23, N° 2: 1-5.
- Sharp R. E., Kuhn-Silk W. and Hsiao T. C. 1988. Growth of the maize primary root at low water potentials. *Plant Physiology.* 87: 50-57.
- Simon E. W. and Meany A. 1965. Utilization of Reserves in Germinating Phaseolus Seeds. *Plant Physiology.* 40: 1136-1139.
- Somers, D. A; Ullrich, S. E and Ramsay M. F. 1983. Sunflower germination under simulated drought stress. *Agronomy Journal.* Vol. 75: 570-572.
- Tekrony D. M., Egli D. B. and Wickham D. A. 1989. Corn Seed Vigour effect on no tillage field performance: I. Field Emergence. 29: 1523-1528. II: Plant Growth and Grain Yield. 29: 1528-1531. *Crop Science.*
- Teng S. 1990. Grain characteristics and seedling vigor in rice (*Oryza sativa* L.). Master Science Thesis. Univ. of Philipines, Los Baños, Philippines, 105pp.
- Teruel, M. E., Biasutti C. A., Nazar M. C. y Peiretti D. A., 2008. Efectos de aptitud combinatoria para vigor de plántula bajo estrés hídrico en maíz. *Agriscentia.* Vol. XXV (1): Pp: 27-34.
- Thill D. R., Schirman R. and Appleby A. 1979. Osmotic stability of mannitol and polyethyleneglicol 20,000 solutions used as seed germination media. *Agron. J.* 71: 105-108.
- Trachsel S., Messmer R., Stamp P., Ruta N. and Hund A. 2010. QTLs for early vigor of tropical maize. *Mol. Breeding* 25: 91-103.
- Trapani N. and Gentinetta E. 1984. Screening of maize genotypes using drought tolerance tests. *Maydica* 29: 89-100.
- Trawatha, S. E.; Steiner, J. J. and Bradford, K. J. 1990. Laboratory Vigor test used to predict seedling field emergence performance. *Crop Science.* 30: 713-717.
- Turner N. C. and Nicholas M. E. 1988. En: *Drought Tolerance in Winter Cereals*, Srivastava J., Portceddu E., Acevedo E. and Barma S. (eds). Wiley, Chicester, England. Pp: 203-216.
- Vartanian N. 1981. Some aspects of structural and functional modifications induced by drought in roots systems. *Plant Soil.* 63: 83-92.
- Willenborga C. J., Wildemanc J. C., Millerb A. K., Rosnageld B. G. and Shirliffeb S. J. 2005. Oat germination characteristics differ among genotypes, seed sizes and osmotic potentials. *Crop Sci.* 45: 2023-2029.

CAPÍTULO III

ANÁLISIS DE LOS EFECTOS DE APTITUD COMBINATORIA Y RECÍPROCOS EN CARACTERES RELACIONADOS AL VIGOR TEMPRANO Y AL RENDIMIENTO.

INTRODUCCIÓN

En los programas de mejoramiento genético es importante el vigor inicial de la semilla y de la plántula para asegurar la germinación, la emergencia y desarrollo inicial de la planta (Cervantes Ortiz *et al.*, 2007).

Como se mencionó en el capítulo anterior, la importancia de la caracterización del vigor mediante variables que permitan su evaluación y posterior inferencia sobre el comportamiento potencial de híbridos a laboratorio y a campo, conduce no sólo a su análisis fenotípico sino también al comportamiento genotípico para poder comprender la influencia genética de los distintos materiales en sus diferentes combinaciones híbridas.

El Análisis Dialélico es un método eficiente tanto, para el estudio de la aptitud combinatoria de líneas parentales como para conocer la acción génica que gobierna los caracteres cuantitativos bajo consideración en un programa de mejora genética (Hariprasanna *et al.*, 2007). En el análisis dialélico se introducen los conceptos de Aptitud Combinatoria General (ACG) y Aptitud Combinatoria Específica (ACE) (Sprague y Tatum, 1942). La ACG está asociada con genes aditivos en sus efectos, mientras que, la ACE es atribuida principalmente, a desviaciones de los modelos aditivos causada por efectos de dominancia y epistasia (Rojas y Sprague, 1952). En tal sentido, el conocimiento de la habilidad combinatoria, el tipo de acción génica responsable en la regulación de la expresión de caracteres cuantitativos de vigor en maíz y la identificación de los genotipos híbridos, serían de sumo interés en la planificación de estrategias de mejoramiento genético a los fines de lograr incrementos en la calidad de los cultivares obtenidos.

En especies como el maíz, en la cual el objetivo del mejoramiento es el desarrollo de líneas endocriadas para la producción de híbridos, el conocimiento de los efectos génicos que rigen determinado carácter es crucial para determinar la modalidad de

selección más eficiente a ser utilizada en los programas de mejora genética de cultivares (Teruel *et al.*, 2008).

Se han realizado trabajos de investigación acerca de la acción génica de caracteres cuantitativos bajo condiciones de frío, sin embargo son escasos los que examinaron la genética del vigor temprano en profundidad bajo condiciones de estrés hídrico.

De los estudios realizados en maíz, algunos autores sostienen que el vigor de plántula en líneas endogámicas de maíz está determinado principalmente por los efectos de ACG, aunque los efectos de ACE y los ER (Efectos Recíprocos) también fueron importantes (Revilla *et al.*, 1999). Otros, han observado que la varianza de dominancia determina caracteres de calidad fisiológica de la semilla, y la varianza aditiva influye sobre los caracteres de tipo agronómico, aunque aún no se ha encontrado asociación entre las variables de calidad de semilla y las agronómicas (Cervantes Ortiz *et al.*, 2007). Ajala y Fakorede (1988), reportaron efectos de genes aditivos y no aditivos para el vigor inicial de plántula y rendimiento de grano en líneas de maíz con diferentes niveles de endogamia, y a su vez, demostraron una correlación inconsistente entre caracteres de plántula y planta adulta.

Pruebas de laboratorio a bajas temperaturas para estimar los efectos génicos que rigen la tolerancia del maíz en este tipo de estrés, fueron desarrolladas por Maryan y Jones (1983), a través de las cuales determinaron que el comportamiento de los híbridos podía ser predicho a partir de las líneas parentales. Del mismo modo, Teruel *et al.* (2008), indicaron que los caracteres asociados al vigor de plántula de maíz en condiciones limitantes de humedad en pruebas de laboratorio, estuvieron gobernados mayoritariamente por efectos aditivos. Por otro lado, Hodges *et al.* (1997) y Mc Connell y Gardner (1979) demostraron que la germinación y el crecimiento de las plántulas están regidos por diferentes factores génicos, tanto aditivos como no aditivos, lo que indica que no es posible pronosticar certeramente el comportamiento de los híbridos a partir del conocimiento de la respuesta de las líneas parentales. Así mismo, también se han realizado pruebas a campo para estimar los efectos génicos que rigen la tolerancia del maíz en condiciones de bajas temperaturas, observándose que los efectos aditivos y los recíprocos son ambos significativos (Revilla *et al.* 1999).

En especies como maní (*Arachis hypogaea* L.) se realizaron estudios similares que indagaron sobre la acción génica de caracteres relacionados a la calidad de semillas. Por un lado, Hariprasanna *et al.* (2007) hallaron que la expresión de la mayoría de los caracteres cualitativos como porcentaje de desgrane, peso de 100 cajas, peso de 100 semillas, germinación por conteo a los 7 días y cantidad de semillas maduras están regulados predominantemente por acción génica aditiva; sugiriendo la posibilidad de efectuar selección en generaciones tempranas, mientras que los efectos no aditivos juegan un rol igualmente importante en el control, por ejemplo, del tamaño de la semilla.

En función de lo mencionado anteriormente, se puede inferir que aún no existe información suficiente ni consistente sobre los efectos de aptitud combinatoria y efectos recíprocos para vigor de plántula bajo estrés hídrico en condiciones controladas de laboratorio conjuntamente con la evaluación del vigor temprano en experimentos de campo en caracteres de planta adulta, incluyendo el rendimiento. Por ello, la cuantificación de efectos aditivos, dominantes y recíprocos para vigor temprano permitirá conocer el tipo de acción génica gobernante para los caracteres fisiológicos y de calidad en maíz e identificar genotipos promisorios para el uso como parentales en mejoramiento para el incremento en la calidad y cantidad de semillas. Al mismo tiempo, se favorecerá la elección de los criterios de selección más adecuados en los programas de mejoramiento genético en maíz.

Objetivo Específico

Estimar los efectos de Aptitud Combinatoria General (ACG), de Aptitud Combinatoria Específica (ACE) y los efectos recíprocos (ER) para vigor evaluado en laboratorio bajo prueba de estrés hídrico y a campo, incluyendo el rendimiento.

MATERIAL Y MÉTODOS

Tanto el Material Biológico utilizado, como las evaluaciones en Laboratorio y a Campo ya fueron descritas en el Capítulo II del presente trabajo de tesis.

Se trae a referencia las variables evaluadas en el Capítulo II:

Bajo estrés hídrico:

- Porcentaje de Germinación ajustado al Porcentaje con el test de Germinación estándar (PG).
- Longitud de la parte aérea de la plántula (LPA) en milímetros.
- Longitud de raíz primaria de la plántula (LR) en centímetros.
- Peso seco de plántulas (PS) en gramos.

Evaluación a campo:

- Emergencia de las plantas EAC1 (Emergencia a Campo a los 12 días desde la siembra) y EAC2 (a los 19 días desde la siembra) en número de plantas emergidas por parcela.
- Vigor al estado de 5 (V5) y 7 (V7) hojas mediante una escala visual de 1 a 5 (1: pobre, 5: excelente) por parcela evaluando uniformidad en la emergencia, apariencia y altura de las plantas.
- Altura de plantas ALT 1 (a los 23 días desde la siembra) y ALT 2 (a los 30 días desde la siembra) en centímetros.
- Peso seco de planta PSPTA a los 40 días desde la siembra (V5), sobre una muestra de 5 plantas por repetición. Los datos se expresaron en gr de materia seca/planta.
- Se crearon Índices de vigor (IV1 e IV2) relacionando los caracteres de V (Vigor 1 y 2) y ALT (altura de planta 1 y 2) resultante del producto entre la variable Vigor (en escala visual de 1-5) y la Altura de planta.
- La EF (Elongación Foliar) como la diferencia entre los caracteres de ALT2 – ALT1 en centímetros.

