

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**Dirección de Investigación**

[www.uaa.mx](http://www.uaa.mx)



**AVANCES Y RESULTADOS  
DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN**

**2008**

**Segunda Edición  
Libro Electrónico**

**Buenvista, Saltillo, Coah., México, 2012**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**Dirección de Investigación**

*[www.uaaan.mx](http://www.uaaan.mx)*

**AVANCES Y RESULTADOS  
DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN**

**2008**

**Segunda Edición**

**Libro Electrónico**

**Edición a cargo de:**

**Miguel A. Estrada Villarreal**

**Ma. de Lourdes Villarreal Saucedo**

**Buenavista, Saltillo, Coah., México 2012**



Registro ISBN eb Trçamite



## **COMITÉ EDITORIAL**

Dra. Diana Jasso Cantú

Dr. José Eduardo García Martínez

M. C. Ricardo Cuellar Flores

Ing. Luis Muñoz Romero

M. C. Hilda Cecilia Burciaga Dávila

M. C. José Hugo Rancaño Arriola

### **Edición**

#### **Revisión, corrección y redacción**

M. C. Hilda Cecilia Burciaga Dávila

Lic. Gadi Berenice Hernández Sánchez

#### **Revisión, corrección y redacción de abstracts**

Lic. Luz Maria López Oalde

### **Diseño Gráfico**

Ing. Daniel Peña Reyna

## **DIRECTORIO**

**Dr. Jorge Galo Medina Torres**

Rector

**Dr. Carlos Javier de Luna Villarreal**

Secretario General

**Dra. Diana Jasso Cantú**

Directora de Investigación

**Dr. José Eduardo García Martínez**

Subdirector de Programación y Evaluación

**Ing. Luis Ángel Muñoz Romero**

Subdirector de Operación de Proyectos

**MC. Hilda Cecilia Burciaga Dávila**

Jefe del Departamento de Validación

**MC. Ricardo Cuéllar Flores**

Encargado del Área de Evaluación

**MC. Julio Gerardo Charles Cárdenas**

Jefe del Departamento de Proyectos Externos

**Presentación de la Segunda Edición  
de  
Avances y Resultados de Proyectos de Investigación en la UAAAN**

Bajo el título Avances y Resultados de Proyectos de Investigación la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por iniciativa de la Dirección de Investigación, presenta a la Comunidad Universitaria, y a la Comunidad Científica en general, esta Segunda Edición de los avances y resultados de la investigación científica que su Comunidad Académica ha venido realizando a partir del año 1991.

Estos resultados, publicados en ese lapso en discos compactos que, en su oportunidad tuvieron una distribución limitada, aparecen, en esta ocasión, unificados y estandarizados para su vista rápida en la web en forma de publicaciones digitales (PDF) adecuadas y formateadas para hacerlas accesibles a todo interesado, a través de la Internet, con independencia del sistema operativo o equipo de que se sirva el usuario.

Estas publicaciones contienen el acervo intelectual que resguarda el conocimiento y la experiencia acumulados a lo largo de casi dos décadas de quehacer científico en el que se cumple puntualmente la premisa contemplada en su Ley Orgánica de “Realizar investigación en las áreas de su competencia, cuyos resultados favorezcan al desarrollo sustentable –tecnológico, social, económico y ecológico del país–, atendiendo a las especificidades regionales”.

Debe recordarse que en la Universidad la función de investigación cumple el doble propósito de búsqueda y generación de conocimiento y tecnologías, y de instrumento de formación de recursos humanos pues la participación de los estudiantes en los proyectos de investigación es una política tradicional universitaria.

A partir de ésta reedición de los materiales mencionados la serie anual Avances y Resultados de Proyectos de Investigación se constituye en el vehículo oficial para publicar, en formato de libro electrónico (*e-book*), para su disseminación vía Internet, en el sitio Web de la Universidad, en la página de la Dirección de Investigación, los avances y resultados de la investigación científica institucional como material accesible de forma gratuita, que podrá consultarse, descargarse, o imprimirse como un todo o en partes por todo público ya que la experiencia ha demostrado que éstos materiales sirven no sólo a la Comunidad Académica, sino a muchos interesados en los temas que en ellos se manejan.

**ALMA TERRA MATER**

**MC. Alfredo Sánchez López  
Director de Investigación**



## **Nota de los Editores a la Segunda Edición**

Uno de los requisitos esenciales para la validación de la investigación científica es la publicación de sus resultados. El cumplimiento de esta premisa es hoy más fácil de cumplir que en épocas anteriores gracias a los recursos que proporcionan las actuales Tecnologías de información y Comunicación (TIC).

En este sentido, aunque las posibilidades son diversas, es necesario que para el mejor cumplimiento de este propósito la institución opte por la que con mayor eficacia y eficiencia permita una difusión lo más amplia y económica posible, así pues se ha descartado la utilización de publicar en procesadores y programas de presentaciones que requieren que los usuarios adquieran licencias de uso cuyo precio no siempre es accesible para todos, además de los inconvenientes que implica la diversidad de sistemas operativos, versiones, memoria y fuentes disponibles de una máquina a otra.

Surgida a principios de la década de los 90 la tecnología PDF (*Portable Document Format*) se ha ido perfeccionado a través de dos décadas hasta lograr un recurso difícil de igualar para la publicación e intercambio ágil y económica de materiales de todo tipo. A pesar de que tanto su desarrollo como su aceptación han sido lentos ya que no fue sino hasta 1999 cuando se logró estandarizar las características generales que hoy le dan su valor actual

PDF es un recurso muy versátil, amigable, gratuito, multiplataforma, ligero y funcional, accesible no solo desde una computadora personal sino en casi todo tipo de dispositivos móviles como iPod, tabletas e iPhones, y que permite visualizar los documentos con una apariencia siempre uniforme, fiel a la publicación original y que no varía ni en función del equipo que se visualice, ni de la plataforma que se utilice y ni siquiera de la versión en uso. Otra ventaja indudable del formato es que no es fácilmente alterable. Por otra parte cabe destacar que los costos de publicación por ejemplar, y los de distribución, son prácticamente nulos.

Finalmente este formato cuenta con robustas funciones de búsqueda que eliminan la necesidad de software adicional para este propósito ya que desde un archivo PDF se pueden realizar búsquedas dentro del mismo documento, dentro de una carpeta, dentro de todo un disco duro y, aun, dentro de todos los dispositivos de almacenaje de información conectados a una computadora o dispositivo, en un momento dado.

Los materiales objeto de este proyecto han sido formateados como libros digitales, susceptibles de ser impresos correctamente, respetando tapas, hojas en blanco, portadillas y distribución puntual de página izquierda y derecha, además, la información mínima requerida –actualizada– de identificación de cada publicación y localización de la Institución.

### **Los Editores**

**Miguel A. Estrada Villarreal**

**Ma. De Lourdes Villarreal Saucedo**



## Contenido

<b>Agronomía</b> .....	1
<b>Agricultura Sustentable</b> .....	2
<b>Digestibilidad <i>In vitro</i> de Alfalfa (<i>Medicago sativa L.</i>) Hidropónica</b> <b><i>In Vitro</i> Digestibility of Hydroponic Alfalfa (<i>Medicago sativa L.</i>)</b> <i>Jesús M. Fuentes Rodríguez, Manuel Torres Hernández, Lorenzo Suarez</i> <i>García, Fernando Ruíz Zarate, María Elena Murillo Soto, Benjamin Ortiz</i> <i>de La Rosa, Rodolfo Peña Oranday y Ramón García Castillo</i> .....	3
<b>Estabilidad y Estimación de ACG de Líneas de Maíz Basados en los Modelos SREG y AMMI</b> <b>Stability and Estimation of GCA of Maize Lines Based on AMMI and SREG Models</b> <i>Alfredo de la Rosa Loera, Humberto De León Castillo, Daniel Sámano</i> <i>Guarduño y Juan Espinosa Gutiérrez</i> .....	11
<b>Combinación de Estrategias Estadísticas para la Selección de Híbridos de Maíz</b> <b>Combination of Statistics Strategies for a Maize Hybrid Selection</b> <i>Beatriz Eugenia Treviño Cueto, Daniel Sámano Guarduño, Humberto De</i> <i>León Castillo, José Espinoza Velázquez, Raúl Gándara Huitrón y Graciela</i> <i>Vázquez Rosales</i> .....	20
<b>Maíz</b> .....	29
<b>Valoración Agronómica y Genética de Híbridos Triples de Maíz a través de Ambientes</b> <b>Agronomic and Genetic Assessment of Corn Hybrids there-way through Environments</b> <i>Daniel Sámano Guarduño, Humberto De León Castillo, Gustavo A. Burciaga</i> <i>Vera, María Elena González Guajardo, Alfredo De la Rosa Loera y Martha</i> <i>Jaramillo Sánchez</i> .....	30

<p><b>Análisis Dialélico Basado en Índices de Selección y Enfoque Biplot para Identificar Grupos y Patrones Heteróticos en Poblaciones de Maíz</b>  <b>Diallel Analysis Based on Selection Index and Approach Biplot to Identify Heterotic Groups and Patterns in Maize Populations</b>  <i>Humberto De León Castillo, Ricardo Cuellar Flores, Alfredo de la Rosa Loera, Daniel Sámano Garduño y Francisco Javier Cárdenas Flores</i> .....</p>	39
<p><b>Ensayo de Rendimiento de 50 Híbridos Experimentales de Maíz que Combinan Fuentes Germoplásmicas de UAAAN y CIMMYT</b>  <b>Yield Performance of 50 Experimental Maize Hybrids Which Combine CIMMYT and UAAAN Germplasm Sources</b>  <i>José Espinoza Velázquez, Daniel Sámano Garduño, Rubén Larios González Víctor Manuel González Vázquez, Gustavo A. Burciaga Vera y Hermes Rebolloza Hernández</i>.....</p>	49
<p><b>Características de Raíz en Plántulas y su Relación con la Producción de Plantas Adultas de Maíz Involucrando Poliembriónía</b>  <b>Seedling's Root Characteristics and their Relationship with Maize Plants Production, Polyembryony Included</b>  <i>José Espinoza Velázquez, José Manuel Alcalá Rodríguez, Daniel Sámano Garduño , Jesús Valdés Reyna, Humberto De León Castillo y Víctor Manuel González Vázquez</i>.....</p>	57
<p><b>Cereales</b> .....</p>	71
<p><b>Estabilidad del Rendimiento de Materia Seca de Líneas de Trigo Imberbe</b>  <b>Dry Matter Yield Stability in Awnless Wheat Lines</b>  <i>Víctor Manuel Zamora Villa, Modesto Colín Rico, María Alejandra Torres Tapia , Martha Alicia Jaramillo Sánchez</i>.....</p>	72
<p><b>Frutales</b> .....</p>	79
<p><b>Aplicación de Ácido Fúlvico en la Solucion Nutritiva para Mejorar la Producción de Plántulas, Rendimiento y Calidad en Frutos de Melón (Cucumis Melo L.)</b>  <b>Application of Fúlvico Acids in The Nutrition Solution to Increase the Seedling Production and Yield and Quaily of Melon Fruits (Cucumis Melo L.)</b>  <i>Alfonso Reyes López, Leobardo Bañuelos Herrera, Alfonso Rojas Duarte, Alfredo Sánchez López, Evangelina Rodríguez Solis, Rubén López Cervantes, Fabiola Aureoles Rodríguez</i> .....</p>	80