- El Rendimiento fue calculado expresando el valor en qq/ha ajustado al 14% de humedad.

Análisis Estadístico

Para el análisis estadístico de los datos de las variables evaluadas (en laboratorio y a campo) se utilizaron los resultados obtenidos del Análisis de la Varianza Univariado citado en el capítulo 2 del presente trabajo (Infostat 2010). Luego, utilizando el Programa Diallel-SAS (Zhang y Kang, 2003), la variación debida a las cruza simples (F1) se particionó en efectos de ACG, ACE y Efectos Recíprocos (ER) de acuerdo a un modelo de efectos fijos con el método III, modelo 1, de Griffing (1956) para cruza dialélicas para determinar el comportamiento genético de las variables de vigor y rendimiento.

Por otro lado se realizó un análisis de correlación de Pearson entre los efectos de ACE para los caracteres asociados al vigor temprano en maíz (laboratorio y campo) y los valores fenotípicos de rendimiento de los híbridos a campo en condiciones de secano, con el fin de visualizar la posible tendencia de predicción de comportamiento de las cruza simples a través de las variables de vigor. Para este análisis se consideraron particularmente los efectos de ACE, ya que predicen mejor la performance de los híbridos respecto a los efectos de ACG. Esto es, debido a que los efectos de ACE no están afectados por el comportamiento de las líneas parentales y que al mismo tiempo las posibles correlaciones con el RTO que involucran la respuesta diferencial de las líneas endocriadas ante condiciones de estrés hídrico, conduce que las estimaciones sobre los efectos de ACG sean erráticas e inconsistentes (Betrán *et al.*, 2003).

RESULTADOS

En Laboratorio:

En la Tabla 3.1 se muestra la existencia de diferencias altamente significativas entre los híbridos para las variables PG y PS. Se detectaron, a su vez, diferencias significativas para los efectos de ACG en caracteres como PG, LR y PS y para los efectos de ACE sólo en PS. Los ER fueron significativos para PG y PS.

De acuerdo a Baker (1978), para el modelo fijo de análisis de la varianza de cruzamientos dialélicos, la proporción de ACG en relación a la ACE se puede calcular mediante la relación $ACG/(ACG+ACE)$. Los valores de esta proporción para las variables PG, LR y PS fueron 59,2%, 64,6% y 42,7% respectivamente, indicando que la tolerancia de los híbridos a condiciones de estrés hídrico en laboratorio asociada a los caracteres de PG y LR estuvo controlada principalmente por acción génica aditiva, sin embargo para PS el control genético fue predominantemente de dominancia.

La variable LPA no presentó significancia para los valores de cuadrados medios de las fuentes de variación analizadas.

Tabla 3.1. Análisis de la varianza de 20 cruza dialélicas incluyendo recíprocos, de 5 líneas endocriadas de maíz para Porcentaje de Germinación, Longitud de Raíz principal, Longitud de la Parte Aérea y Peso Seco de plántulas, de acuerdo al Método III, Modelo 1 de Griffing (1956).

FUENTE DE VARIACIÓN	G.L.	PG	LR	LPA	PS
HIBRIDOS	19	846,57**	2,88 ns	1,87 ns	0,107**
ACG	4	854*	6,35*	2,15 ns	0,1154**
ACE	5	588,38 ns	3,47 ns	1,31 ns	0,155**
EFFECTO RECIPROCO	10	972,69**	1,2 ns	2,04 ns	0,0797**
ERROR	61	296,77	1,86	1,7	0,0027
PROPORCIÓN ACG/ACE (%)		59,2	64,6		42,7

Referencias

G.L.: grados de libertad. ACG: Aptitud Combinatoria General. ACE: Aptitud Combinatoria Específica. PG: Porcentaje de Germinación. LR: Longitud de Raíz principal. LPA: Longitud de la Parte Aérea. PS: Peso Seco de plántulas.

*, ** Significativo a 0,05 y 0,01 nivel de probabilidad, respectivamente. n.s: No significativo.

En la tabla 3.2. se observa que la línea C4F exhibió valores altamente significativos ($P < 0,01$) y positivos de efectos de ACG para los caracteres PG y LR y negativos para PS. La línea L71 mostró valores negativos para LR y PS, siendo significativos ($P < 0,05$) en la primera y altamente significativos ($P < 0,01$) en la segunda. Por último, las líneas C4A y L83 tuvieron efecto altamente significativo de ACG ($P < 0,05$) para PS; sin embargo la primera mostró influencia significativa y negativa respecto del PG bajo estrés hídrico.

La línea L3 no mostró significancia en los valores de cuadrados medios para ninguna de las variables evaluadas a laboratorio.

Tabla 3.2. Efectos de aptitud combinatoria general para Porcentaje de Germinación, Longitud de Raíz principal, Longitud de la Parte Aérea y Peso Seco de plántulas, de acuerdo al Método III, Modelo 1 de Griffing (1956).

LÍNEAS	PG	LR	LPA	PS
C4F	8,34**	0,75**	0,23 ns	-0,08**
L71	-0,2 ns	-0,51*	-0,46 ns	-0,05**
C4A	-6,3*	-0,08 ns	0,29 ns	0,03**
L83	3,04 ns	-0,4 ns	-0,06 ns	0,09**
L3	-4,88 ns	0,24 ns	-0,006 ns	0,0003 ns

Referencias

PG: Porcentaje de Germinación. LR: Longitud de Raíz principal. LPA: Longitud de la Parte Aérea. PS: Peso Seco de plántulas.

*, ** Significativo a 0,05 y 0,01 nivel de probabilidad, respectivamente. n.s: No significativo.

En la tabla 3.3. se observó que para la variable PS fueron importantes y altamente significativos tanto los efectos de ACE (F1) como los ER (excepto para las cruzas C4FxL3 y C4AxL3). Sólo las cruzas simples C4FxL71, L71xL3 y C4AxL83 contribuyeron a incrementar dicha variable mientras que, por el contrario, el resto de las cruzas la disminuyeron. Los ER, además de ser significativos para las cruzas C4FxL3, L71xC4A, L71xL83 y C4AxL83 no mostraron comportamientos diferentes respecto de las cruzas simples, indicando que los roles maternos no son importantes para lograr altos valores de PS en las plántulas evaluadas en laboratorio.

Por otra parte, en la variable PG los ER fueron más importantes que los efectos de ACE, y se pudo detectar que la línea L83 funcionó mejor como madre por incrementar la variable PG en las cruzas en las cuales interviene, seguida por la línea C4A. Asimismo, para el caso de la variable LPA, la línea C4A también mostró efectos significativos y positivos cuando se la utilizó como madre. En PS, la línea L83 actuando como progenitor femenino en la crusa específica con la línea C4A, presentó efectos altamente significativos y positivos para dicha variable (Tabla 3.3).

La existencia de efectos recíprocos para las características PG y PS demuestra la existencia de efectos maternos en la expresión de estos caracteres y la importancia de la selección parental en el mejoramiento genético.

Tabla 3.3. Efectos de aptitud combinatoria específica y Efectos recíprocos (ER) para Porcentaje de Germinación, Longitud de Raíz principal, Longitud de la Parte Aérea y Peso Seco de plántulas, de acuerdo al Método III, Modelo 1 de Griffing (1956).

HÍBRIDOS	PG		LR		LPA		PS	
	F1	E. R.	F1	E.R.	F1	E.R.	F1	E.R.
C4F x L71	-2,04 ns	20,54**	-0,55 ns	0,33 ns	-0,24 ns	0,51 ns	0,11**	0,01 ns
C4F x C4A	9,8*	17,72**	0,89**	0,5 ns	0,49 ns	0,88**	-0,05**	0 ns
C4F x L83	-2,25 ns	11,33**	0,11 ns	0,48 ns	0,04 ns	0,65 ns	-0,08**	0,01 ns
C4F x L3	-5,51 ns	5,1 ns	-0,45 ns	0,45 ns	-0,29 ns	0,42 ns	0,02 ns	-0,04**
L71 x C4A	0,85 ns	9,12*	-0,3 ns	0,53 ns	-0,25 ns	0,82**	-0,14**	-0,03**
L71 x L83	4,7 ns	12,36**	0,46 ns	-0,45 ns	0,37 ns	-0,29 ns	-0,05**	-0,04**
L71 x L3	-3,5 ns	0,71 ns	0,38 ns	0,15 ns	0,12 ns	0,29 ns	0,07**	-0,01 ns
C4A x L83	-11*	-5,88 ns	-0,62 ns	-0,28 ns	-0,42 ns	0,1 ns	0,2**	0,31**
C4A x L3	0,4 ns	-5,95 ns	0,03 ns	0,03 ns	0,17 ns	-0,17 ns	-0,02 ns	0,001 ns
L83 x L3	8,61*	4,3 ns	0,04 ns	0,34 ns	-0,0008 ns	-0,11 ns	-0,07**	0,002 ns

Referencias

F1: Efectos de ACE. E.R: Efectos Recíprocos.

PG: Porcentaje de Germinación. LR: Longitud de Raíz principal. LPA: Longitud de la Parte Aérea. PS: Peso Seco de plántulas.

*, ** Significativo a 0,05 y 0,01 nivel de probabilidad, respectivamente. n.s: No significativo.

A campo:

En las tablas 3.4 y 3.5 se observó que las diferencias entre los híbridos experimentales fueron altamente significativas para todas las variables evaluadas (EAC1, V1, IV1, PSPTA, EAC2, V2, IV2, ALT1, ALT2, EF Y RTO); lo que pone de manifiesto la existencia de variabilidad genética entre los híbridos experimentales para los caracteres en estudio.

En cuanto a los efectos de ACG y ACE, se observó la importancia de los efectos aditivos y no aditivos en la expresión de los caracteres evaluados a campo, excepto para variables: V2, IV2, ALT2 y EF (Tabla 3.4 y 3.5).

Se detectaron diferencias altamente significativas para los efectos de ACG en las variables V1, PSPTA y EAC2, mientras que para los efectos de ACE se destacaron las variables EAC1, V1, IV1, PSPTA, ALT1 y RTO. De acuerdo a Baker (1978) en el modelo fijo de análisis de la varianza de cruzamientos dialélicos, la proporción de ACG en relación a la ACE mostró que los valores de esta proporción para los caracteres EAC1, V1, IV1, PSPTA, EAC2, ALT1 y RTO fueron 19,4%, 64,5%, 41,7%, 54,7%, 63,6%, 47,6% y 12% respectivamente; indicando que las variables asociadas al vigor temprano a campo en maíz -bajo condiciones de secano- estuvieron gobernadas tanto por acción génica aditiva (V1, PSPTA y EAC2) como no aditiva (EAC1, IV1, ALT1 y RTO).

Cabe destacar que las variables V2, IV2, ALT2 y EF no presentaron valores de ACG y ACE significativos para los híbridos experimentales evaluados (Tabla 3.5).

Los ER fueron altamente significativos para la totalidad de los caracteres a campo, indicando la importancia de los roles maternos en la selección parental de las líneas en los cruzamientos para híbridos simples de maíz (Tabla 3.4 y 3.5).

Tabla 3.4. Análisis de varianza de 20 cruzas dialélicas, incluyendo recíprocos, de 5 Líneas endocriadas de Maíz para Emergencia a Campo a los 12 días desde la siembra, Vigor en escala visual 1-5 en estado V5, Índice de vigor 1, Peso Seco de Planta y Emergencia a Campo a los 19 días desde la siembra, de acuerdo al Método 3, Modelo 1 de Griffing (1956).

FUENTE DE VARIACIÓN	G.L.	EAC 1	V 1	IV 1	PSPTA	EAC 2
HIBRIDOS	19	19,91**	0,71**	643,95**	0,0000066**	15,16**
ACG	4	4,43 ns	0,6**	242,97 ns	0,0000046**	20,44**
ACE	5	18,36*	0,33**	338,77*	0,0000038**	11,67 ns
EFECTO RECÍPROCO	10	26,87**	0,95**	956,92*	0,0000087**	14,8**
ERROR	23	5,3	0,07	114,38	0,0000005	4,48
PROPORCIÓN ACG/ACE (%)		19,4	64,5	41,7	54,7	63,6

Referencias

G.L.: grados de libertad. ACG: Aptitud Combinatoria General. ACE: Aptitud Combinatoria Específica. EAC1: Emergencia a Campo a los 12 días. V1: Vigor en escala visual 1-5 en estado V5. IV1: Índice de vigor 1. PSPTA: Peso Seco de Planta. EAC2: Emergencia a Campo a los 19 días.
*, ** Significativo a 0,05 y 0,01 nivel de probabilidad, respectivamente. n.s: No significativo.

Tabla 3.5. Análisis de varianza de 20 cruzas dialélicas, incluyendo recíprocos, de 5 Líneas endocriadas de Maíz para Vigor en escala visual 1-5 en estado V7, Índice de vigor 2, Altura de planta a los 23 días desde la siembra, Altura de planta a los 30 días desde la siembra, Elongación Foliar y Rendimiento, de acuerdo al Método 3, Modelo 1 de Griffing (1956).

FUENTE DE VARIACIÓN	G.L.	V 2	IV 2	ALT 1	ALT 2	EF	RTO
HIBRIDOS	19	1,79*	1378,55**	1,13**	9,54**	6,22*	572,33**
ACG	4	1,11 ns	1135,11 ns	0,83*	7,02 ns	6,12 ns	122,28 ns
ACE	5	0,63 ns	649,56 ns	0,93**	3,44 ns	2,32 ns	900,77**
EFECTO RECÍPROCO	10	2,65**	1840,42**	1,36**	13,6**	8,11*	588,14*
ERROR	23	0,74	479,91	0,24	2,86	2,6	200,42
PROPORCIÓN ACG/ACE (%)				47,6			12

Referencias

G.L.: grados de libertad. ACG: Aptitud Combinatoria General. ACE: Aptitud Combinatoria Específica. V2: Vigor en escala visual 1-5 en estado V7. IV2: Índice de vigor 2. ALT1: Altura de planta a los 23 días. ALT2: Altura de planta a los 30 días. EF: Elongación Foliar. RTO: Rendimiento.
*, ** Significativo a 0,05 y 0,01 nivel de probabilidad, respectivamente. n.s: No significativo.

Aptitud Combinatoria General:

En las tablas 3.6 y 3.7 se presentaron los resultados de los efectos de ACG para las variables evaluadas a campo. Se observó que la línea C4A mostró efectos altamente significativos y positivos de ACG para los caracteres V1 y ALT1, y negativos para IV2; mientras que la línea L83 mostró efectos negativos para V1, IV1 y PSPTA. La línea L3 exhibió efectos significativos y positivos para V1, PSPTA, EAC2 e IV2, lo que denotó una contribución positiva al comportamiento promedio en dichas variables en las cruzas en las que interviene. La línea C4F sólo produjo efectos negativos en lo que respecta a variables PSPTA, ALT1 y ALT2; al igual que la línea L71 que influye desfavorablemente en EAC2, sin embargo, esta última contribuye significativamente con incrementos en el PSPTA de las plantas en las primeras etapas de desarrollo del cultivo a campo.

Cabe destacar que, para las variables EAC1, V2, EF y RTO las líneas no presentaron efectos significativos de ACG, lo cual indica que la selección durante la endocria de las líneas parentales no sería efectiva para dichas variables.

Tabla 3.6. Efectos de Aptitud Combinatoria General para Emergencia a Campo a los 12 días desde la siembra , Vigor en escala visual 1-5 en estado V5, Índice de vigor 1, Peso Seco de Planta, Emergencia a Campo a los 19 días desde la siembra, de acuerdo al Método 3, Modelo 1 de Griffing (1956).

LÍNEAS	EAC 1	V 1	IV 1	PSPTA	EAC 2
C4F	0,18 ns	0,063 ns	1,34 ns	-0,00059**	0,87 ns
L71	-0,98 ns	-0,07 ns	-3,62 ns	0,00067**	-1,47**
C4A	0,02 ns	0,21**	3,72 ns	0,00026 ns	-0,72 ns
L83	0,1 ns	-0,35**	-5,78*	-0,00073**	-0,47 ns
L3	0,68 ns	0,15*	4,34 ns	0,00039*	1,78**

Referencias

EAC1: Emergencia a Campo a los 12 días. V1: Vigor en escala visual 1-5 en estado V5. IV1: Índice de vigor 1. PSPTA: Peso Seco de Planta. EAC2: Emergencia a Campo a los 19 días.

*, ** Significativo a 0,05 y 0,01 nivel de probabilidad, respectivamente. n.s: No significativo.

Tabla 3.7. Efectos de Aptitud Combinatoria General para Vigor en escala visual 1-5 en estado V7, Índice de vigor 2, Altura de planta a los 23 días desde la siembra, Altura de planta a los 30 días desde la siembra, Elongación Foliar y Rendimiento, de acuerdo al Método 3, Modelo 1 de Griffing (1956).

LÍNEAS	V 2	IV 2	ALT 1	ALT 2	EF	RTO
C4F	0,03 ns	4,63 ns	-0,38**	-1,08**	-0,7 ns	-5 ns
L71	0,2 ns	-1,12 ns	0,09 ns	0,67 ns	0,57 ns	0,39 ns
C4A	-0,38 ns	-11,7*	0,35**	-0,46 ns	-0,81 ns	3,67 ns
L83	-0,22 ns	-5,53 ns	-0,02 ns	0,19 ns	0,21 ns	1,4 ns
L3	0,37 ns	13,72**	-0,03 ns	0,68 ns	0,72 ns	-0,47 ns

Referencias

V2: Vigor en escala visual 1-5 en estado V7, IV2: Índice de vigor 2. ALT1: Altura de planta a los 23 días. ALT2: Altura de planta a los 30 días. EF: Elongación Foliar y RTO: Rendimiento.

*, ** Significativo a 0,05 y 0,01 nivel de probabilidad, respectivamente. n.s: No significativo.

Aptitud Combinatoria Específica y Efectos Recíprocos:

La mayoría de las cruzas simples exhibieron efectos de ACE significativos para los diferentes caracteres cuantitativos evaluados a campo (Tabla 3.8, 3.9, 3.10).

En la Tabla 3.8 se observó que, para la variable EAC1 cuatro cruzas tuvieron efectos altamente significativos ($P < 0,01$), de las cuales se destacan C4FxL71 y L83xL3 porque mostraron efecto positivo; mientras que las cruzas C4FxL3 y L71xL83 tuvieron efectos negativos para dicha variable. Los efectos recíprocos calculados mostraron que para EAC1 los estimados de siete cruzas fueron altamente significativos. Las cruzas que involucran a la línea C4F presentaron altos valores de EAC1 cuando dicha línea participó en los cruzamientos; mientras que las cruzas recíprocas de las líneas C4A y L71 disminuían los valores promedios de EAC1 respecto a sus cruzas simples. Esto implica que, los roles maternos de las líneas L83 y L3 influyen en forma negativa y la línea C4A en forma positiva sobre dicha variable.

En el caso de V1, las cruzas simples C4FxL71 y C4AxL83 tuvieron efectos de ACE positivos y significativos, contrariamente a lo observado para las cruzas C4FxL3, L71xC4A y L71xL83 que mostraron significancia negativa, por lo que estos

cuatro híbridos no resultaron favorecidos en los incrementos del V1 en etapas tempranas a campo. Para IV1, fueron obtenidas cuatro cruzas simples con valores de ACE altamente significativos, donde sólo la craza C4FxL71 mostró un valor positivo respecto del resto de las cruzas (Tabla 3.8).