<b>Una Semana de Polinización con Abejas en Manzano</b> <b>A Week with Honeybee Pollination in Apple</b> <i>Inocente Mata Beltrán, Manuel Antonio Martínez Mendoza</i> .....	85
<b>El Amarre de Frutos con Abejas en Manzano</b> <b>The Role Honeybees in Apple Fruit Set</b> <i>Inocente Mata Beltrán</i> .....	91
<b>Hortalizas</b> .....	95
<b>Atributos de Calidad en Poscosecha para Diferentes Genotipos de Tomate de Larga Vida de Anaquel</b> <b>Postharvest Quality Attributes for Different Genotypes of Tomato Long Shelf Life</b> <i>Alfredo Sánchez López, Fernando Morales González, Sergio Sánchez Martínez, Alfonso Reyes López, Alfonso Rojas Duarte</i> .....	96
<b>Efecto de Ácidos Orgánicos Sobre la Germinación de Semillas de Hortalizas</b> <b>Effect of Organic Acids on Germination of Vegetable Seeds</b> <i>María Cecilia Arroyo-Medina, Adalberto Benavides-Mendoza, Homero Ramírez Rodríguez, Norma Angélica Ruiz-Torres</i> .....	107
<b>Aplicación del Lodo Industrial Textil en la Producción de Hortensias (<i>Hydrangea macrophylla</i> sp.) en Maceta</b> <b>Application of the Industrial Textile Mud in the Production of Potted Hortensias (<i>Hydrangeas macrophylla</i> sp.)</b> <i>Emilio Bautista Vargas , Adalberto Benavides Mendoza , Homero Ramírez Rodríguez, Valentin Robledo Torres, Mario Cantú Sifuentes, Jose Antonio González Fuentes</i> .....	116
<b>Prohexadiona-Ca y Ácido Giberelico Estimulan el Rendimiento y la Calidad de Tubérculo para Siembra</b> <b>Prohexadione-Ca and Gibberellic Acid Improve Yield and Quality of Tubers for Seeding</b> <i>Homero Ramírez Rodríguez, Sergio Mundo Candelario, Adalberto Benavides Mendoza, Carlos Amado Ramírez , J. Hugo Rancaño Arrijo</i> .....	128
<b>Análisis de Crecimiento de Tetraploides de Tomate de Cáscara</b> <b>Growth Analysis of Husk Tomato Tetraploidy</b> <i>Valentín Robledo Torres, Ernesto Jiménez Santana, Adalberto Benavides Mendoza, Homero Ramírez Rodríguez, Francisca Ramírez Godina, Mario Ernesto Vázquez Badillo</i> .....	141
<b>Ornamentales</b> .....	149

<b>Efecto de la Fertilización Sobre la Incidencia de Cenicilla (<i>Sphaerotheca pannosa</i>) en Tallos de Rosas</b> <b>Effect of Fertilization on the Incidence of Powdery Mildew (<i>Sphaerotheca pannosa</i>) in Stems of Roses</b> <i>Alfonso Rojas Duarte, Leobardo Bañuelos Herrera; Alfonso Reyes López, Alfredo Sánchez López</i> .....	150
<b>Parasitología</b> .....	156
<b>Evaluación de Aceites Vegetales para el Control de <i>Sitophilus seamaiz</i> Motschulsky y su Efecto en la Semilla de Maíz</b> <b>Oils Plant Evaluation for <i>Sitophilus seamaiz</i> Motschulsky Control and Effect on the Corn Seed</b> <i>Ernesto Cerna Chavez, Jerónimo Landeros Flores, Yisa María Ochoa Fuentes, Luis Alberto Aguirre Uribe, Mohammad H. Badii, Luis Patricio Guevara, Antonio Cárdenas Elizondo y Guadalupe López Nieto</i> .....	157
<b>Parámetros Poblacionales de <i>Tetranychus urticae</i> Koch en la Variedad de Rosal Royalty</b> <b>Demographic Parameters of <i>Tetranychus urticae</i> Koch in the Royalty Rose Bush Cultivar</b> <i>Jerónimo Landeros Flores, Luis Patricio Guevara Acevedo, Ernesto Cerna Chávez, Yisa María Ochoa Fuentes, Luis Alberto Aguirre Uribe y Mohammad H. Badii</i> .....	166
<b>Micromycetos en Suelo Como Índice de Deterioro Ecológico y Contaminación en el Área Conurbada de Saltillo, Coahuila</b> <b>Mycromycetes in Soil as an Indicator of Pollution and Ecological Deterioration in the Metropolitan Area of Saltillo, Coahuila</b> <i>José Luis Villarreal López, Abiel Sánchez Arizpe, Gustavo Frías-Treviño y Alberto Flores Olivas</i> .....	172
<b>Recursos Forestales</b> .....	182
<b>Aves Asociadas a Poblaciones Naturales de <i>Pinus pinceana</i> Gordon en Coahuila y Zacatecas</b> <b>Birds Associated to Populations of <i>Pinus pinceana</i> Gordon at Coahuila and Zacatecas</b> <i>Paloma López Colunga, Jesús Javier Juárez de la Fuente, Eladio H. Cornejo Oviedo, Miguel Ángel Capó Arteaga</i> .....	183
<b>Flora de las Comunidades de Piñonares de <i>Pinus pinceana</i> Gordon</b> <b>Flora of the Pinyon Communities of <i>Pinus pinceana</i> Gordon</b> <i>José Ángel Villarreal Quintanilla, Oscar Mares Arreola, Eladio Cornejo Oviedo y Miguel A. Capó Arteaga</i> .....	191

<b>Variación en Densidad de la Madera de <i>Pinus montezumae</i> de Zinapécuaro Michoacán</b> <b>Wood Density Variation in <i>Pinus montezumae</i> from Zinapécuaro Michoacán</b> <i>Salvador Valencia Manzo, Nazario A. Gutiérrez Hernández, Eladio H. Cornejo Oviedo, Celestino Flores López</i> .....	200
<b>Zonas Áridas</b> .....	205
<b>Utilización de las Plantas de Zonas Áridas para Sistemas Agroforestales</b> <b>Use of The Plants of Arid Zones for Agro Forestry Systems</b> <i>José Antonio Ramírez Díaz</i> .....	206
<b>Tecnología de Semillas</b> .....	222
<b>Efecto del Osmocondicionamiento con Cloruro de Sodio sobre la Calidad Fisiológica de Semilla de Trigo</b> <b>Effect of Osmoprining with Colure de Sodium on Physiological Quality of Wheat Seed</b> <i>María Alejandra Torres Tapia, Elena Elizalde Flores; Victor Zamora Villa; Federico Facio Parra, Modesto Colín Rico y Martha Alicia Jaramillo Sánchez</i> .....	223
<b>Producción y Calidad de Semilla Tubérculos de Papa (<i>Solanum tuberosum</i> L.) Variedad Atlantic, Cosechada en Diferentes Fechas</b> <b>Production and Quality of Seeds Tubers of Potato (<i>Solanum tuberosum</i> L.) Variety Atlantic, Harvesting at Different Dates</b> <i>Antonio Valdez Oyervides, Leopoldo Arce González, Federico Facio Parra y Hilda Cecilia Burciaga Dávila</i> .....	237
<b>Rendimiento y Calidad de Semillas de Zacate Navajita (<i>Bouteloua gracilis</i> (Willd. Ex Kunth) Lag, ex Steud) con Fertilización Nitrofosfatada</b> <b>Yield and Quality of Seed of Zacate Navajita (<i>Bouteloua gracilis</i> Willd.) Lag, Former Steud (Ex_Kunth)) with Fertilization Nitrofosfatada</b> <i>Antonio Valdez Oyervides, Víctor Manuel Zamora Villa, Leopoldo Arce González, Federico Facio Parra</i> .....	242
<b>Asimilación de CO<sub>2</sub> y Calidad Fisiológica de Genotipos de Maíz Criollo Mejorado</b> <b>Assimilation of CO<sub>2</sub> and Physiological Quality of Maize Landrace Improved Genotypes</b> <i>Norma Angélica Ruiz Torres, Graciela Ávila Uribe, Froylán Rincón Sánchez, Adalberto Benavides Mendoza, Valentín Robledo Torres, Magdalena Olvera Esquivel</i> .....	248

<b>Ingeniería</b> .....	255
<b>Evaluación de las Propiedades Ópticas y Mecánicas de Diferentes Cubiertas Plásticas para Invernadero</b> <b>Evaluation of Optical and Mechanical Properties of Different Plastic Greenhouse Covers</b> <i>Juan José Galván Luna, Alberto Palma Pérez, Reynaldo Alonso Velasco, Víctor M. Reyes Salas y Luis Alonso Valdés Aguilar</i> .....	256
<b>Ingeniería de Riego</b> .....	262
<b>Evaluación de Diferentes Tipos y Niveles de Sales Sobre la Germinación de Tomate (<i>Lycopersicon Esculentum Mill Var. Floradade</i>)</b> <b>Type of Different Evaluation and Level, Salt over the Process of Germinating Tomato, (<i>Lycopersicon Esculentum Mill Var. Floradade</i>)</b> <i>Manuela Bolívar Duarte, Luis Rodríguez Gutiérrez, Uriel Figueroa Viramontes y Johnny Cristóbal García Morales</i> .....	263
<b>Suelos</b> .....	277
<b>Chile Morrón (<i>Capsicum annum L.</i>) con Abonos Artesanales</b> <b>Chile Morrón (<i>Capsicum annum L.</i>) with Craft Fertilizers</b> <i>Alejandro Hernández Herrera, Emilio Rascón Alvarado, Darwin Ovando Chacón, Martha Patricia Herrera Gaytán</i> .....	278
<b>Quelatos y Fitoextracción de Plomo en un Calcisol Contaminado</b> <b>Chelates and Phytoextraction of a Lead Contaminated Calcisol</b> <i>Edmundo Peña Cervantes, Idalia María Hernández Torres, Rubén López Cervantes, Jaime Timoteo González Alvarado</i> .....	282
<b>Acondicionamiento Nutricional en la Producción de Plántulas de Tomate</b> <b>Nutritional Conditioning in the Growth of Tomato Seedling</b> <i>Ricardo Requejo López; Emilio Olivares Sáenz; Rigoberto E. Vázquez Alvarado; Humberto Rodríguez Fuentes, Juan P. Munguía López y Sergio J. García Garza</i> .....	288
<b>Distribución Radicular del Tomate Cherry con la Adición de Ácidos Fúlvicos de Leonardita, Mediante Análisis de Imagen</b> <b>Root Distribution of Cherry Tomato with Leonardite Fulvic Acids Addition, with Image Analysis</b> <i>Rubén López Cervantes, Edmundo Peña Cervantes, María del Rosario Zúñiga Estrada, Guillermo González Cervantes, Alfonso Reyes López</i> .....	300
<b>Ciencia Animal</b> .....	307

<b>Caprinos</b> .....	308
<b>Producción y Composición de Leche de Cabras con Tratamiento Antihelmítico en Pastoreo Extensivo al Final de la Lactancia</b> <b>Production and Composition of Goat Milk with Antihelmintic Treatment Extensively Pastured During Late Lactation</b> <i>Fernando Ruiz Zárate, Jesús Moreno Carrizales, Raquel Olivas Salazar, Jesús M. Fuentes Rodríguez, Ramiro López Trujillo y Roberto García Elizondo</i> .....	309
<b>Cerdos</b> .....	316
<b>Comportamiento Productivo de Cerdos en la Etapa de Crecimiento-Desarrollo Suplementado con Levadura de Cerveza (<i>Saccharomyces cerevisiae</i>)</b> <b>Productive performance of pigs supplemented with yeast</b> <i>Manuel Torres Hernández, Gustavo Caballero Hernández, Jesús M. Fuentes Rodríguez y Lorenzo Suárez García</i> .....	317
<b>Especies Menores</b> .....	322
<b>Efecto de la Levadura de Cervecería Líquida como Prebiótico en el Rendimiento de Pollo de Engorda</b> <b>Effect of Liquid Yeast as a Probiotic on the Yield of Chicken</b> <i>Lorenzo Suárez García, José Hernández Torres, Jesús M. Fuentes Rodríguez y Manuel Torres Hernández</i> .....	323
<b>Tecnología de Alimentos</b> .....	332
<b>Efectos de Películas de Quitosano sobre la Vida de Anaquel del Queso Panela</b> <b>Chotisan Edible Films Effects on Panela's Cheese Shelf Life</b> <i>Xochitl Ruelas Chacón, Ángel Humberto García, Oscar Noé Reboloso Padilla, Ernesto Serna Chávez, Mildred Inna Marcela Flores Verastegui</i> .....	333
<b>Ciencias Socioeconómicas</b> .....	348
<b>Respuesta al TLCAN: La Organización de UNIFRUT-Chihuahua</b> <b>Reply to TLCAN: UNIFRUT-Chihuahua Association</b> <i>Rita Carmen Favret Tondato</i> .....	349

<b>Determinación de Índices de Pobreza y Marginación Rural en el Suroeste de Coahuila</b> <i>MC. Juan Manuel Peña Garza</i> .....	359
<b>Sociología Rural</b> .....	365
<b>La Divulgación Científica y Tecnológica de la UAAAN para el Desarrollo Rural Sustentable</b> <b>A The Scientific and Technological Spreading of the UAAAN for the Viable Rural Development</b> <i>Griselda Valdés Ramos, Rafael de la Rosa González</i> .....	366