Los ER, además de ser relevantes y significativos en ambas variables (V1 e IV1), no mostraron comportamientos diferentes al de las cruzas simples; es decir que los roles maternos no son importantes para lograr altos valores de V1 e IV1 en las plantas, a excepción de las cruzas específicas C4FxL3 y C4FxL71, donde el aporte de los progenitores femeninos L3 y L71 es notable en el incremento de estas variables a campo.

En cuanto a la variable PSPTA la mayoría de las cruzas fueron significativas respecto de ACE, sin embargo, sólo tres tuvieron efecto positivo (C4FxL3, L71xL83 y C4AxL83). Así mismo, los efectos recíprocos fueron también importantes para todas las cruzas híbridas evaluadas. Las líneas L83 y L3 utilizadas como madres disminuyeron el PSPTA en las cruzas en las que intervinieron; a excepción de los híbridos C4FxL83, C4FxL3 y L71xL3 donde los efectos del rol materno de estas líneas tornaron positivos los valores de dicha variable. Así mismo, el resto de las líneas evaluadas (C4A y L71) incrementaron el PSPTA de las plantas cuando participaron en el rol materno de las cruzas (Tabla 3.8).

Tabla 3.8. Efectos de Aptitud Combinatoria Específica y Efectos Recíprocos para Emergencia a Campo a los 12 días desde la siembra, Vigor en escala visual 1-5 en estado V5, Índice de vigor 1 y Peso Seco de Planta, de acuerdo al Método 3, Modelo 1 de Griffing (1956).

HÍBRIDOS	EAC 1		V 1		IV 1		PSPTA	
	F1	E. R.	F1	E.R.	F1	E.R.	F1	E.R.
C4F x L71	2,12**	1,25*	0,39**	-0,4**	12,37**	-3,62 ns	-0,00042*	0,0004*
C4F x C4A	-0,12 ns	2,5**	-0,14*	0,15*	-3,08 ns	10,5**	-0,00041*	0,0008*
C4F x L83	0,79 ns	2**	-0,07 ns	0,65**	0,04 ns	18,62**	-0,00027 ns	0,0016**
C4F x L3	-2,79**	4**	-0,17**	0,75**	-9,33**	25,37**	0,0011*	0,00085**
L71 x C4A	-0,46 ns	1 ns	-0,26**	0,1 ns	-7,5**	4,87 ns	-0,00042*	0,00045*
L71 x L83	-2,54**	-5,5**	-0,19**	-0,9**	-7,25**	-27,87**	0,00056**	-0,00375**
L71 x L3	0,87 ns	-0,5 ns	0,06 ns	-0,15*	2,37 ns	-4,12 ns	0,00029 ns	0,0004*
C4A x L83	0,21 ns	-2,25**	0,27**	-0,35**	5,42 ns	-14,37**	0,00097**	-0,00045*
C4A x L3	0,37 ns	-1,5**	0,12 ns	-0,5**	5,17 ns	-15,75**	-0,00014 ns	-0,00045*
L83 x L3	1,54**	0,75 ns	-0,01 ns	0 ns	1,79 ns	2,37 ns	-0,0012**	-0,00165**

Referencias

F1: Efectos de ACE. E.R: Efectos Recíprocos.

EAC1: Emergencia a Campo a los 12 días desde la siembra. V1: Vigor en escala visual 1-5 en estado V5.

IV1: Índice de vigor 1. PSPTA: Peso Seco de Planta.

*, ** Significativo a 0,05 y 0,01 nivel de probabilidad, respectivamente. n.s: No significativo.

En la tabla 3.9 se pudo observar que los efectos no aditivos de EAC2 fueron altamente significativos y positivos para las cruzas simples C4FxL71 y C4AxL83; sin embargo para C4FxL83 y L71xL83 los efectos fueron negativos. Cuatro cruzas mostraron valores significativos en sus efectos recíprocos, destacando que dos de ellas (C4FxC4A y C4FxL83) denotan el rol materno de la línea C4F en el incremento de dicha variable. Mientras tanto, otras dos cruzas L71xL83 y C4AxL83 resultaron disminuidas en sus valores promedios por influencia de la línea L83 en la expresión de la EAC2.

La variable V2 mostró una marcada ausencia de efectos de ACE para las cruzas evaluadas, sin embargo, los efectos recíprocos fueron altamente significativos y positivos para cuatro cruzas (C4FxC4A, C4FxL83, C4FxL3 y L71xC4A). Por el contrario, las cruzas L71xL83 y C4AxL3 tuvieron un efecto recíproco significativo y negativo para la manifestación del carácter (Tabla 3.9).

En la variable IV2 sólo tres cruzas tuvieron efectos de ACE significativos, siendo positivos para las cruzas C4FxL71 y L83xL3, y negativos para C4FxL83. Al igual que para

V2, los efectos recíprocos del IV2 fueron importantes destacando que en la cruza simple C4FxL83, la cual presentó efectos de ACE negativos, la línea L83 se impone en su rol materno por su efecto recíproco altamente significativo (Tabla 3.9).

Tabla 3.9. Efectos de Aptitud Combinatoria Específica y Efectos Recíprocos para Emergencia a Campo a los 19 días desde la siembra, Vigor en escala visual 1-5 en estado V7, Índice de vigor 2 y Altura de planta a los 23 días desde la siembra, de acuerdo al Método 3, Modelo 1 de Griffing (1956).

HÍBRIDOS	EAC 2		V 2		IV 2		ALT 1	
	F1	E.R.	F1	E.R.	F1	E.R.	F1	E.R.
C4F x L71	2**	0,75 ns	0,42 ns	0,5 ns	14,96**	14,5**	0,04 ns	-0,42**
C4F x C4A	-0,25 ns	1,25*	0,25 ns	1,25**	4,54 ns	30,5**	-0,29*	0,8**
C4F x L83	-1,25*	2**	-0,42 ns	1,25**	-12,87**	32,25**	-0,02 ns	0,35**
C4F x L3	-0,5 ns	0,5 ns	-0,25 ns	1**	-6,62 ns	23,75**	0,27*	0,83**
L71 x C4A	-0,67 ns	0,5 ns	-0,17 ns	1**	-4,96 ns	19,25**	-0,11 ns	0,2 ns
L71 x L83	-1,67**	-5,25**	-0,08 ns	-0,75**	-7,37 ns	-32**	-0,33**	-0,78**
L71 x L3	0,33 ns	-0,5 ns	-0,17 ns	-0,25 ns	-2,62 ns	-7 ns	0,4**	0,18 ns
C4A x L83	1,83**	-1,5**	0 ns	-0,25 ns	5,71 ns	-10,5*	0,71**	0,5**
C4A x L3	-0,92 ns	-0,5 ns	-0,08 ns	-0,75**	-5,3 ns	-17,25**	-0,31*	-0,06 ns
L83 x L3	1,08 ns	0,25 ns	0,5*	0 ns	14,54**	2,25 ns	-0,36**	0,91**

Referencias

F1: Efectos de ACE. E.R: Efectos Recíprocos.

EAC2: para Emergencia a Campo a los 19 días. V2: Vigor en escala visual 1-5 en estado V7. IV2: Índice de vigor 2. ALT1: Altura de planta a los 23 días.

*, ** Significativo a 0,05 y 0,01 nivel de probabilidad, respectivamente. n.s: No significativo.

En las Tablas 3.9 y 3.10, se observó que en las variables ALT1 y ALT2 los efectos recíprocos han sido más importantes que los efectos de ACE. Así, para ambas, se detectó que los híbridos C4FxL3 y C4AxL83 mostraron efectos de ACE significativos y positivos para incrementos en la altura de plantas a los 30 días desde la siembra a campo; sin embargo, las cuatro cruza CF4xC4A, L71xL83, C4AxL3 y L83xL3 exhibieron efectos negativos en ALT1. En cuanto a los ER, las variables ALT1 y ALT2 mostraron significancia para siete cruza, en las cuales las líneas L3 y L83 contribuyeron a incrementar la altura cuando participaron como progenitores femeninos, a excepción de la cruza L71xL83 y C4AxL3 para ALT2 particularmente. Es importante destacar que, la línea L83 correspondiente a la cruza C4FxL83 en su rol materno incrementa la ALT2 contrario a los efectos que se muestran en la ACE. De la misma manera, dos cruza

C4FxC4A, L83xL3 y C4FxL83 tuvieron efectos recíprocos contrarios a los de ACE indicando que las líneas maternas C4A, L3 y L83 imponen su rol en el aumento de altura de las plantas a los 23 y 30 días desde la siembra.

Tabla 3.10. Efectos de Aptitud Combinatoria Específica y Efectos Recíprocos para Altura de planta a los 30 días desde la siembra, Elongación Foliar y Rendimiento, de acuerdo al Método 3, Modelo 1 de Griffing (1956).

HÍBRIDOS	ALT 2		EF		RTO	
	F1	E. R.	F1	E. R.	F1	E. R.
C4F x L71	0,56 ns	-1,12**	0,52 ns	-0,7 ns	-8,05*	1,24 ns
C4F x C4A	-0,71 ns	3,17**	-0,42 ns	2,37**	-6,88 ns	0,65 ns
C4F x L83	-0,89*	2,3**	-0,87*	1,95**	-7,06 ns	-23,67**
C4F x L3	1,04*	2,33**	0,77 ns	1,49**	22**	17,44**
L71 x C4A	-0,08 ns	1,45**	0,02 ns	1,26**	12,53**	1,95 ns
L71 x L83	0,03 ns	-2,82**	0,36 ns	-2,04**	0,54 ns	11,54**
L71 x L3	-0,51 ns	-0,32 ns	-0,9*	-0,51 ns	-5,02 ns	6,81 ns
C4A x L83	1,09**	-0,4 ns	0,38 ns	-0,89*	8,92*	13,15**
C4A x L3	-0,3 ns	-1,2**	0,01 ns	-1,13 ns	-14,57**	-12,82**
L83 x L3	-0,23 ns	0,42 ns	0,13 ns	-0,48 ns	-2,4 ns	9,11 ns

Referencias

F1: Efectos de ACE. E.R: Efectos Recíprocos.