# **Agronomía**

## **Agricultura Sustentable**

# Digestibilidad *In vitro* de Alfalfa (*Medicago sativa* L.) Hidropónica

## *In Vitro* Digestibility of Hydroponic Alfalfa (*Medicago sativa* L.)

Jesús M. Fuentes Rodríguez <sup>a\*</sup>, Manuel Torres Hernández <sup>a</sup>, Lorenzo Suarez García <sup>a</sup>, Fernando Ruíz Zarate <sup>a</sup>, María Elena Murillo Soto <sup>a</sup>, Benjamin Ortiz de La Rosa <sup>b</sup> Rodolfo Peña Oranday <sup>a</sup> y Ramón García Castillo <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Col. Buenavista, C.P.25315. Saltillo, Coahuila, México

<sup>b</sup>SEP Instituto Tecnológico Conkal, Yucatán, México

---

### Resumen

En las zonas áridas y semiáridas se requiere de cultivos que permitan elevar la productividad, así como generar alimentos para el ganado en zonas de escasa precipitación pluvial, por ello se buscan nuevas alternativas, como la hidroponía para producir forraje verde hidropónico (FVH) que garantiza una alta digestibilidad y calidad nutricional. Se realiza en recipientes planos por un tiempo no mayor a los 12 o 15 días, haciéndose riegos con agua pura o bien con alguna solución nutritiva. Por lo anterior se planteo el siguiente objetivo: Evaluar la digestibilidad “*in vitro*” de la Materia Seca (MS), Proteína Cruda (PC) y Fibra Detergente Neutro (FDN) de alfalfa hidropónica con diferentes soluciones nutritivas. Se realizaron pruebas de germinación, con 500 semillas escogidas al azar. Al concluir este proceso se procedió a colocar las muestras en cuatro charolas por tratamiento. El T1 (testigo) se regó a base de agua durante todo el proceso productivo, el T2 se regó con la solución de algaenzims y el T3 se regó con lombricomposta. La cosecha de FVH se realizó a los 15 días de establecimiento. Para determinar la digestibilidad *in vitro* de la materia seca, proteína y fibra neutro detergente se utilizo la técnica de digestibilidad *in vitro*, a diferentes tiempos de incubación (0,12, 24, 48 y 72 horas). Se utilizó un diseño completamente al azar, con arreglo factorial 3x5 (tres tipos de solución de riego X cinco tiempos de incubación) para el análisis de los datos. No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ( $p>0.05$ ) para la digestibilidad de materia seca, proteína cruda y fibra detergente neutro. En relación a los tiempos de incubación solo se observaron diferencias ( $P<0.05$ ) entre el tiempo 0 y los diferentes tiempos de incubación. La solución nutritiva tanto algaenzims como lombricomposta para ambos tratamientos no influyeron en la digestibilidad de FVH de alfalfa.

Es indistinto regar la hidroponía de alfalfa con: agua, solución de algaenzims o lombricomposta desde la siembra hasta 15 días pos germinación para la digestibilidad *in vitro* de la materia seca, proteína cruda y fibra detergente neutro.

**Palabras clave:** Alfalfa, digestibilidad in-vitro, hidroponía, materia seca, proteína cruda, fibra detergente neutro

### Abstract

Arid and semiarid areas require new alternatives that allow an increase in productivity and the production of food for livestock, therefore in this study the production of hydroponic forage with different nutritive solutions was tested because it produces high nutritive forage with high digestibility. Its production is easy and it takes no longer than 15 days. The objective was to determine the *in vitro* digestibility of dry matter (IVDMD), protein (IVPD) and neutral detergent fiber (IVFDN) of alfalfa on hydroponic conditions irrigated with three different solutions: T1=water, T2= Algaenzym and T3= Lombricompost. A germination test was performed with 500 seeds. Thereafter the seeds were placed in trays and irrigated with the different solutions. Harvesting was done at 15 days of establishment. *In vitro* digestibility was determined at different times of incubation (0,12, 24, 48 y 72 h). A completely randomized factorial design was used to analyze data. No differences ( $p>0.05$ ) between treatments were found for IVDMD, IVPD and IVFDN. Differences ( $P<0.05$ ) were found between time 0 and the different incubation times. Nutritive solutions did not affect *in vitro* digestibility of hydroponic alfalfa.

**Keywords:** Alfalfa, *in-vitro* digestibility, hydroponics, dry matter, crude protein, neutral detergent fiber.

---

## Introducción

La alfalfa es una de las más antiguas plantas forrajeras, originaria del Medio Oriente y debido a sus grandes cualidades es llamada con justa razón la “reina de las plantas forrajeras”. Del genero *Medicago* existen unas 50 especies en la región del Mediterráneo hacia Turquestán, norte de Judea y oriente de China (Flores, 1980). La alfalfa es una planta perenne que prospera bien en climas templados o templados-fríos y en terrenos francos o con buenas proporciones de arcillas; no resiste la acidez de los suelos, prefiriendo suelos alcalinos para su desarrollo (Flores, 1980). Morrison (1963) reporta que más de una tercera parte del heno natural producido en los Estados Unidos es de alfalfa (*Medicago sativa*). La alfalfa ha llegado a ocupar este lugar prominente porque supera en rendimiento a otras plantas henificables y también por su gustocidad, su riqueza en proteínas, elevado contenido de calcio y vitaminas. Es una planta que se usa también como pasto y para ensilaje pero en un grado mucho más limitado.

La alfalfa en México, tiene una gran importancia en la alimentación del ganado lechero, por su alta producción de materia seca y contenido de proteína. Aunado a esto, la mayoría de los estudios, que se han realizado, para determinar su óptimo aprovechamiento estacional, se han enfocado a generar recomendaciones del número de cortes, que se deben de realizar, sin tomar en cuenta los efectos del medio, que inciden en el crecimiento y desarrollo de las plantas, en cada estación del año. Para ello se requiere elaborar un plan de manejo óptimo durante todo el año y de esta manera lograr una buena eficiencia de utilización del cultivo de la alfalfa, sabiendo en qué momento se obtiene el máximo rendimiento neto; es decir, cuando se tiene la mayor cantidad de nutrientes digestibles totales (Rivas *et al.*, 2003). Al igual que otras leguminosas, la alfalfa contiene factores antinutritivos. Los principales son las saponinas y los taninos solubles. Dan sabor amargo y tienden a formar jabones estables en solución acuosa. La presencia de éstos en las plantas se relaciona con su efecto protector frente a hongos e insectos fitófagos. Pero las saponinas resultan especialmente tóxicas en los animales de sangre fría (peces, caracoles, anfibios); sin embargo, los rumiantes al igual que los conejos son poco sensibles a niveles altos de saponinas en la dieta, ya que son hidrolizadas por la flora ruminal e intestinal (De Blas *et al.*, 2003). Núñez (2000) expresa que la digestibilidad de forrajes se puede determinar con animales (digestibilidad *in vivo* o *in situ*) o también en el laboratorio (digestibilidad *in vitro*). Ambas determinaciones están relacionadas entre sí, aunque normalmente la digestibilidad *in vitro* puede ser mayor que la obtenida *in vivo*, ya que no se considera el efecto del nivel de consumo de los animales y la tasa de paso a través de su tracto digestivo. La importancia de la digestibilidad de los forrajes se puede manifestar en aumentos de 0.170 kg en el consumo de materia seca y de 0.250 kg en la producción de leche por vaca por día por unidad de incremento en la digestibilidad.

En las zonas áridas se requiere de cultivos que permitan elevar la productividad, así como generar alimentos en zonas de escasa precipitación pluvial, por ello se buscan nuevas alternativas para solucionar problemas al sector rural, en este caso se enfoca a la hidroponía con el fin de producir forraje verde hidropónico el cual garantiza una alta digestibilidad, calidad nutricional y muy apto para la alimentación animal. Se recomienda por la facilidad de producción, y el proceso es muy sencillo; se realiza en recipientes planos por un lapso de tiempo no mayor a los 12 o 15 d, haciéndose riegos con agua pura o bien con alguna solución nutritiva para aportar los elementos químicos necesarios (Valdivia, 1996).

Por lo anterior se planteo el siguiente objetivo: Evaluar la digestibilidad “*in vitro*” de la Materia Seca (MS), Proteína Cruda (PC) y Fibra Detergente Neutro (FDN) de alfalfa hidropónica con diferentes soluciones nutritivas.

## **Materiales y Métodos**

El presente trabajo se realizó en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila; a 25° 22' Latitud Norte y 101° 00' Longitud Oeste, con una altitud de 1742 msnm. La zona presenta un clima clasificado: BWhw (x') (e); de muy seco a semicálido con invierno fresco, extremoso; temperatura media anual de 19.8 °C y una precipitación media anual de 298.5 mm (Mendoza, 1983). Para desarrollar este trabajo se utilizó semilla de alfalfa (*Medicago Sativa L.*), cosechada en mayo de 2008.

### *Preparación y proceso de germinación de las semillas*

Antes de iniciar el trabajo en el invernadero, se realizaron pruebas de germinación, con 500 semillas escogidas al azar, con cinco repeticiones de 100 semillas cada una. Se humedeció el papel sustrato en agua, se colocaron dos toallas una encima de otra, se pusieron las semillas en líneas de 10 x 10, luego se enrolló en forma de taco y se identificó. Las repeticiones se sometieron a una cámara germinadora al mismo tiempo a una temperatura constante de 26° C. durante ocho días, obteniéndose un 96% de germinación. Se utilizó solo una densidad de siembra para todo el proceso de producción de forraje hidropónico siendo de 180 gr. En las 12 charolas de 0.25 m de largo y 0.17 m de ancho, con un área de 0.425 m<sup>2</sup>. El día de inicio de la imbibición se procedió a pesar la semilla correspondiente a cada charola (180 g) las muestras se depositaron en bolsas de polietileno con la finalidad de remojarlas, se le agregó agua a razón de inundar por completo sobrepasando por cinco centímetros a la cantidad de semilla. Se dejaron remojando todas las muestras durante dos horas con una solución de hipoclorito de sodio al 0.2%, después se eliminó esa solución y se lavó cada contenido, una vez drenado el líquido se le vertió nuevamente agua limpia purificada durante 24 h. Para seguir el proceso de imbibición.

### *Tratamiento*

Al concluir este proceso se procedió a colocar las muestras en cada charola correspondiente para el iniciar la germinación con la aparición de la radícula. Los tratamientos fueron: T1 = Testigo, T2 = Algaenzims y T3 = Lombricomposta. El T1 que es el testigo nada más se regó a base de pura agua durante todo el proceso productivo, en cambio el T2 se regó con la solución de algaenzims y el T3 se regó con lombricomposta. Los tres tratamientos constaron de cuatro charolas, es decir cuatro repeticiones y utilizando cada solución preparada correspondiente a cada tratamiento y solo la aplicación de agua simple para el testigo. La aplicación de los riegos se hizo de forma manual utilizando una regadera, la irrigación se proporcionó de tal forma que, tomando un criterio de 2 horas en cada intervalo entre riegos durante los primeros cuatro días y gastando una cantidad de agua de medio litro considerable según las necesidades del cultivo, a partir del día 5 la cantidad de agua aumentó a un litro y disminuyó el número de riegos programados por día. Teniendo hasta cuatro aplicaciones de riego durante todo el día.

La cosecha de Forraje Verde Hidropónico se realizó a los 15 días de establecimiento productivo. La toma de muestras se llevó a cabo en cada una de las charolas, el cual consistió en tomar muestras de 20 cm<sup>2</sup> del germinado que presentó mayor altura, así también una muestra de la misma medida pero que presentó forraje de menor altura desarrollada dentro de la misma charola incluyendo el testigo.

### *Prueba de digestibilidad in vitro*

Para determinar la cinética de la digestión de la fibra de forraje de alfalfa hidropónica se utilizó la técnica de digestibilidad *in vitro*, la cual se interrumpió a diferentes tiempos de incubación (0, 12, 24, 48 y 72 h) y se analizó MS, PC y FDN a cada uno de los respectivos residuos de la fermentación. El líquido ruminal fue obtenido de un toro Charoláis fistulado y canulado ruminalmente, el cual se alimentó con heno de alfalfa (*Medicago sativa L.*) de buena calidad. La colecta del líquido ruminal se realizó a las 0930 horas. La digesta fue retirada manualmente del rumen, exprimida y filtrada con un paño de algodón para extraer el líquido ruminal y éste almacenado en un termo previamente calentado con agua a 40°C para su transporte al laboratorio de nutrición, ahí se midió el pH con un potenciómetro. El inóculo presentó un pH promedio de 7. Después el material recolectado fue transferido a un recipiente de plástico en donde fue burbujeada vigorosamente con CO<sub>2</sub> durante aproximadamente 10 minutos. Este procedimiento se realizó para garantizar que el inóculo resultante estuviera compuesto por microorganismos ruminales adheridos y no adheridos a la fibra. Después de agregar la mezcla (líquido ruminal y sustrato de alfalfa) a los tubos de plástico para digestibilidad, se incubó a una temperatura de 39°C en baño maría la cual se interrumpió a diferentes tiempos de incubación (0, 12, 24, 48 y 72 h). En donde cada 12 h se retiraban los tubos y se sometieron a refrigeración hasta cumplir 72 h. El residuo insoluble de la muestra fue filtrado a través de papeles de filtro whatman # 42 previamente pesado. Los papeles de filtro con sus respectivas muestras se colocaron a la estufa a 60°C por 24 h, para posteriormente pesarlos y realizar los análisis de datos respectivos.