ALT2: Altura de planta a los 30 días. EF: Elongación Foliar. RTO: Rendimiento.

*, ** Significativo a 0,05 y 0,01 nivel de probabilidad, respectivamente. n.s: No significativo.

Efectos significativos negativos de ACE fueron detectados para la variable EF exhibidos sólo por las cruzas C4FxL83 y L71xL3 contrastando con los ER en donde se destacaron seis cruzas, cuatro de las cuales mostraron efectos positivos cuando las líneas C4A, L83 y L3 estuvieron presentes. Las dos cruzas restantes con efectos recíprocos negativos, involucran a la línea L83 como progenitor femenino, lo cual indica que su aporte en las cruzas no favorecerá la elongación foliar de las plantas a campo (Tabla 3.10).

Por último, para la variable rendimiento se observó marcados efectos tanto de ACE como recíprocos destacando las cruzas C4FxL3, L71xC4A, L71xL83 y C4AxL83 como indicadoras de altos rendimientos con las líneas descritas en sus respectivos roles maternos (Tabla 3.10).

Hasta aquí los resultados obtenidos, en función del análisis genético y los caracteres evaluados en este capítulo, mostraron la importancia de efectos de ACE en el conjunto de líneas utilizadas en condiciones de campo, a diferencia de los ensayos de laboratorio donde predominaron los efectos de ACG. A éstos se suman los coeficientes de correlación de Pearson presentados en la Tabla 3.11, con el fin de evaluar la tendencia de asociación entre los estimados de ACE para caracteres de vigor, tanto para laboratorio como a campo, y el RTO en condiciones de secano:

Tabla 3.11. Coeficientes de correlación del Rendimiento de las F1 y los valores de ACE de los caracteres de plántula a laboratorio y caracteres de planta en etapas tempranas a campo para las variables Porcentaje de Germinación, Peso Seco de plántulas, Emergencia a Campo a los 12 días desde la siembra, Índice de vigor 1, Peso Seco de Planta y Altura de planta a los 23 días desde la siembra.

	RTO	PG	PS	EAC1	IV1	PSPTA	ALT1
RTO	1						
PG	-0,25 ns	1					
PS	0,16 ns	-0,45 ns	1				
EAC1	-0,2 ns	0,22 ns	-0,08 ns	1			
IV1	-0,04 ns	0,13 ns	-0,02 ns	0,92**	1		
PSPTA	0,36 ns	-0,11 ns	0,15 ns	0,49*	0,59**	1	
ALT1	0,2 ns	-0,26 ns	0,42 ns	0,48*	0,55**	0,46*	1

Referencias

*, ** Significativo a 0,05 y 0,01 nivel de probabilidad, respectivamente. n.s.: No significativo.

Se evidencia que los efectos de ACE de los caracteres evaluados a laboratorio no se relacionaron con el RTO a campo de las cruzas híbridas evaluadas, dado que los coeficientes de correlación son no significativos. Sin embargo, se observó que los efectos de ACE del IV1 se relacionaron en forma positiva y altamente significativa con los efectos de emergencia a campo a los 12 días desde la siembra (EAC1), el peso seco de planta (PSPTA) y la altura medida a los 23 días después de la siembra (ALT1). También se apreció una correlación significativa y positiva entre EAC1 con el PSPTA y ALT1 como así también, entre el PSPTA y ALT1 en etapas tempranas a campo, lo cual evidenció una asociación directa entre los efectos génicos de los caracteres relacionados al vigor temprano en maíz; no así de éstos con el RTO.

DISCUSIÓN

Las diferencias altamente significativas encontradas en el presente trabajo para PG y PS entre los híbridos evaluados en laboratorio corroboran la existencia de variación genética para vigor de plántulas en maíz, tal como lo explican reportes previos de Fakorede y Ojo (1981).

La significancia estadística encontrada de la ACG y ACE indicó en que existieron efectos génicos aditivos y dominantes involucrados en el vigor de la plántula, como lo indicaron Ajala y Fakorede (1988) en maíz y Cho y Scott (2000) en soja.

Varios investigadores estudiaron la emergencia y vigor de plántulas en laboratorio desde el punto de vista agronómico y genético en forma conjunta. Encontraron que, los efectos aditivos fueron más importantes que los efectos de dominancia para los caracteres de germinación y vigor de plántula bajo condiciones de frío (Haskell y Singleton, 1949; Ventura, 1961; Grogan, 1970; Eagles, 1982; Ajala y Fakorede, 1988); como así también se reportaron efectos recíprocos significativos en este tipo de caracteres (Eagles, 1982).

Según estudios de Revilla *et al.* (1999), el vigor de plántula en líneas endogámicas de maíz está determinado principalmente por los efectos de ACG, aunque los efectos de ACE y ER también son significativos. De la misma manera, los efectos de ACG encontrados en el presente trabajo para cruzas simples y recíprocas, fueron predominantes sobre los efectos de ACE para caracteres de vigor de plántula evaluados a laboratorio bajo estrés hídrico. Coincidentemente con estos resultados, Moreno-Gonzalez (1988) no encontró efectos de ACE para el vigor inicial de plántula en maíz y además, Ajala y Fakorede (1988), Revilla *et al.*, (1999) y Antuna *et al.* (2003) señalaron que los efectos aditivos fueron más importantes que los no aditivos para seleccionar caracteres de vigor de plántula.

Estas consideraciones también concuerdan con lo determinado por Revilla *et al.* (2000), Eagles (1982); Ajala y Fakorede (1988), quienes llegaron a la conclusión que el comportamiento de los híbridos de maíz para porcentaje de germinación y vigor en bajas temperaturas puede ser predicho a partir de los padres; los efectos aditivos resultaron más importantes para la regulación genética de la tolerancia a estrés tanto bajo sequía a campo como en bajas temperaturas a laboratorio. Richards (2000) expresó que los caracteres

relacionados con la fotosíntesis (área específica de la hoja, contenido de clorofila y eficiencia del mecanismo del fotosistema II) fueron cruciales para un alto vigor temprano, rápido cierre de canopia y establecimiento de las plantas. Asimismo, Trachsel *et al.* (2010) encontraron que, una buena performance fotosintética y un rápido desarrollo de hojas, fueron indicadores importantes del crecimiento temprano vigoroso. Consideraron, además, la importancia de la identificación de QTLs para fotosíntesis II (PSII), contenido de clorofila de la hoja (SPAD) y área específica de hoja (SLA) relacionados al vigor temprano de las plántulas. Estos loci actuarían como promotores del rápido establecimiento y son factores que influenciarían la posterior performance de las plantas a campo, lo que podría ser usado para mejorar el vigor temprano de los cultivares.

Estudios más actuales como los de Teruel *et al.* (2008), quienes trabajaron con caracteres similares a los evaluados en este trabajo, indicaron que las variables relacionadas al vigor de plántula en maíz como el PG (porcentaje de germinación), LPA (longitud de la parte aérea de la plántula), LRP (longitud de la raíz principal), NRS (número de raíces secundarias) y RR (radio radical) bajo condiciones limitantes de humedad, estuvieron controlados principalmente por efectos aditivos; aunque sus efectos no aditivos también fueron importantes, sobre todo para la variable longitud de coleoptilo. Sin embargo, este reporte difiere de lo observado en el presente estudio, ya que para las variables LPA y LR las diferencias entre los híbridos resultaron no significativas, pero los efectos génicos de ACG coinciden para todos los demás caracteres analizados (PG, LR y PS).

Por otra parte, existe discrepancia con lo reportado por Anja *et al.* (2010) en lo que respecta al carácter longitud de la raíz de las plántulas (LR), ya que ellos indicaron que el rol que cumple el desarrollo temprano del sistema radical de la plántula fue clave en la manifestación de la heterosis, lo cual se tornó crucial en la determinación del vigor temprano de las plántulas. Un incremento en la longitud de raíz, además de la densidad de raíces laterales y el número de raíces seminales, podría contribuir significativamente al vigor temprano de las plántulas y además proveer a los híbridos de un avance sobre el análisis de las plántulas de las líneas endocriadas homocigotas. Estas afirmaciones difieren de los resultados aquí obtenidos, ya que para la variable LR se demostró que no sería necesario evaluar los híbridos experimentales debido a que la misma, está controlada

básicamente por acción génica aditiva. Sin embargo, estos autores sostienen que la heterosis no es sólo observada en caracteres de planta adulta como el rendimiento o altura de planta, sino que se detecta durante el desarrollo del embrión y de la plántula asegurando que varios caracteres de raíz en plántula, que incluyen longitud de raíz primaria y densidad de raíces adventicias muestran signos de heterosis.

No obstante, Guo *et al.* (2006) indicaron la existencia tanto, de expresión genética no aditiva como aditiva en caracteres de raíz. Mientras que, Ruta *et al.* (2009), afirmaron que los cambios en la arquitectura de las raíces y el mantenimiento del crecimiento de la raíz en suelos con déficit hídrico, son caracteres claves para la adaptación del maíz a ambientes con sequía. Para su evaluación, utilizaron PEG 8000 y simularon el estrés hídrico evaluando líneas endocriadas tolerantes y susceptibles. Sus resultados indicaron que en las líneas tolerantes, la longitud de las raíces axilares se incrementó linealmente, mientras que la longitud de la raíz lateral aumentó en forma exponencial. El mapeo genético realizado posteriormente mostró que los loci QTLs para tasa de elongación de raíces axilares respondió más claramente al estrés hídrico que la longitud de raíz; entonces concluyeron que algunos loci podrían tener efectos pleiotrópicos sobre caracteres relacionados con el rendimiento bajo estrés hídrico. Esto último se contradice con lo obtenido en este estudio, si se tienen en cuenta los resultados de correlación obtenidos y citados en el capítulo 2, donde se demostró que no existe asociación entre la longitud de la raíz en situaciones de estrés hídrico y el posterior rendimiento real de los híbridos a campo en seco como así también, los efectos génicos encontrados tampoco lo demostraron.