### *Análisis estadístico*

Para el análisis de digestibilidad *in vitro* de Materia Seca (MS), Proteína Cruda (PC) y Fibra Detergente Neutro (FDN), se utilizó el paquete de diseños experimentales (Olivares, 1994) de la Universidad Autónoma de Nuevo León, utilizando un diseño completamente al azar, con arreglo factorial 3X5 (tres tipos de solución y cinco tiempos de incubación).

## **Resultados y Discusión**

Se presentan los resultados de digestibilidad *in vitro* de las variables evaluadas. Es conveniente señalar que estadísticamente no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ( $p > 0.05$ ) para la digestibilidad de materia seca, proteína cruda y fibra detergente neutro. En relación a los tiempos de incubación solo se observaron diferencias ( $P < 0.05$ ) entre el tiempo 0 y los diferentes tiempos de incubación (12, 24, 48 y 72 h).

### *Digestibilidad in vitro de la Materia Seca (DIVMS)*

Para el caso de digestibilidad de la materia seca de cada tratamiento (DIVMS) no se observaron diferencias ( $P > 0.05$ ) entre tratamientos (cuadro 1), se observan valores muy similares en la digestibilidad (T1, T2 y T3), la alfalfa hidropónica que recibió riego a base de pura agua, obtuvo a las 72 h un 83.22%, seguida por alfalfa hidropónica regada con solución nutritiva (lombricomposta) que registro una digestibilidad de 84.36%. El tratamiento con solución nutritiva (algaenzym) registro 86.43% de digestibilidad. Estos resultados son superiores a los reportados por Cruz (2008), que fueron de 50.94% 58.29% en FVH de alfalfa, y Valdivia (1997), cuyos valores fueron de 45.0% a 60.0% de digestibilidad de forraje hidropónico de alfalfa. Así mismo, Euzárraga y García (1988) reportan valores muy cercanos

con respecto a los valores antes mencionados 57.5 a 84.1 % de DIVMS en el heno de alfalfa. De igual manera Sánchez *et al.* (1994) encontraron un comportamiento semejante al evaluar heno de alfalfa, rastrojo de maíz y ensilaje de maíz, cuyos valores fueron 61.1, 50.7 y 38.5 % DIVMS. Siendo estos resultados inferiores a los que se encontraron en este trabajo. Cuervo (2004), reportó valores de 79.08% para la digestibilidad de cebada y 78.96% para maíz, en condiciones de hidroponía. En cuanto a los tiempos de incubación solo se encontraron diferencias ( $P < 0.05$ ) entre el tiempo 0 y el resto de los tiempos de incubación, sin embargo la DIVMS no fue diferente ( $P > 0.05$ ) entre tratamientos. De acuerdo a los resultados obtenidos se considera que la solución nutritiva utilizada en cada tratamiento, no influyó la DIVMS.

**Cuadro 1.** Digestibilidad *in vitro* (%) de la Materia Seca (DIVMS) de alfalfa hidropónica con diferentes soluciones nutritivas a diferentes tiempos de incubación.

Tiempo de incubación (h)	T1 (Agua)	T2 (Algaenzimas)	T3 (Lombricomposta)
0	15.85 <sup>b</sup>	14.24 <sup>b</sup>	16.82 <sup>b</sup>
12	73.21 <sup>a</sup>	75.06 <sup>a</sup>	78.69 <sup>a</sup>
24	80.41 <sup>a</sup>	83.82 <sup>a</sup>	81.44 <sup>a</sup>
48	79.07 <sup>a</sup>	82.82 <sup>a</sup>	78.32 <sup>a</sup>
72	83.22 <sup>a</sup>	86.43 <sup>a</sup>	84.36 <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Valores con la misma literal en líneas y columnas son iguales ( $p > 0.05$ )

#### *Digestibilidad in vitro de Proteína Cruda (DIVPC)*

Esta variable, no mostró diferencia ( $p > 0.05$ ) entre tratamientos, lo que refleja que la DIVPC fue muy semejante entre ellos. Sin embargo se puede apreciar una ligera tendencia al aumento de la digestión de PC del forraje conforme se incrementa el tiempo de incubación. El mayor porcentaje de digestibilidad en los tres tratamientos se registro a las 72 h de incubación. Estos resultados son superiores a los reportados por Núñez (2000), en la cual se menciona una digestibilidad *in vitro* de alfalfa en verde, ensilado y heno de 79.5, 74.1 y 71.7 %. Los resultados encontrados son superiores a los encontrados por Tarillo (1999), el cual encontró una digestibilidad de 65 % en FVH de alfalfa y 60% en maíz chala, pero similares a los reportados por Sepúlveda (1994), cuyo valor fue de 81.6%.

**Cuadro 2.** Digestibilidad *in vitro* (%) de Proteína Cruda (DIVPC) de alfalfa hidropónica con diferentes soluciones nutritivas a diferentes tiempos de incubación.

Tiempo de incubación (hr)	T1 (Agua)	T2 (Algaenzims)	T3 (Lombricomposta)
0	16.00 <sup>b</sup>	14.87 <sup>b</sup>	14.05 <sup>b</sup>
12	85.75 <sup>a</sup>	84.06 <sup>a</sup>	84.69 <sup>a</sup>
24	89.06 <sup>a</sup>	86.50 <sup>a</sup>	85.06 <sup>a</sup>
48	88.87 <sup>a</sup>	89.69 <sup>a</sup>	86.31 <sup>a</sup>
72	89.25 <sup>a</sup>	89.37 <sup>a</sup>	88.69 <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Valores con la misma literal en líneas y columnas son iguales ( $p > 0.05$ )

#### *Digestibilidad in vitro de Fibra Detergente Neutro (FDN)*

Al analizar los resultados de la variable de Fibra Detergente Neutro (FDN) en términos de digestibilidad de las paredes celulares del forraje hidropónico de alfalfa tratado a base de agua (testigo), el análisis estadístico no mostró diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) entre tratamientos. Los resultados son semejantes a los citados por Gopar (2001), cuyos valores

fueron 62.67 % y 72.5 % de DIVFDN en especies del genero opuntia (*O. imbricada* y *O. lindheimeri* var. *subarmata*).

**Cuadro 3.** Digestibilidad *in vitro* (%) de Fibra Detergente Neutro (DIVFDN) de alfalfa hidropónica con diferentes soluciones nutritivas a diferentes tiempos de incubación.

Tiempo de incubación (h)	T1 (Agua)	T2 (Algaenzims)	T3 (Lombricomposta)
0	19.58 <sup>b</sup>	15.44 <sup>b</sup>	16.48 <sup>b</sup>
12	71.14 <sup>a</sup>	65.08 <sup>a</sup>	68.96 <sup>a</sup>
24	84.14 <sup>a</sup>	85.80 <sup>a</sup>	71.48 <sup>a</sup>
48	77.80 <sup>a</sup>	66.38 <sup>a</sup>	76.37 <sup>a</sup>
72	84.72 <sup>a</sup>	87.34 <sup>a</sup>	82.38 <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Valores con la misma literal en líneas y columnas son iguales ( $p > 0.05$ )

Se puede observar la tendencia al aumento de digestibilidad de FDN del forraje conforme incrementa el tiempo de incubación registrándose una ligera declinación a las 48 h, el mayor porcentaje se obtuvo a las 72 h. Los resultados son mayores a los reportados por Fisher *et al.* (1989) cuyos valores para digestibilidad *in vitro* de Fibra Detergente Neutro (FDN) en alfalfa (cultivo tradicional) fueron de 18.7%, avena 30.4%, rye gras 30.6% y sorgo 42.1%; pero estos son muy aproximados a los citados por Cruz (1999) quien reportó para heno de alfalfa (68.96%), ensilado de maíz (71.44%) y paja de sorgo (47.56%), de DIVFDN. Sin embargo son semejantes a los citados por Núñez (2000), el cual reporto 79.6% y 82.8% en variedades normales y de alta calidad (HQ) de alfalfa bajo cultivo tradicional.

## Conclusiones

La solución nutritiva tanto algaenzims como lombricomposta para ambos tratamientos no influyeron en el incremento de digestibilidad de FVH de alfalfa tal como se planteo en la hipótesis, obteniéndose porcentajes iguales en la digestibilidad *in vitro* de materia seca, proteína cruda y fibra detergente neutro, incluyendo el tratamiento uno. La lombricomposta tuvo mayor efecto en la DIVPC; en comparación con el algaenzims, sin embargo, los valores obtenidos en la digestibilidad de la proteína cruda (PC) en los cinco tiempos de incubación de cada tratamiento son buenos, posiblemente están influenciados por tener menor contenido de fibra para este FVH, razón por lo cual repercute en la digestibilidad de los forrajes, siendo más degradada la materia seca (MS), proteína cruda (PC) y fibra detergente neutro (FDN) por la flora microbiana del rumen, por ello se considera de gran importancia el cultivo hidropónico porque su periodo de cosecha es muy corto, logra alcanzar una digestibilidad muy alta y satisfactoria para el consumo de rumiantes.

Para la digestibilidad de Fibra detergente neutro (FDN) sucedió lo contrario al efecto de la lombricomposta, habiendo un promedio mayor de digestibilidad con algaenzims, con esto se puede argumentar que quizás no obtengan mayor digestibilidad con dichas soluciones pero si aceleran el crecimiento de las plantas y las mantienen saludables. En cuanto a la digestibilidad *in vitro* de la MS, los resultados obtenidos en este trabajo indican que con esta técnica se puede obtener información aceptable y semejante a los obtenidos con métodos tradicionales. La DIVPC de alfalfa hidropónica en los cinco tiempos de incubación (0, 12, 24, 48 y 72 h) de cada tratamiento, presento una estrecha relación en cuanto a degradabilidad ruminal, sin importar el efecto de solución nutritiva aplicada en los FVH de alfalfa, ya que todos los resultados son muy semejantes. El FVH de alfalfa de los tratamientos (T1, T2 y T3), presentan una degradabilidad ruminal de las paredes celulares más rápida y mayor

digestibilidad durante los tiempos de incubación (0, 12, 24, 48 y 72 h), en comparación con la PC, por lo que se considera que la DIVFDN también tiene entre sí una estrecha relación, esto posiblemente debido a su menor contenido de lignina y bajo contenido de FDN. Por lo anterior, se concluye que la producción de forraje verde hidropónico es una alternativa viable para la producción de forraje fresco, con buena calidad nutritiva y alta digestibilidad. Es indistinto regar la hidroponía de alfalfa con: agua, solución de algaenzims o lombricomposta desde la siembra hasta 15 d de germinación para la digestibilidad *in vitro* de la materia seca, proteína cruda y fibra detergente neutro.

## Literatura Citada

- Casado, V., 2005.** Boletín Informativo Proyecto Ganadero No 1. Centro Regional Chaco-Formosa, EEA INTA Las Breñas, Argentina. 4 p.
- Cruz, C. N., 2008.** Digestibilidad *in vitro* y Valor Nutritivo de Tres Variedades de Alfalfa (*Medicago sativa*) en Hidroponía. Tesis Licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. 61 p.
- Cruz, R. C., 1999.** Tasa de Degradación *In vitro* de la Fibra de Algunos Forrajes de Uso Común. Tesis Licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. 40
- Cuervo, P. E., 2004.** Evaluación de Producción y Calidad de Forraje Verde Hidropónico en Maíz, Cebada y Trigo Bajo Condiciones de Invernadero. Tesis Licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. 77 p.
- De Blas, C., G.G. Mateos y P.G<sup>a</sup>. Rebollar., 2003.** Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la formulación de piensos compuestos. 2<sup>a</sup> ed. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Madrid, España. 423 pp. Consultado en: <http://www.etsia.upm.es/fedna/fibra/alfalfamix.htm>. En 25/01/2009.
- Euzárraga, V. P. y R. García C., 1988.** Digestibilidad *in vitro* de la Materia Seca y Materia Orgánica por las Técnicas de Tilley y Terry (1963) y la Modificación de Tilley y Terry por Barnes (1969). Segunda Reunión Bianual de Nutrición Animal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. Pp.47-52.
- Fisher D. S., J.C. Burns and K. R. Pond., 1989.** Kinetics of *in vitro* Cell-Wall Disappearance and *in vivo* Digestion. *Agronomy Journal*. 81: 25-33.
- Flores, M. J. A., 1980.** Bromatología Animal. 2<sup>a</sup> edición. Ed. Limusa, S. A. México. 930 p.
- Gopar, E. E. A., 2001.** Tasa de Degradación *In Vitro* de la Fibra de Algunas Especies del Género *Opuntia*, Cosechadas en Primavera. Tesis Licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. 52 p.
- Herrera, A. A. M., A. L. A Depablos, López M. R., Benezra S. M. A. y A. L. Ríos., 2007.** Degradabilidad y Digestibilidad de la Materia Seca del Forraje Hidropónico de Maíz (*Zea mays*). *Respuesta Animal en Términos de Consumo y Ganancia de Peso*. vol.17, No.4, p.372-379.
- Mendoza, H. J. M., 1983.** Boletín meteorológico para la Zona de Influencia de la Universidad autónoma Agraria Antonio Narro. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. Pp. 1-5.
- Morrison, F. B., 1963.** Compendio de Alimentación del Ganado. Ed. Hispano Americana, México. 721p.
- Núñez, H. G., 2000.** Producción y Utilización de la Alfalfa en la Zona Norte de México. Métodos de Conservación de Alfalfa. Valor Nutritivo de la Alfalfa. Libro Técnico No. 2. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Centro de Investigación Regional Norte Centro (CIRNOC), Campo Experimental la Laguna (CELALA). Torreón, México. 102 p.

- Olivares, S. E., 1994.** Paquete de Diseños Experimentales FAUANL, Versión 2.5. Facultad de Agronomía UANL. Marín, N. L.
- Pérez, L., 2000** Obtención de Forraje y alimento para avestruz por medio de Hidroponía Trabajo presentado en el curso de Química Experimental impartido en la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua.
- Rivas J. M. A., C. López C., G. A. Hernández y P. J. Pérez., 2003.** Plan de Manejo Óptimo de Cosecha de la Alfalfa. Primer encuentro de Investigación y transferencia de tecnología del Sector Agropecuario en el Estado de Puebla. Memorias. Puebla, Puebla. Consultado en: [http://www.engormix.com/s\\_articles\\_view.asp?art=1218&AREA=AGR](http://www.engormix.com/s_articles_view.asp?art=1218&AREA=AGR) en 23/01/2009
- Rodríguez, M., 2003.** Producción de Forraje verde. Facultad de Zootecnia Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, Chih. México.
- Rodríguez, S. A. C., 2003,** Forraje Verde Hidropónico, Ed. Diana, 1ª edición, México, 113
- Sánchez, A.M. A., R. García C., y R. Morones R., 1994.** Comparación de la digestibilidad *in vitro* con Líquido Ruminal de un Animal Dietado y sin Dietar a Diferentes Tiempos de Ayuno. V Reunión Bienal de Nutrición Animal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. Pp. 127 – 132.
- Sepúlveda, R., 1994.** Notas Sobre Producción de Forraje Hidropónico. Santiago, Chile.
- Tarillo, O. H., 1999.** Utilización del Forraje Verde Hidropónico de Cebada, Alfalfa en Pellets y en Heno, como Forraje en la Alimentación de Terneros Holstein en Lactación. Tesis : Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú. Consultado en: <http://www.zoetecnocampo.com/> en 28/04/2009.
- Tilley, J. M. A. and R. A. Terry., 1963.** A Two Stage Technique for the *In vitro* Digestion of Forage Crops. J. Brit. Grassld. Soc. 18:104-111.
- Valdivia, B. E., 1996.** Producción de Forraje Verde Hidropónico. Curso Taller Internacional de Hidroponía. 25-29 Marzo. Lima Perú. Pp. 1-12.
- Valdivia, B. E., 1997.** Producción de Forraje Verde Hidropónico. Conferencia Internacional en Hidroponía Comercial. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú. Consultado en: <http://www.lamolina.com> en 28/04/2009.

# Estabilidad y Estimación de ACG de Líneas de Maíz Basados en los Modelos SREG y AMMI

## Stability and Estimation of GCA of Maize Lines Based on AMMI and SREG Models

*Alfredo de la Rosa Loera*<sup>a\*</sup>, *Humberto De León Castillo*<sup>a</sup>, *Daniel Sámano Garduño*<sup>a</sup> y *Juan Espinosa Gutiérrez*<sup>a</sup>

<sup>a</sup> *Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Col. Buenavista, C.P.25315 Saltillo, Coahuila. México.*

---

### Resumen

Los programas de mejoramiento enfocados a la obtención de híbridos poseen al menos un grupo germoplásmico (GG) sobresaliente, cuyas líneas exhiben alta heterosis al cruzarse con líneas o cruza simples de otros grupos; También es común que dispongan y estén interesados en generar información sobre patrones heteróticos donde participe ese grupo. En este estudio 10 líneas pertenecientes al grupo más representativo del Instituto Mexicano del Maíz de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro denominado maíz enano, se aparearon con 28 cruza simples (probadores) representativas de cuatro GG de buen comportamiento y diferentes al maíz enano, con los objetivos de poner a consideración de los mejoradores dos nuevos criterios estadísticos para fortalecer el proceso de selección: i) seleccionar líneas con base a su estabilidad en ACG, ii) seleccionar líneas en base a su ACG, empleando los modelos estadísticos, efectos principales aditivos y la interacción multiplicativa (AMMI) y el de regresión en los sitios (SREG);. Con estas metas 255 híbridos triples experimentales, fueron evaluados durante el 2003 en dos localidades: Celaya, Guanajuato y El Prado, Nuevo León, bajo un diseño de bloques incompletos. Los estimados de ACG de las líneas dentro de GG, fueron analizados de forma combinada por los modelos AMMI y SREG lo que permitió explorar la estabilidad de ACG a través de GG. Los resultados indican que la línea con mejor estabilidad en ACG fue la 14, mientras que la línea con mejor ACG fue la 19.

**Palabras clave:** *Zea mays* L., ACG, SREG Y AMMI.

### Abstract

The maize breeding programs focused to the obtaining hybrids must have at least an excellent germoplasmic group (GG), whose lines exhibit high heterosis when crossing with lines or single crosses of other groups; also it is common that they arrange and they are interested in generating more information about heterotic patterns where participates that group. In this study 10 lines belonging to the most representative group of the Mexican Institute of the Maize of the Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro denominated dwarf maize, these lines were mated with 28 single crosses (testers) representative of four GG and different from the dwarf maize, with the objectives to put to consideration of the breeders two new statistical criteria to fortify the selection process: i) to select to lines based on its stability in GCA, ii) to select lines based on its GCA by using the statistical models, Additive Main Effect and Multiplicative Interaction (AMMI) and the one sites regression (SREG); ii) With these goals 255 experimental three way hybrids, were evaluated during the 2003 in two locations: Celaya, Guanajuato and El Prado, Nuevo Leon, under a incomplete blocks design. The estimated of GCA from the lines within GG, were analyzed in combined form by the models AMMI and SREG which allowed exploring the stability of GCA through GG. The results indicate that the line with the best stability in GCA was the 14, while the line with the best GCA was the 19.

**Key words:** *Zea mays* L., GCA, SREG and AMMI.

---

## Introducción

El programa de mejoramiento del Instituto Mexicano del Maíz “Dr. Mario E. Castro Gil” de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (IMM-UAAAN) cuenta con un grupo germoplásmico (GG) de comportamiento agronómico sobresaliente tanto de manera *per se* como en combinaciones híbridas, con amplia plasticidad de adaptación, se distingue de otros GG principalmente porque todas sus plantas portan el gen braquítico ( $br_2 br_2$ ) en condición homocigótica por esa razón se le identifica como maíz enano, de él se han liberado variedades sintéticas así como progenies endogámicas que actualmente son progenitoras de híbridos comerciales.

En esta ocasión se pretende clasificar a 10 líneas derivadas de este grupo, por sus efectos de aptitud combinatoria general (ACG), y la respuesta de este parámetro a la interacción. Así como aprovechar la información proporcionada por los diferentes fondos genéticos de los probadores para ubicarlas en grupos específicos con atención a su respuesta heterótica. Con esta finalidad en el presente estudio a partir de 255 híbridos triples formados entre el cruzamiento de las 10 líneas derivadas del grupo de maíz enano, con 28 cruza simples que representan a cuatro GG de uso en el programa de mejoramiento del IMM. Se plantearon los objetivos de estimar los efectos de ACG que las líneas enanas exhiban con cada GG y explorar la estabilidad de la ACG de cada línea, a través de GG, empleando el modelo “Regresión en los Sitios” (SREG); así como determinar en promedio con que GG son con los que muestran más heterosis, y que GG son los que poseen mayor poder de discriminación entre las líneas.

Yan *et al.* (2007) indican que los gráficos biplot GGE generados por el modelo SREG, son útiles en la exploración del comportamiento de la interacción genotipo ambiente; en la identificación del mejor genotipo por ambiente; para estimar el potencial de rendimiento y estabilidad de los genotipos evaluados; y para clasificar la habilidad de discriminar y conocer la representatividad de los ambientes de una región de interés.

Los programas de mejoramiento enfocados a la obtención de híbridos deben poseer al menos un grupo germoplásmico (GG) sobresaliente, cuyos descendientes endogámicos exhiban alta heterosis al cruzarse con líneas o cruza simples de otros grupos. Y tener estimados de ACG y ACE de las variables de interés económico, de los progenitores. Normalmente estos efectos pueden ser estimados por el diseño línea por probador (Singh y Chaudary, 1985).

Menz *et al.* (1999) mencionan que los híbridos simples (probadores) usados para clasificar líneas presentan ventajas prácticas, entre las que destaca la posibilidad de detectar híbridos triples con potencial comercial. En este trabajo todos los probadores son cruza simples.

## Materiales y Métodos

El material genético consistió en 255 híbridos triples producto del cruzamiento de 10 líneas de grupo germoplásmico (GG) de maíz enano, con 28 cruza simples (probadores) representativas de cuatro GG. Cuyo nombre y número de cruza simples con que participó es el siguiente: el GG ideotipo con 7, el élite con 7, el QPM con 9 y el tropical con 5 una descripción detallada de estos grupos la proporciona De León *et al.* (2005).

En esta trabajo sólo se describirá a el grupo de maíz enano, quien se considera como el germoplasma más sobresaliente y representativo del Instituto Mexicano del Maíz “Dr. Mario

E. Castro Gil<sup>o</sup> (IMM) de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) el cual está constituido por plantas braquíticas ( $br_2$   $br_2$ ), se caracteriza por, soportar altas densidades de siembra, poseer plasticidad de adaptación a climas variados, exhibe madurez diversa por lo que se pueden encontrar familias precoces e intermedias, posee entrenudos cortos debajo de la mazorca, hojas breves y erectas, espigas compactas, grano dentado y buena respuesta a los insumos agrícolas y a las combinaciones con material no emparentado. Los cruzamientos se realizaron en el campo experimental de Tepalcingo, Morelos en el ciclo Otoño-Invierno 2002, en donde las líneas se utilizaron como machos de las cruza simples de los otros grupos restantes. Los híbridos triples (255), fueron evaluados en el ciclo Primavera-Verano del 2003 en dos localidades: Celaya, Guanajuato y El Prado, Nuevo León.

El diseño de siembra en cada experimento fue en bloques incompletos con un arreglo alfa-látice con dos repeticiones por localidad. La parcela experimental consistió en un surco con 21 plantas separadas a 0.19 m, con una distancia entre surcos de 0.75 m.

La variable considerada para la estimación de ACG por GG así como para la exploración de la estabilidad de la ACG a través de GG de las líneas, fue exclusivamente la de rendimiento de mazorca al 15.5 % de humedad en  $t\ ha^{-1}$  (REND).