A pesar de ello, los efectos heteróticos fueron reportados también para varias especies de plantas por ejemplo en arroz, trigo sorgo, algodón, maíz, girasol y tomate (Duvick, 1999), como también para varios caracteres por ejemplo biomasa, tamaño, rendimiento, resistencia a pestes (enfermedades e insectos) y tolerancia a estrés abiótico. El mayor grado de heterosis puede ser observado para caracteres en planta adulta (Falconer y Mackay, 1996), indicando además que la misma puede ser detectada durante estadios tempranos del embrión y en el desarrollo de las plántulas (Hoecker *et al.*, 2006). A diferencia de estos reportes, aquí se asociaron los efectos de dominancia a etapas tempranas del desarrollo del cultivo a campo y también al rendimiento obtenido.

En cuanto a experimentos bajo condiciones de campo, los resultados encontrados en este trabajo aseguran que los efectos de ACE tuvieron más relevancia que los efectos de ACG para caracteres de planta joven en condiciones de secano a campo. Sin embargo, los resultados de efectos génicos citados en este estudio son contrarios a los de Cervantes Ortiz *et al.* (2007), quienes indicaron que la varianza de dominancia predomina en caracteres de plántula como PG, vigor inicial, índice de vigor y altura de plántula; no así para caracteres de planta adulta donde detectaron que la varianza aditiva fue mayor. Además, encontraron que la ALT de planta presentó varianza aditiva, en contraposición con lo observado en este trabajo donde existió predominancia de los efectos de ACE.

Por otro lado, Edmeades *et al.* (1994) sostienen que la elongación foliar (EF) es un carácter relacionado con el vigor a campo de la plántula y puede ser utilizada para clasificar por tolerancia a la sequía en los cereales. La selección de líneas parentales con mayor EF a campo llevó a obtener híbridos con un mayor crecimiento de la parte aérea en condiciones de estrés hídrico en PEG (Sánchez *et al.*, 1993; Revilla y Trazy, 1995), siendo la EF un carácter útil en la tolerancia a sequía en maíz. El comportamiento de la variable EF evaluada en el presente estudio no tuvo significancia para ningún efecto génico en particular, sin embargo, se detectaron diferencias significativas entre los híbridos experimentales como así también en los efectos recíprocos.

Según los resultados obtenidos de efectos de ACE para RTO se observó que éstos eran altamente significativos tal como lo señalan los reportes de Betrán *et al.* (2003). Sin embargo, ellos consideraron que los valores negativos obtenidos de ACE para RTO en sus estudios son a causa del cruzamiento de líneas con el mismo germoplasma de origen (tropical o templado), lo contrario se observó en este trabajo donde no necesariamente las cruas provenientes del mismo germoplasma mostraron el mismo signo (positivo o negativo) en los valores de ACE. Hallauer y Miranda (1988) avalan lo antedicho y sostienen que la performance de las líneas endocriadas parentales de maíz no predicen el comportamiento de los híbridos en cuanto a rendimiento en grano indicando además que la heterosis de las cruas simples sería importante y podría maximizar la eficiencia de la performance de los híbridos en los programas de mejoramiento genético (Betrán *et al.*, 2003).

Por otra parte, se observó que varios reportes asocian al RTO con variables de vigor, detectando una relación entre tamaño de mazorca y el desarrollo temprano de las plantas de maíz (Hawkins y Cooper, 1979; Derieux *et al.*, 1989; Pommel, 1990; Bockstaller y Girardin, 1994). Sin embargo, Hawkins y Cooper (1979) encontraron efectos significativos entre el tamaño de la mazorca y el crecimiento de la planta durante el período heterotrófico, pero este efecto desapareció luego del período de floración. Según los resultados obtenidos en el análisis del capítulo 2, el rendimiento no tuvo asociación significativa respecto de alguna variable de vigor medida en laboratorio en estado heterotrófico de las plántulas y además los efectos génicos encontrados son muy diferentes a los observados luego en condiciones de campo.

Por otra parte, Jorg Leipner *et al.* (2008) identificaron regiones genómicas de maíz asociadas con caracteres morfo-fisiológicos al momento de floración y cosecha y sus relaciones con loci (QTLs) de caracteres cuantitativos de fotosíntesis identificados previamente para las mismas plantas en estadios de plántula sometidas a estrés por enfriamiento. En estos ensayos encontraron un efecto pleiotrópico sobre determinados cromosomas, los cuales revelaron que una buena performance fotosintética de las plántulas bajo condiciones cálidas, lo que tendría un efecto benéfico sobre la altura de planta y la conversión en biomasa a cosecha. Sin embargo, la alta tolerancia al enfriamiento por parte de las plántulas tuvo un efecto negativo e insignificante sobre el rendimiento, coincidiendo con los resultados obtenidos en el capítulo anterior.

Por su parte, Revilla *et al.* (1999) detectaron la existencia de efectos de ACG para caracteres de planta como vigor temprano, días a floración y altura de planta; excepto para peso seco de planta. A su vez, los mismos caracteres, excepto peso de mazorca, tuvieron efectos de ACE significativos como así también Efectos Recíprocos para vigor temprano, días a floración y peso de mazorca. En consecuencia, las líneas endocriadas de maíz productoras de mazorcas más pesadas, podrían ser usadas como parentales en la producción de semillas para obtener híbridos con mejor vigor temprano y días a floración más tardíos. Además indicaron un mayor avance genético al seleccionar combinaciones de híbridos específicos para vigor inicial de plántula en maíz, que seleccionando líneas en base sólo a efectos de ACG. Estos resultados coinciden parcialmente a los del presente estudio, ya que se encontraron efectos altamente significativos de ACG, ACE y ER para

variables de vigor temprano a campo como ALT1, PSPTA y V1 y no significativos para V2. Esto indica que la selección para una mayor ganancia genética dependerá, no sólo de la mejora en ambas líneas parentales, sino también, en la evaluación de las cruzas híbridas para dichos caracteres, teniendo en cuenta la posibilidad de encontrar diferencias entre los materiales debido a los roles maternos presentes en las líneas a la hora de realizar los cruzamientos.

En USA se realizaron investigaciones en especies como *Trifolium ambiguum* respecto de la posibilidad de obtener cultivares superiores en cuanto a persistencia, vigor de planta, capacidad de desarrollo y rendimiento en semillas poniendo de manifiesto la existencia de acción génica aditiva para lograr hacer más eficiente el proceso de selección (Heatchcliffe y Kenneth, 2010).

En general, el éxito del desarrollo de maíces híbridos dependió de la capacidad del programa de mejoramiento de encontrar, en primer lugar, líneas que rápidamente se combinen bien en cruzas híbridas y, en segundo lugar, identificar adecuadamente combinaciones heteróticas que maximicen el vigor del híbrido (Kim y Ajala, 1996). Gómez *et al.* (1988) y Reyes *et al.* (2004) señalaron que la cruza simple tendrá alto valor de ACE si al menos una de sus líneas es de alta ACG. Sin embargo, en este estudio no necesariamente las líneas con alta ACG produjeron buenas combinaciones híbridas para caracteres de plántula y de planta adulta, en concordancia con los hallazgos obtenidos por Cervantes Ortiz *et al.* (2007). Por tal motivo, se deduce que son importantes tanto los avances en la selección entre combinaciones híbridas específicas para vigor temprano a campo, como así también la selección de líneas basadas sólo en los efectos de ACG en condiciones de laboratorio en prueba de vigor bajo estrés hídrico en PEG 8000.

En cuanto a los ER, Cervantes Ortiz *et al.* (2007) observaron que los ER del Vi (Vigor inicial de plántulas) se relacionaron con los ER de porcentaje de emergencia, índice de vigor y altura de plántula. Esto sugiere que las líneas endogámicas con buen vigor inicial de plántula, tienen potencial para usarlas como progenitores femeninos en la producción de semilla híbrida con el fin de generar semilla vigorosa (alto índice de vigor inicial (IVI), porcentaje de emergencia (PE) y altura de planta (APL). En los resultados de la presente investigación, la existencia de efectos recíprocos significativos probó que, para

las características de PG, PS y todas las variables de campo evaluadas, existieron efectos maternos en la expresión de estos caracteres y por lo tanto se resalta la importancia de la selección parental en el mejoramiento de la calidad de los cultivares en laboratorio al igual que a campo en etapas tempranas. Otros trabajos consultados como los de Garet (1976) y Vindhiyavarman (2000, 2001) probaron que los efectos recíprocos significativos son importantes en la expresión del rendimiento en vainas y otros caracteres de importancia económica en especies como el maíz.

En función del análisis genético realizado y considerando los antecedentes mencionados, los resultados encontrados en este estudio muestran similitud con los obtenidos por Eagles, (1982), Ajala y Fakorede (1988), Revilla *et al.* (1999), Antuna *et al.* (2003), y Teruel *et al.* (2008) con respecto al comportamiento aditivo de las variables de vigor evaluadas en plántula. Al mismo tiempo, los Efectos Recíprocos observados coinciden con estudios realizados por Vindhiyavarman (2000, 2001), Hariprasanna *et al.* (2007) y Cervantes Ortiz *et al.* (2007). En cambio, las diferencias encontradas con los autores podrían deberse tanto a los diferentes materiales genéticos utilizados, como a las condiciones ambientales a las cuales estuvieron expuestos además de la metodología aplicada en el análisis de las variables asociadas al vigor temprano.