Los datos de las evaluaciones de los híbridos triples, fueron analizados bajo el diseño de bloques completamente al azar a través de ambientes, siguiendo la estrategia de línea por probador, con una rutina para SAS bajo el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_{j(i)} + L_k + P_l + LP_{kl} + \alpha L_{ik} + \alpha P_{il} + \alpha LP_{ikl} + \xi_{ijkl}$$

Donde:

$Y_{ijkl}$  = variable de respuesta;

$\mu$  = efecto de la media general;

$\alpha_i$  = efecto de la  $i$ -ésima localidad;

$\beta_{j(i)}$  = efecto de  $j$ -ésimo bloque dentro de la  $i$ -ésima localidad;

$L_k$  = efecto de la  $k$ -ésima línea;

$P_l$  = efecto del  $l$ -ésimo probador;

$LP_{kl}$  = efecto de la  $k$ -ésima línea en el  $l$ -ésimo probador;

$\alpha L_{ik}$  = efecto de la  $k$ -ésima línea por la  $i$ -ésima localidad;

$\alpha P_{il}$  = efecto del  $l$ -ésimo probador por la  $i$ -ésima localidad;

$\alpha LP_{ikl}$  = efecto de la  $k$ -ésima línea por el  $l$ -ésimo probador por la  $i$ -ésima localidad;

$\xi_{ijkl}$  = efecto del error

Los efectos de ACG para líneas se estimaron con la siguiente fórmula:

$$gi = \frac{Xi...}{prL} - \frac{X....}{lprl}$$

Donde:  $gi$  = aptitud combinatoria general de las líneas;  $l$  = No. de líneas;  $p$  = No. de probadores y  $L$  = No. de localidades.

Para modelar la respuesta de ACG de las líneas, los grupos germoplásmico y la interacción entre ellos, se emplearon los diseños estadísticos AMMI y SREG cuyos modelos matemáticos se presentan a continuación:

$$\text{AMMI}_2 = Y_{ij} = \mu + g_i + e_j + \sum_{k=1}^n \lambda_k \alpha_{ik} \gamma_{jk} + R_{ij} \quad (\text{Vargas y Crossa, 2000})$$

$$\text{SREG} = Y_{ij} = \mu + e_j + \sum_{k=1}^n \lambda_k \alpha_{ik} \gamma_{jk} + R_{ij} \quad (\text{Crossa et al., 2002})$$

donde:  $Y_{ij}$  = ACG para rendimiento de la  $i$ -ésima línea en el  $j$ -ésimo grupo germoplásmico;  $\mu$  = media general de ACG;  $g_i$  = efecto de ACG de la  $i$ -ésima línea;  $e_j$  = efecto de ACG del  $j$ -ésimo grupo germoplásmico;  $\lambda_k$  = raíz cuadrada del vector característico del  $k$ -ésimo eje del ACP;  $\alpha_{ik}$  = calificación del ACP para el  $k$ -ésimo eje de ACG de la  $i$ -ésima línea;  $\gamma_{jk}$  = calificación del ACP para el  $k$ -ésimo eje para ACG del  $j$ -ésimo probador;  $R_{ij}$  = residual del modelo con  $\sim \text{DNI} \left(0, \frac{\sigma^2}{r}\right)$ .

Los datos de estos arreglos fueron procesados empleando la rutina de SAS propuesta por Burgueño *et al.* (2003).

La exploración del patrón de respuesta del efecto lineal de la ACG junto con el efecto multiplicativo de la interacción de la ACG de las líneas enanas con los cuatro GG, se realizó con el auxilio del gráfico GGE que se grafica con las coordenadas de los ambientes y genotipos del primer componente principal contra los valores del segundo componente principal y se genera con los valores singulares centrados en ambientes o “gráfico de ambientes estandarizados” Yan y Hunt (2002) menciona que tal gráfica exhibe un polígono dividido en sectores, donde los genotipos que están en el vértice de un determinado tienen el mejor desempeño en todos los ambientes que incluya ese sector; la longitud de los vectores de los ambientes (GG) esta en relación directa con la habilidad de discriminación de los mismos: y el ángulo entre ambientes es proporcional al coeficiente de correlación que existe entre ellos.

Otro gráfico biplot que se utilizó para visualizar la magnitud de los valores genéticos de los materiales y explorar su estabilidad (se genera con los mismos datos empleados en la gráfica anterior, sólo que a ellos se le agrega un termino multiplicativo correspondiente a las coordenadas generadas para el promedio de los grupos germoplásmicos Yan y Hunt (2002) mencionan que por dicha coordenada y el origen de la gráfica debe pasar la línea de las abscisa lo que ocasiona que se roten los ejes cartesianos, esto sirve para asegurar que la ubicación de los genotipos esta en correlación con los valores de la abscisa; mientras que la estabilidad de los genotipos se mide por la distancia de las coordenadas de los genotipos con relación a la abscisa, entre menos distancia mayor estabilidad.

Para interpretar los resultados del gráfico GGE, a las condiciones de este trabajo, fue necesario adecuar los datos originalmente descritas por Yan *et al.* (2000) para un análisis de rendimiento de híbridos evaluados en diferentes ambientes, a las condiciones prevaecientes en el presente estudio), aquí en el cuadro de doble entrada las líneas ocuparon el lugar de los híbridos y los valores de ACG por GG reemplazaron a las celdas de rendimiento por ambiente y los ambientes fueron substituidos por los grupos germoplásmicos.

Las adecuaciones permiten las siguientes interpretaciones: i) las líneas y GG que están en un mismo sector dentro del polígono significa que están asociados, es decir son líneas que producen efectos de ACG favorables con el o los GG implicados; ii) la longitud del vector se correlaciona positivamente, en caso de GG con el potencial de discriminación, y en el caso de líneas con el valor de los efectos en ACG; iii) por el ángulo que forman los vectores de diferente GG con el origen entre menor sea éste, equivale a que hacen una clasificación semejante de las líneas, mientras que para las líneas ángulos de los genotipos cercanos al origen significan que son las más estables.

## Resultados y Discusión

*ACG de las líneas:* del Cuadro 1 la última columna representa los promedios de ACG de cada línea a través de las cruzas simples de los cuatro GG. Las líneas 11, 14, 19 y 20 son estadísticamente diferente de cero ( $P \leq 0.01$ ). En la línea 11 el valor más alto de ACG se exhibió al combinarse con las cruzas simples del grupo tropical, sin embargo también presenta valores favorables y diferentes de cero con los GG QPM y élite. El cruzamiento de la línea 11 con cruzas simples del ideotipo presentó valores negativos de ACG aunque estadísticamente igual a cero, esto se debe a el grado de parentesco genético que tienen esta línea con el grupo ideotipo ya que este último se originó de la transformación de plantas enanas a normales mediante un programa continuo de retrocruzas (De León, 2005).

La línea 14 presentó efectos favorables de ACG y estadísticamente diferentes de cero ( $P \leq 0.01$ ) en combinación con las cruzas simples de los grupos QPM y tropical. Al combinar con cruzas simples del grupo élite presenta un valor de ACG también diferente de cero

En la línea 19 se encontraron efectos favorables de ACG y estadísticamente diferentes de cero ( $P \leq 0.01$ ) en combinación con las cruzas simples de los tres grupos germoplásmicos: QPM, élite e ideotipo. La línea 20 presentó efectos de ACG diferentes de cero al  $P \leq 0.01$  al combinarse con las cruzas simples del grupo élite y del grupo ideotipo.

En lo general los resultados anteriores coinciden con lo reportado por De León (2005) quien demostró que el grupo de maíz enano combina excelentemente con materiales de los GG tropical y QPM, al analizar en detalle los resultados es obvio que con las cruzas simples del GG QPM se detectaron mejores efectos de ACG.

La importancia de clasificar las líneas por su valor genético de la manera convencional es que permite estimar la aportación promedio de cada línea a su progenie híbrida. El riesgo de este procedimiento es que los efectos se pueden confundir cuando existe interacción cruzada entre los probadores empleados y dificultar, o en el extremo de los casos, sesgar la eficiencia de la selección.

En la Figura 1 se aprecia que por la respuesta a la interacción ACG x GG, las líneas se pueden clasificar por su respuesta similar en grupos, donde la línea 11 por su ubicación extrema en el lado positivo se le puede considerar como un solo grupo (grupo1). En otro grupo se observan las líneas: L14, L12 y L15 (Grupo 2). Las líneas: L17, L18, L13, L19 y L16 conforman otro aglomerado (grupo 3). Por su parte la L20 conforma el grupo 4. Algo semejante, pero con otro procedimiento, realizaron Soengas *et al.* (2003) quienes mencionan que cuando se utiliza un grupo de probadores divergentes en cruzas de prueba, se puede estimar la distancia genética de las líneas involucradas y estas pueden ser clasificadas en diferentes grupos basándose en el comportamiento de las cruzas y los probadores.

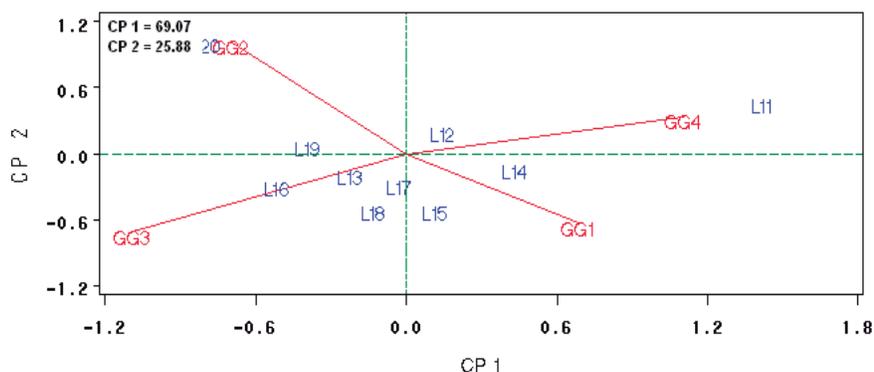


Figura 1. Gráfico AMMI para exploración de la interacción de ACG de las líneas del grupo enano a través de grupos germoplásmicos, para la variable rendimiento. GG1, GG2, GG3, y GG4 = Grupos germoplásmicos QPM, élite, ideotipo y tropical, respectivamente; L = Líneas; CP1 y CP2 = Componente principal 1y 2 respectivamente.

En atención al patrón de respuesta de la interacción que exhiben las líneas se consideran como buenas las líneas 17, 15, 12 y la 14 por su ubicación con relación al primer componente principal y también con relación al segundo componente esto significa que son estables a través de los probadores de cada GG. Mientras que las líneas 20 y 11 fueron las que presentaron mayor interacción lo que implica que la selección debe ser atendiendo la respuesta por GG, recuerde que el AMMI considera principalmente el comportamiento de la interacción.

Otro patrón de respuesta relevante de esta gráfica es la asociación de ACG de una línea con un grupo germoplásmico esta determinada por el ángulo que forma la línea con un GG determinado entre más agudo sea éste más fuerte es la asociación, como el caso de la línea L11 que está asociada positivamente con el grupo tropical (GG4), la línea L14 está asociada con el grupo QPM (GG1) y la línea L20 con el grupo élite (GG2). Mientras que la línea 11 no tiene asociación con los GG ideotipo y élite por el valor del ángulo que se forma entre ellos que es muy cercano a 180°.

En lo que a los tipos de interacción se refiere (cruzada y no cruzada), entre los GG QPM y tropical, y los GG élite e ideotipo no detectaron interacción cruzada, por formar entre ellos un ángulo menor a los 90° lo que indica que dentro de estos pares de grupos las líneas se clasifican de una manera que favorece la selección. Sin embargo, al hacer una comparación entre estos pares de GG es obvio que entre ellos existe interacción cruzada, debido a que el ángulo formado entre ellos y el origen se encuentra entre los 90° y 180° significando que hacen el ordenamiento de las líneas de una forma completamente diferente.

Por la interacción cruzada existente entre los cuatro GG y atendiendo a lo reportado por Crossa *et al.* (2002) no es recomendable usar el promedio de los cuatro GG porque ello significa perder eficacia en la selección, se sugiere realizar la selección de las líneas en función del patrón de respuesta de los efectos cuando se considera la interacción de ACG con los GG más el efecto lineal de la ACG. Ya que este enfoque es más útil para los fitomejoradores, que el AMMI (De León *et al.*, 2005).

Una de las interpretaciones de la gráfica del modelo SREG indica que el material de mejor valor para ACG es aquel que muestre el vector positivo de mayor longitud y que su ubicación respecto al segundo componente sea cercano a cero.