Existe actualmente un fuerte interés por parte de los fitomejoradores en predecir la performance agronómica de un híbrido a partir de información genotípica. La asociación observada en el análisis de correlación de Pearson entre los efectos de ACE de los caracteres relacionados al vigor temprano y los rendimientos reales obtenidos de los híbridos a campo en seco, no mostró evidencia de predicción. Se puede afirmar entonces, que no existe una asociación entre el comportamiento no aditivo de los caracteres relacionados al vigor temprano en maíz con los rendimientos obtenidos a campo; esto indicaría que, la tendencia a obtener altos rendimientos en los híbridos a partir de experimentos de vigor en laboratorio bajo estrés hídrico y determinaciones de vigor a campo en etapas tempranas no resulta consistente. Sin embargo, Betrán *et al.* (2003) demostraron que el RTO en grano de híbridos de maíz tropicales se correlacionó positivamente con sus efectos de ACE en valores superiores a $r: 0,56$ para los diferentes ambientes de evaluación.

Por otro lado, se obtuvieron valores de correlación significativos para los efectos de ACE entre caracteres de vigor temprano a campo tales como el IVI con EAC1 (emergencia a campo a los 12 días desde la siembra) y el PSPTA (peso seco de planta) con la ALT1 (altura medida a los 23 días después de la siembra), los cuales se mostraron positivos. Además existió correlación entre la EAC1 con el PSPTA y la ALT1, al mismo tiempo que entre el PSPTA y ALT1. Los estudios realizados por Cervantes Ortiz *et al.* (2007) coinciden parcialmente, demostrando que los efectos de ACE del vigor inicial (vigor a escala visual a los 40 días) se relacionan positivamente con los efectos de ACE para caracteres como porcentaje de emergencia a campo a los 9 días desde la siembra, índice de vigor inicial (PE x ALT), altura de planta, el número total de hojas y la altura de la planta en madurez fisiológica. Los coeficientes de regresión lineal negativos que encontraron corresponden a la variable días al 50% de floración masculina y femenina.

Se puede deducir, por lo tanto, que el uso de cruza simples con alto índice de vigor temprano a campo se corresponde con híbridos de buena emergencia, peso seco y altura de planta. Sin embargo, la asociación entre los efectos de ACE de los caracteres de plántula y los de planta adulta resulta nula, tal como lo reportan trabajos de Fakorede y Ayoola (1980); Ajala y Fakorede (1988) que demostraron una baja correlación de efectos génicos en maíz.

CONCLUSIONES

De acuerdo al análisis genético realizado, la acción génica preponderante en la expresión de los caracteres de laboratorio como PG, LR y PS fue mayoritariamente aditiva; por lo tanto, será necesario mejorar o seleccionar el mismo carácter en las líneas parentales para lograr avances en la expresión genética, independientemente de la existencia del efecto recíproco.

La acción génica no aditiva, tuvo un rol igualmente importante en el control de la variable PS de las plántulas para los híbridos evaluados indicando que, además de ser fijada por selección en las líneas parentales, será necesario observar sus efectos en el

comportamiento de los híbridos en ensayos experimentales de laboratorio bajo estrés hídrico.

La existencia de efectos recíprocos altamente significativos observada tanto para PG como para PS, denota la importancia del rol materno de las líneas en la regulación de estos caracteres cuantitativos en la selección parental de las cruzas híbridas.

En cuanto a las variables de campo, VI, PSPTA y ALT1 son caracteres que están gobernadas tanto por efectos aditivos como no aditivos, aunque los dos primeros presentan valores de ACG más altos en comparación con los valores de ACE, mostrando a su vez una influencia importante de los efectos recíprocos; es decir, que la selección dependerá tanto de las características de las líneas parentales, como de los híbridos a evaluar para lograr fijar dichos caracteres.

Las variables EAC1, IV1 y RTO estuvieron gobernadas sólo por efectos de dominancia por lo que su evaluación será más eficiente en las cruzas híbridas. La EAC2 sólo admitió efectos aditivos en su expresión siendo posible entonces, predecir el comportamiento de los híbridos en base a los valores estimados de ACG de las líneas parentales en etapas tempranas a campo.

La línea C4A contribuyó en incrementos tanto del VI como de la ALT1 debido a sus efectos significativos de ACG y positivos de ER, esto indicaría que podría ser utilizada como progenitor materno en cruzas híbridas para incrementar el vigor de las plantas en etapas tempranas a campo como así también en el PG bajo condiciones de laboratorio. Al mismo tiempo, influyó en la obtención de rendimientos superiores con valores altamente significativos de ACE, cuando ésta intervino en cruzamientos con la línea L83.

Por último, los efectos génicos no aditivos (ACE) de los caracteres asociados al vigor temprano en maíz, no presentaron correlación significativa con los valores de rendimiento real de los híbridos evaluados en experimentos de campo en condiciones de secano.

BIBLIOGRAFÍA

- Ajala S. O. and Fakorede M. A. 1988. Inheritance of seedling-vigor and its association with mature plant traits in a population at two levels of inbreeding. *Maydica* 33: 121-129.
- Anja P., Caroline M., Nadine H. and Frank H. 2010. Molecular dissection of heterosis manifestation during early maize root development. Tuebingen, Germany: *Theor Appl Genet* . Vol 120: 383-388.
- Antuna G. O., Rincón F. S., Gutiérrez Del R E., Ruiz N. A. T. y Bustamante L. G. 2003. Componentes genéticos de caracteres agronómicos y de calidad fisiológica de semillas en líneas de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 26(1): 11-17.
- Baker R. J. 1978. Issues in diallel analysis. *Crop Science* 18: 533-536.
- Betrán F. J., Ribaut J. M., Beck D. y Gonzalez de León D. 2003. Genetic diversity, specific combining ability and heterosis in tropical maize under stress and no stress environments. *Crop Sci.* 43:797-806.
- Bockstaller C. and Girardin P. 1994. Effects of seed size on maize growth from emergence to silking. *Maydica* 39: 213-218.
- Cervantes Ortiz F., García De los Santos G., Carballo-Carballo A., Bergvinson D., Crossa J. L., Mendoza- Elos M. y Martínez-Moreno E. 2007. Herencia del vigor de plántula y su relación con caracteres de planta adulta en líneas endogámicas de maíz tropical. *Agriscientia*. Vol. 41: 425-433.
- Cho Y. and Scott R. A. 2000. Combining ability of seed vigor and seed yield in soybean. *Euphytica* 112: 145-150.
- Derieux M., Boardu R., Durburq J. B. e Boizard H. 1989. La crise de croissance de la plantule de maïs á basse temperature. *Agronomie* 9: 207-212.
- Duvick D. N. 1999. Heterosis: feeding people and protecting natural resources. En: *The genetics and exploitation of heterosis in crops*, Coors J.G. and Pandey S., (eds.). American Society of Agronomy, Crop Science Society of America and Soil Science Society of America. Pp. 19-29.
- Eagles H. A. 1982. Inheritance of emergence time and seedling growth at low temperatures in four lines of maize. *Theor. Appl. Genet.* 62: 81-87.
- Edmeades G. O., Lafitte H. R., Bolaños J., Chapman S. C., Bazinger M. and Deutsch J. A. 1994. Developing maize that tolerates drought or low nitrogen conditions. En: *Stress tolerance breeding: Maize that resists insects, drought, low nitrogen and acid soils*, Edmeades G. O. and Deutsch J. A. (eds.), CIMMYT, México. D. F, México, Pp: 21-84.
- Falconer D. S. and Mackay T. F. 1996. *Introduction to quantitative genetics*. 4th edn. Harlow. Logman.
- Fakorede M. A. B. and Ayoola A. O. 1980. Relationship between seedling vigor and selection for yield improvement in maize. *Maydica* 25: 135-147.

- Fakorede M. A. B. and Ojo D. K. 1981. Variability for seedling vigour in maize. *Exptal Agric.* 17: 195-201.
- Garet B. 1976. Heterosis and combining ability in groundnut (*Arachis hypogaea L.*). *Oleagineux.* 31: 435-442.
- Gómez M. N., Valdivia R. B. y Mejía A. H. 1988. Dialélico integrado con líneas de diferentes programas de maíz para la región cálida. *Rev. Fitotec. Mexico.* 11: 103-120.
- Griffing B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Aust. J. Biol. Sci.* 9:465-493.
- Grogan C. O. 1970. Genetic variability in maize (*Zea mays L.*) for germination and seedling vigor at low temperatures. En: Proc. 25 th Amu. Corn Sorghum Res. Conf., American Seed Trade Association, Sutherland J. L. and Falasca R. J. (eds.). Washington DC, Pp: 90-98.
- Guo M., Rupe M. A., Yang X. F., Crasta O., Zinselmeier C., Smith O. S. and Bowen B. 2006. Genome-wide transcript analysis of maize hybrids: allelic additive gene expression and yield heterosis. *Theor Appl Genet.* Vol 113: 831-845.
- Hallauer A. R. and Miranda J. B. 1988. *Quantitative Genetics in Maize Breeding.* Second Ed. Iowa State University Press. Ames, USA. 468p.
- Hariprasanna Chuni La K., Radhakrishnan T., Gor H. K. and Chikani B. M. 2007. Analysis of cross for some physical-quality traits in peanut (*Arachis hypogaea L.*). *Euphytica* 160: 49-57.
- Haskell G. and Singleton W. R. 1949. Use of controlled low temperature in evaluating the cold handliness of inbred and hybrid maize. *J. Am. Soc. Agron.* 41:34-40.
- Hawkins R. C. and Cooper P. J. M. 1979. Effects of seed size on growth and yield of maize in the Kenya highlands. *Exptal. Agric.* 15: 73-79.
- Heatchcliffe R. and Kenneth A. A. 2010. Registration of Kura 1 *Trifolium ambiguum* (M. Bieb) Germplasm. *Journal of Plant Registrations.* Vol. 4, N° 1: 80-85.
- Hodges D. M., Andrews C. J., Johnson D. A. and Halmilton R. I. 1997. Sensitivity of maize hybrids to chilling and their combining abilities two developmental stages. *Crop. Sci.* 37: 850-856.
- Hoecker N., Keller B., Piepho H. P. and Hochholdinger F. 2006. Manifestation of heterosis during early maize (*Zea mays L.*) root development. *Theor Appl. Genet.* 112: 421-429.
- InfoStat. 2010. InfoStat/Estudiantil, version 2010P. Estadística. Grupo InfoStat/F.C.A. Universidad Nacional de Córdoba. Ed. Brujas, Córdoba, Argentina.
- Leipner J., Jompuk C., Camp K., Stamp P. and Fracheboud Y. 2008. QTLs studies reveal little relevance of chilling-related seedling traits for yield in maize. *TAG. Theoretical and applied genetics.* *Theoretische und angewandte Genetik.* 116 (4): 62-555.
- Kim S. K. and Ajala S. O. 1996. Combining ability of tropical maize germplasm in West Africa. I: Open-pollinated varieties. *Maydica* 41: 127-134.