La Figura 2 corresponde al patrón de respuesta de ACG mostrado por el modelo SREG de las líneas con los probadores de los cuatro GG. Se aprecia que no existe un material ideal de acuerdo a la descripción hecha por Yan *et al.* (2000), dado que ninguna línea está cerca de la abscisa. Lo que se atribuye a lo que menciona Crossa *et al.* (2002) que no es recomendable usar el promedio de los ambientes cuando entre ellos se presenta interacción del tipo cruzada, como se detectó en la Figura 1, ya que éstos hacen el ordenamiento de una forma completamente diferente y sesgan la selección. Es decir, este tipo de interacción dificulta detectar claramente cuál es el la mejor línea.

La línea con vector positivo y con un ángulo menor con respecto a la abscisa es la línea 14 lo que la identifica como la más estable pero con un efecto bajo de ACG asociado al vector de poca longitud, en este orden le siguen las líneas 19 y 11 que muestran mayor efecto de ACG pero con ángulos más alejados al origen, es decir, menos estables.

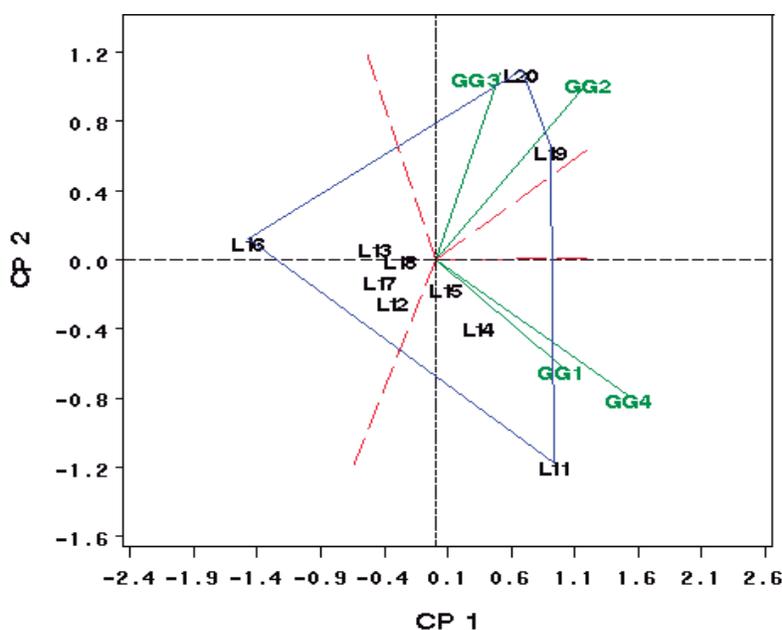


Figura 2. Gráfico GGE para analizar el patrón de respuesta de la ACG de las líneas y de la interacción de la ACG con los grupos germoplasmáticos, para la variable rendimiento. GG1, GG2, GG3 y GG4 = Grupos germoplasmáticos QPM, élite, ideotipo y tropical, respectivamente; L = líneas CP 1 y CP 2 = Componente principal 1 y 2, respectivamente.

El polígono de la Figura 2 fue dividido en cuatro sectores. Esta división indica que, las línea se comporta mejor con cada GG en este caso la 11 muestra los mejores efectos de ACG con los probadores QPM (GG1) los del grupo tropical (GG4) por estar dentro del mismo sector, mientras que las líneas 19 tiene efectos favorables de ACG con las cruza simples del grupo élite (GG3) y la línea 20 tiene efectos favorables con las cruza simples del GG ideotipo. Por otro lado el hecho de que los GG hayan quedado divididos en dos sectores indica que existe interacción cruzada entre ellos y la selección de líneas se debe de hacer con los GG con que estén asociados para no sesgar la eficiencia de la selección.

En la figura 3 se aprecia claramente que por la ubicación de las líneas en asociación con los valores de la abscisa la de mayores efectos promedio de ACG es la 19 seguida de la 20, la 11, la 14, y por último la 16, esto concuerda con los promedios de ACG del cuadro 1. Mientras que por su distancia con la abscisa las más estables y con favorables efectos de ACG

a través de grupos germoplásmicos son la 14, la 19, la 20 y la que más interacciona con los GG es la línea 11.

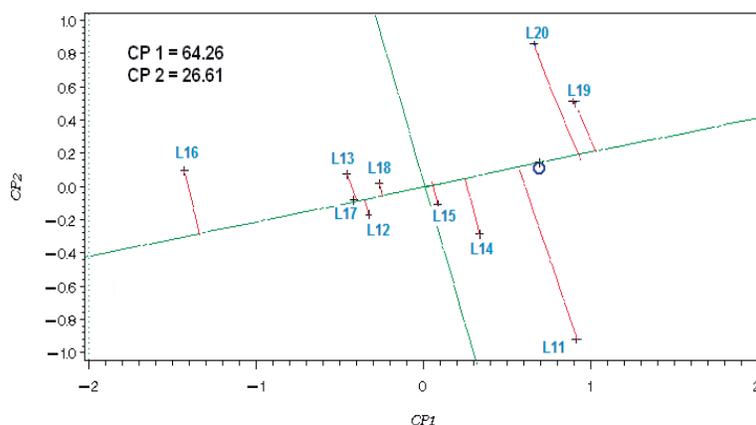


Figura 3. Gráfico GGE que muestra el potencial promedio de ACG exhibido por cada línea a través de probadores y la estabilidad de la ACG de las líneas.

## Conclusiones

El trabajar de manera simultánea las técnicas convencionales, para seleccionar progenitores por sus valores de ACG, con los modelos AMMI y SREG se traducen en una mayor precisión en los resultados ya que en estos últimos, durante la selección. Además de los efectos genéticos lineales de la ACG se consideran los efectos multiplicativos de la ACG x probadores. Esto permitió identificar como sobresaliente por su valor genético y estable las líneas 14 y 19.

## Literatura Citada

- Burgueño, J., J. Crossa and M. Vargas., 2003.** Graphing GE and GGE Biplots. In: Handbook of Formulas and Software for Plant Geneticists and Breeders. M. S. Kang, (ed.) Food Products Press. New York. pp:193-203.
- Crossa, J., P. L. Cornelius and W. Yan., 2002.** Biplots of linear- bilinear models for studying crossover genotype x environment interaction. *Crop Sci.* 42:619-633.
- De León-Castillo., H., F. Rincón-Sánchez., M. H. Reyes-Valdés., D. Sámano-Garduño., G. Martínez-Zambrano., R. Cabazos-Cadena y J. D. Figueroa-Cárdenas., 2005.** Potencial de rendimiento y estabilidad de combinaciones germoplásmicas formadas entre grupos de maíz. *Rev. Fitotec. Méx.* Vol. 28(2): 135-143.
- Menz, M.A., A.R. Hallauer., and W.A. Russell., 1999.** Comparative response of two reciprocal recurrent selection methods in BS21 and BS22 maize populations. *Crop Sci.* 39:89-97.
- Singh, R. K. and Chaudary, B. D., 1985.** Line x Tester analysis. 3ª edición. *Biometrical Methods in Quantitative Genetic Analysis.* Pp 205-2014.
- Soengas, P., B. Ordás., R.A. Malvar., P. Revilla and A. Ordás., 2003.** Performance of flint maize in crosses with testers from different heterotic groups. *Maydica* 48:85-91.
- Vargas, M. J. and J. Crossa., 2000.** The AMMI analysis and the graph of the biplot in SAS. Available on: <<http://www.cimmyt.org/biometrics>>Access: on 2000.

- Yan, W., L. A. Hunt., Q. Sheng and Z. Szlavnic., 2000.** Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Sci.* 40:597–605.
- Yan, W. and L. A. Hunt., 2002.** Biplot analysis of diallel data. *Crop Sci.* 42:21-30.
- Yan, W., M. S. Kang., B. Ma., S. Woods, and P. L. Cornelius., 2007.** GGE Biplot vs. AMMI Analysis of Genotype-by Environment data. *Crop Sci* 47: 641-653

# Combinación de Estrategias Estadísticas para la Selección de Híbridos de Maíz

## Combination of Statistics Strategies for a Maize Hybrid Selection

Beatriz Eugenia Treviño Cueto<sup>a\*</sup>, Daniel Sámano Garduño<sup>a</sup>, Humberto De León Castillo<sup>a</sup>, José Espinoza Velázquez<sup>a</sup>, Raúl Gándara Huitrón<sup>a</sup> y Graciela Vázquez Rosales<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Col. Buenavista, C.P.25315 Saltillo, Coahuila. México.

---

### Resumen

Siendo necesario que el fitomejorador no descuide su programa de mejoramiento genético y tenga avances significativos en la formación e identificación de individuos cada vez mejores. En este proceso, el verdadero reto al que él se enfrenta es en la selección de los materiales más prometedores; por lo que tiene que utilizar nuevas y mejores técnicas de selección. Por lo cual el objetivo principal de este trabajo fue valorar el comportamiento agronómico de híbridos de maíz para seleccionar aquellos con mejores atributos para varios caracteres agrupados en un índice de selección (IS) y los más estables para un mega-ambiente y regiones de altitudes intermedias. El presente trabajo consistió en evaluar 13 características agronómicas fenotípicas de 220 híbridos; de los cuales 200 fueron híbridos experimentales y 20 híbridos testigos; en tres localidades bajo un diseño de bloques incompletos con dos repeticiones; para luego calcular su IS en base a estas. Luego se procedió a realizar la interacción genotipo-ambiente a través de un biplot GGE para establecer los mejores híbridos según su IS y estabilidad en las localidades. Los híbridos que presentaron un mejor IS y estabilidad fueron: 12, 49, 11 y 186. Los híbridos superiores por poseer atributos agronómicos deseables fueron: 28, 193, 143. El ambiente de Celaya, Gto., mostró el mayor poder discriminatorio de híbridos; Tlahuelilpan, Hgo. y El Prado, N.L., clasificaron de manera similar a los híbridos evaluados. Con el uso tanto de IS y el modelo SREG es posible la identificación eficiente y confiable de híbridos sobresalientes; así como la clasificación de las localidades.

**Palabras clave:** índice de selección; biplot GGE.

### Abstract

The use of maize hybrids is a cue element in many developing countries to reach competitive levels in production being a necessity for the plant breeder not to neglect his improving genetical program as well as significant improvements on the formation and identification of better individuals. In this process the real challenge he has to face is the selection of the most promising materials therefore the use of new and better techniques would be essential. Consequently, the main goal of the present work was to evaluate the agronomical behavior of some hybrids of maize in order to select those with the best attributes for several grouped characters in a rate of selection and the most stable ones for a mega-environment and intermediate altitude regions. The present work consisted in evaluating 13 agronomical phenotypical characteristics of 220 hybrids from which 200 were experimental hybrids and 20 witness hybrids, in three communities under an incomplete blocks design with two repetitions, to calculate afterwards its IS based on these. Later on, the interaction genotype-environment took place through a biplot GGE to determine the best hybrids according to their IS and stability in the communities. The hybrids presenting the best IS and stability were: 12, 49, 11 and 186. The superior hybrids possessing desiring agronomical attributes were: 28, 193, 143. The Celaya, Gto. environment showed the biggest discriminatory power of hybrids; Tlahuelilpan, Hgo. and El Prado, N.L., classified in a similar way the evaluated hybrids. With the use of either IS or the SREG model the efficient and trustable identification of significant (or important) hybrids is possible as well as the communities.

**Key word:** index of selection; biplot GGE

---

## **Introducción**

El uso de híbridos de maíz es un elemento clave en muchos países en desarrollo para alcanzar niveles competitivos en la producción (Espinosa *et al.*, 2002) ya que poseen un buen rendimiento, resistencia a plagas y enfermedades, una mayor adaptación y un porte adecuado de la planta que permite tener más plantas por unidad de superficie.

Siendo necesario que el fitomejorador no descuide su programa de mejoramiento genético y tenga avances significativos en la formación e identificación de individuos cada vez mejores. En este proceso, el verdadero reto al que él se enfrenta es en la selección de los materiales más prometedores, aunque el criterio de lo que es mejor dependa de lo que se desea mejorar, que generalmente significa la mejor calidad genética (Xu, 2003); por lo que tiene que utilizar nuevas y mejores técnicas de selección.

Pero la selección no debe de enfocarse en una sola característica, normalmente rendimiento, ya que se descuidan otras de importancia agronómica, pudiendo ser más efectiva si se consideran en forma simultánea varios caracteres (Celis *et al.*, 1986). En este caso, se puede hacer uso de tres métodos de selección: a) selección en tándem; b) niveles independientes de rechazo e; c) índices de selección. Siendo este último más eficiente para el mejoramiento en forma simultánea de varias características cuantitativas mediante selección (Lin, 1978; Bänziger y Lafitte, 1997; Sharma y Duveiller, 2003).