- Maryan B. D. and Jones A. 1983. The genetics of maize (*Zea mays L.*) growing at low temperatures. I. Germination of inbred lines and their F1s. *Euphytica* 32, 535-542.
- Mc Connell R. L. and Gardner C.O. 1979. Inheritance of several cold tolerance traits in corn. *Crop Sci.* 19: 847-852.
- Mc Donald M. B. 1975. A review and evaluation of seed vigor test. *Proceedings of the Association of Official Seed Analysts.* 65. Pp. 109-139.
- Moreno-Gonzalez J. 1988. Diallel crossing system in sets of flint and dent inbred lines of maize (*Zea mays L.*). *Maydica* 33: 37-49.
- Pommel B. 1990. Influence du poids de la semence et de la profondeur de semis sur la croissance et le développement de la plantule de maïs. *Agronomie* 10: 699-708.
- Revilla P. and Trazy W. F. 1995. Morphological Characterization and Classification of Open-pollinated Sweet Corn Cultivars. *J. Amer. Soc. Hor. Sc.* 120 (1): 112-118.
- Revilla P., Butrón A., Malvar R. A. and Ordás A. 1999. Relationships among Kernel Weight, Early Vigor, and Growth in Maize. *Crop Sci.* 39:654-658.
- Revilla P., Malvar R. A., Cartea M.E., Butrón A. and Ordás A. 2000. Inheritance of cold tolerance at emergence and during early season growth in maize. *Crop Sci.* 40:1579-1585.
- Reyes D. L., Molina J. D. G., Oropeza M. A. R. y Moreno E. C. P. 2004. Cruzas dialélicas entre líneas autofecundadas de maíz derivadas de la raza tuxpeño. *Rev. Fitotec. Mexico.* 27 (1): 49-56.
- Richards R. A. 2000. Selectable traits to increase crop photosynthesis and yield of grain crops. *J. Exp. Bot.* 51:447-458.
- Rojas B. A. and Sprague G. F. 1952. A comparison of various components in corn yield traits. General and specific combining ability and their interaction with locations and years. *Aronomy Journals* 44: 462-466.
- Ruta N., Liedgens M., Fracheboud Y., Stamp P and Hund A. 2009. QTLs for elongation of axile and lateral roots of maize in response to low water potential. *TAG Theoretical and Applied Genetics.* Vol. 120 (Nº 3): 621-631.
- Sánchez G. J. J., Goodman M. M. and Rawlings J. O. 1993. Appropriate characters for radical classification in maize. *Econ. Bot.* 47: 44-59.
- SAS Institute. 1996. SAS/STAT user's guide. Versión 6, 12th ed. SAS Institute Cary, NC, USA.
- Sprague G. F. and Tatum L. A. 1942. General vs. Specific combining ability in single cross of corn. *J. Am. Soc. Of Agron.* 34: 923-932.
- Teruel M. E., Biasutti C. A., Nazar M. C. y Peiretti D. A., 2008. Efectos de aptitud combinatoria para vigor de plántula bajo estrés hídrico en maíz. *Agriscientia.* Vol. XXV (1): Pp: 27-34.
- Trachsel S., Messmer R., Stamp P., Ruta N. and Hund A. 2010. QTLs for early vigor of tropical maize. *Mol. Breeding* 25: 91-103.
- Ventura Y. 1961. Inheritance studies of the cold test reaction of *Zea mays*. *Plant Breeding.* Abstract. 31: 416.

- Vindhiyavarman P. 2000. Combining ability estimates in groundnut (*Arachis hypogaea* L.). Madras Agric. J. 87: 462-466.
- Vindhiyavarman P. 2001. Genetic analysis of recovery percentage and maturity index in groundnut. Madras Agric. J. 88: 119-122.
- Zhang Y. and Kang M. S. 2003. Diallel-SAS: A program for Griffing's diallel methods. En: Handbook of Formulas and Software for Plant Geneticist and Breeders, Kang M. S. (ed). FPP. New York, London, Oxford. Pp: 1-9.

CONCLUSIONES GENERALES

En función de la hipótesis planteada, los objetivos propuestos y los resultados obtenidos se concluye que, la altura de planta a los 23 días desde la siembra (ALT1), resultó ser la mejor variable pronosticadora del RTO real en grano de los híbridos experimentales evaluados. Esto indica que resultaría adecuada la evaluación de los materiales genéticos para este carácter en las etapas tempranas del cultivo, ya que permite discriminar en forma anticipada aquellos híbridos experimentales que justifiquen ser evaluados y así poder pronosticar su rendimiento en grano.

Dicha variable, podrá ser seleccionada siempre y cuando se la evalúe durante la etapa de endocría entre y dentro de los materiales, como así también entre los híbridos, debido a que la misma está gobernada tanto por efectos génicos de aditividad como de dominancia. Por otra parte será necesario determinar qué línea, actuando como madre, contribuirá a incrementar en mayor medida dicho carácter, debido a que también se encuentra influenciada por efectos recíprocos.

Los avances alcanzados con el presente trabajo de investigación, permitirán contribuir a definir en forma temprana el RTO en grano, a través de su correlación con el carácter secundario ALT1, beneficiando en gran medida a los procesos de selección en los programas de mejoramiento genético, y lograr con ello una reducción en el tiempo y los recursos necesarios para la obtención de nuevos híbridos de maíz. De esta manera, se desprenden, a partir de esta investigación, líneas de trabajo que podrían estar encausadas en la evaluación de los mismos materiales genéticos pero en diferentes ambientes (años, localidades, fechas de siembra, diferentes alternativas de tratamientos considerando la simulación de estreses), para evaluar el vigor temprano y su relación con el rendimiento y así determinar el comportamiento de los híbridos como producto de la interacción genotipo x ambiente. Esto conduciría a una mejor predicción del rendimiento e incrementaría la eficiencia de selección aplicando correctos criterios en la elección de los genotipos en evaluación. Sería conveniente, además, la realización de un Análisis de QTL para el carácter ALT1 con el objetivo identificar regiones genómicas de maíz que codifiquen para

dicho carácter y posibilitar la unión a marcadores moleculares para realizar una selección asistida.

Otro aspecto a considerar, sería el estudio en profundidad acerca de la posible asociación entre el peso seco de las plántulas en laboratorio y el rendimiento, a la cual se arribó en el capítulo II y que merece especial atención para determinar su certeza en pos de la eficientizar la predicción del rendimiento de híbridos de maíz en forma temprana.

Los materiales que se destacaron por su buen comportamiento en los ensayos experimentales de laboratorio y de campo, deberían ser utilizados como material genético básico para promover su multiplicación y difusión. Se destaca, entre otros, la línea C4A que contribuyó a positivamente al VI y la ALT1 demostrando su capacidad (como progenitor femenino) de incrementar el vigor de las plantas en etapas tempranas a campo y en condiciones de laboratorio bajo estrés hídrico. Particularmente, en cruzamientos con la línea L83 influiría en la obtención de altos rendimientos en maíz.

Con estos aportes, los fitomejoradores podrán contar con una herramienta importante para el trabajo operativo de las áreas de control de calidad en las empresas y/o de mejoramiento genético, ya que la utilización de la misma permitirá la evaluación de los materiales genéticos anticipadamente, tornando de esta manera más eficiente al proceso de selección. Con ello se acortarán también los períodos de evaluación a campo, se disminuirá la superficie destinada para ensayos, se reducirán los gastos en insumos y mano de obra, como así también el tiempo requerido para cumplimentar con las tareas inherentes a la producción de semilla.

ANEXO I

**AUTOVALORES Y AUTOVECTORES DE LAS VARIABLES
OBTENIDAS DE UN ACP.**

OBETENIDAS EN LABORATORIO

Autovalores

<u>Lambda</u>	<u>Valor</u>	<u>Proporción</u>	<u>Prop. Acum.</u>
1	2,32	0,58	0,58
2	0,92	0,23	0,81
3	0,53	0,13	0,94
4	0,24	0,06	1,00

Autovectores

<u>Variables</u>	<u>e1</u>	<u>e2</u>
PG	0,52	-0,02
LR	0,57	0,21
LPA	0,58	0,24
PS	-0,26	0,95

Correlación cofenética= 0,950

OBETENIDAS A CAMPO

Autovalores

<u>Lambda</u>	<u>Valor</u>	<u>Proporción</u>	<u>Prop. Acum.</u>
1	6,70	0,61	0,61
2	1,60	0,15	0,75
3	0,93	0,08	0,84
4	0,70	0,06	0,90
5	0,40	0,04	0,94
6	0,32	0,03	0,97
7	0,18	0,02	0,99
8	0,15	0,01	1,00
9	0,01	5,1E-04	1,00
10	1,5E-03	1,4E-04	1,00
11	0,00	0,00	1,00

Autovectores

<u>Variables</u>	<u>e1</u>	<u>e2</u>
EAC 1	0,33	-0,21
VIGOR 1	0,33	-0,06
I VIGOR 1	0,35	-0,12
PSPSTA	0,27	0,17
EAC 2	0,30	-0,26
VIGOR 2	0,33	-0,05
I VIGOR 2	0,35	-0,13
ALT 1	0,21	0,51
ALT 2	0,33	0,33
EF	0,32	0,19
RINDE	-0,08	0,65

Correlación cofenética= 0,967