El valor del índice representa la suma de las distancias euclidianas de las variables con respecto a la meta deseada para cada genotipo. Aquellos genotipos con el menor valor de índice son las que minimizan dicha distancia y representan aquellos más cercanos a los criterios expresados en la meta asignada a cada variable, y por tanto, se pueden considerar como “superiores” (Barreto *et al.*, 1991).

Sin embargo, el comportamiento relativo de los híbridos puede cambiar a través de los diferentes ambientes de evaluación, limitando la exactitud de los estimados y complicando la identificación de los genotipos más prometedores (Crossa *et al.*, 1990). Siendo necesario analizar los efectos de la interacción genotipo-ambiente (IGA) para explorar la respuesta de los genotipos a ambientes específicos (Magari y Kang, 1993; Coutiño y Vidal, 2003; De León *et al.*, 2005). En este contexto, el “biplot” SREG (regresión en los sitios), permite agrupar ambientes y genotipos con semejante comportamiento e identificar de forma gráfica cuál es el genotipo con mayor potencial dentro de cada subgrupo de ambientes (Yan, 2002; Burgueño *et al.*, 2003).

El objetivo de esta investigación fue valorar el comportamiento agronómico de híbridos de maíz para seleccionar aquellos con mejores atributos para varios caracteres agrupados en un índice de selección y los más estables para un mega-ambiente y regiones de altitudes intermedias.

## **Materiales y Métodos**

El material genético utilizado en este trabajo de investigación estuvo constituido por 220 híbridos de maíz, de los cuales 200 fueron híbridos triples de prueba, provenientes del programa de mejoramiento para el Bajío del Instituto Mexicano del Maíz “Dr. Mario E. Castro Gil” (IMM) de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), y 20 testigos; de los cuales, cuatro fueron híbridos comerciales y el resto, híbridos sobresalientes del programa.

En Tepalcingo, Morelos en el ciclo agrícola Otoño – Invierno 2007-2008, se realizaron los cruzamientos entre 50 líneas endogámicas con seis cruza simples, todas del IMM de la UAAAN. Al atender el vigor y la coincidencia en la floración de los progenitores, algunas líneas solo se cruzaron con una cruza simple.

El total de los híbridos se evaluaron en tres localidades: dos en el Bajío (Tlahuelilpan, Hgo. y Celaya, Gto. con 2040 y 1754 msnm, respectivamente) y la otra en el norte del país (El Prado, Galeana, N.L., con 1890 msnm), durante el ciclo de Primavera – Verano del 2009. Se utilizó el diseño experimental de bloques incompletos con arreglo de  $\alpha$ -látice con dos repeticiones por ambiente. La parcela experimental fue un surco de 5 m de longitud con 21 plantas separadas a 0.19 m y una separación entre surcos de 0.75 m, excepto para la localidad de El Prado, Galeana N.L. con una separación entre surco de 0.92 m.

Las variables evaluadas fueron: floración masculina y femenina (días); sincronía floral (días); altura de planta y mazorca (cm); relación altura de planta/mazorca (%); acame de raíz y tallo (%); plantas con fusarium spp (%); mala cobertura (%); calificación de planta y mazorca (1=muy buena, 5=muy mala) y; rendimiento de mazorca ( $t\ ha^{-1}$ ) al 15.5% de humedad.

Los datos obtenidos de las 13 variables evaluadas se utilizaron para estimar el índice de selección (IS) propuesto por Barreto *et al.* (1991). El índice se calculó a través de la siguiente ecuación:

$$IS = \left\{ [(Y_j - M_j)^2 * I_j] + [(Y_i - M_i)^2 * I_i] + \dots [(Y_n - M_n)^2 * I_n] \right\}^{1/2},$$

en donde IS= Índice de selección;  $Y_{j\dots n}$ =variable en unidades Z;  $M_{j\dots n}$  = meta de selección;  $I_{j\dots n}$ =intensidad de selección.

La meta de selección utilizada en cada una de las variables fue aquella que asegurara tomar en cuenta al 7 % del total de los híbridos, teniendo valores positivos para seleccionar genotipos arriba de la media y, valores negativos para considerar genotipos por debajo del promedio. La intensidad de selección reflejó la importancia relativa de las diferentes variables utilizadas, tomando valores de 0 a 10, donde el 10 se le asignó a las variables de mayor importancia para el mejorador. Considerando el mejor genotipo a aquel que tuvo el IS más pequeño, ya que es el que más cerca se encuentra de los criterios deseados (Barreto *et al.*, 1991).

Dado que las variables agronómicas utilizadas en el cálculo del IS se encontraban en diferentes unidades (días, centímetros, por ciento, toneladas, etc) fue necesario estandarizar los valores para cada una de las variables para así poder combinarlas usando la siguiente fórmula:

$Z = \frac{y_j - \bar{y}}{s}$  en donde  $Z$  = valor estandarizado;  $y_j$ = valor observado para la entrada  $j$ ;  $\bar{y}$  = promedio de todas las entradas;  $S$  = desviación estándar del grupo de entradas.

La construcción del IS se realizó para cada una de las repeticiones por cada localidad considerando 11 de las 13 variables evaluadas para cada híbrido ya que se excluyeron floración femenina y altura de mazorca, debido a que mostraron una correlación significativa con floración masculina y altura de planta.

Los resultados de IS obtenidos de los 220 híbridos, se analizaron bajo un diseño de bloques al azar con el programa SAS versión 9.1 (SAS Institute, 2004) en forma combinada a través de localidades, con la finalidad de observar diferencias significativas entre las localidades, bloques, híbridos e híbridos por localidad. También se obtuvieron las medias de los híbridos a través de localidades y en forma individual para cada localidad.

Para explorar la aportación de cada uno de los componentes a la variación total se particionó la suma de cuadrados de los híbridos en: experimentales, testigos y un contraste entre híbridos experimentales y testigos.

Debido a la importancia y significancia de la interacción híbridos x localidad, se utilizó el análisis lineal-bilineal SREG (regresión de los sitios) propuesto por Yang y Hunt (2002) con el propósito de explicar, mediante la técnica de componentes principales y el gráfico biplot, dicha interacción más el efecto principal de genotipos, por medio del siguiente modelo:  $Y_{ij} = \mu_j + \sum_{k=1}^t \lambda_k \alpha_{ik} \gamma_{jk} + R_{ij}$ , donde  $Y_{ij}$ =rendimiento del i-ésimo genotipo en el j-ésimo ambiente;  $\mu_j$ =media en el ambiente j  $t$ =número de componentes principales;  $\lambda_k$ =raíz cuadrada del vector característico del k-ésimo eje del ACP;  $\alpha_{ik}$ =calificación del ACP para el k-ésimo eje del i-ésimo genotipo;  $\gamma_{jk}$ =calificación del ACP para el k-ésimo eje del j-ésimo ambiente;  $R_{ij}$ =residual del modelo con  $\sim \text{DNI}(0, \frac{\sigma^2}{r})$ .

Este modelo se sometió a modificaciones importantes con el objetivo principal de seleccionar los híbridos de mejor IS y con la mejor estabilidad a través de las localidades, el gráfico generado adquirió un término adicional al considerar los eigenvalores correspondientes a las coordenadas del promedio ambiental (CPA) denominado “probador virtual” (P). Con la nueva coordenada y considerando el origen se trazó una línea que generó la rotación de los ejes y de esta manera la estabilidad de los genotipos se midió por la distancia de las coordenadas de los materiales con relación a la abscisa y los híbridos más estables fueron los más cercanos a esta línea P (Yan y Hunt, 2002).

Otra modificación consistió en trasladar los vectores de los ambientes a una posición opuesta (negativa) a lo normal, sin perder el sentido para lo que inicialmente fue planteado el modelo. De esta forma, fue factible dar una explicación y sentido más claro sobre el comportamiento de los IS, el comportamiento específico del IS de los genotipos a un ambiente en particular y finalmente estar en condiciones de seleccionar los genotipos prometedores con la ayuda de esta herramienta estadística visual (Peña 2008)

De acuerdo con el planteamiento de Yan *et al.* (2001) los híbridos y ambientes ideales fueron aquellos que tuvieron el vector de mayor longitud con relación al primer componente principal y que estaban cercanos al origen del segundo componente principal por su asociación directa con la estabilidad.

## Resultados y Discusión

El análisis de varianza (Cuadro 1) detectó diferencias ( $P \leq 0.01$ ) para la fuente de variación localidades para la variable índice, debido principalmente a las condiciones

climáticas, edáficas y de manejo de cada localidad, de aquí la importancia de evaluar los materiales genéticos en más de una sola localidad para así tener una mejor estimación de los parámetros evaluados, considerando los efectos ambientales.

Las diferencias entre repeticiones dentro de localidades fueron significativas ( $P \leq 0.01$ ), siendo por lo tanto, eficiente el diseño experimental, y permitió quitar el efecto del error experimental para tener una mejor apreciación de las diferencias entre los híbridos.

La fuente de variación híbridos, también mostró diferencias estadísticas ( $P \leq 0.01$ ) debido posiblemente a la diversidad genética presente en las líneas, cruza simples que formaron los híbridos de prueba y; por los tipos de cruza (experimental y testigo) involucrada en el estudio. La descomposición de la suma de cuadrados de híbridos, en experimentales y testigos, presentaron de igual manera diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ), no siendo lo mismo para el contraste entre los híbridos experimentales y testigos, por presentar estos dos tipos de híbridos, una media general muy similar (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Análisis de varianza combinado a través de localidades para la variable índice de selección (IS) de 220 híbridos evaluados en el 2008.

F.V.	GL	S.C.	C.M.
Localidades (Loc)	2	1224.449	612.225 **
Bloques/loc	3	117.101	39.034 **
Híbridos (Hib)	219	5931.725	27.086 **
Experimentales (Exp)	198	5115.954	25.838 **
Testigos (Test)	20	778.650	38.933 **
Exp vs Test	1	37.121	37.121
Hib x Loc	438	4331.034	9.888 **
Exp x Loc	396	3744.253	9.455 **
Test x Loc	40	538.532	13.463 **
Error	837	5541.934	6.621
Total	1499	17340.867	
C.V.		20.117	
Media General		12.791	
Media Exp		12.870	
Media Test		12.480	

\*, \*\* = significativo al 0.05 y 0.01 niveles de probabilidad, respectivamente; F.V.= fuentes de variación; GL = grados libertad; SC = suma de cuadrados; CM = cuadrados medios; C.V. = coeficiente de variación.

La variación observada en la fuente de variación híbridos fue debida principalmente a la variación presente en los híbridos experimentales (86.25 %) seguida de la variación de testigos (13.13 %). Dichas diferencias observadas pueden ser atribuidas a la diversidad en el fondo genético que tienen las líneas y cruza simples que formaron los híbridos; sin dejar de considerar la diferencia presentes en los híbridos utilizados como testigos, ya que algunos son comerciales y otros en proceso de caracterización.

Quizá otro factor que maximizo la diferencia en los híbridos fue la naturaleza que tiene la variable bajo estudio (IS) ya que integró en su valor a 11 variables agronómicas distintas. Por lo que fue muy poco probable que dos híbridos tuvieran un comportamiento similar en todas estas características. De esta manera, se origina la posibilidad de seleccionar al o los híbridos de mejor expresión agronómica.

Sin embargo, la selección y recomendación de los mejores individuos no puede hacerse en forma directa, debido a que la interacción híbridos por localidad (Cuadro 1) presento diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ), así como también en los componentes de la descomposición de dicha fuente (experimentales x localidad y testigos x localidad). Estos resultados indicaron que los tratamientos cambiaron de orden relativo a través de las localidades. Para apreciar mejor esta aseveración, se concentraron en el Cuadro 2 las medias generales de los mejores 15 híbridos en cuanto a índice, así como su media obtenida en cada localidad.

En este Cuadro se puede observar que el rango del valor de índice de los mejores 15 genotipos se encuentra entre 8.798 a 10.020, estos valores reflejan la cercanía de las características de estos híbridos a las que el investigador desea, tales como buen rendimiento, relación mazorca-planta no mayor al 50 %, precocidad, sin problemas de acames y enfermedades.

Sin embargo, es posible observar también que la posición de estos híbridos en cada una de las tres localidades fue inconsistente (Cuadro 2), difiriendo drásticamente a los lugares que ocupan los mismos híbridos en las diferentes localidades; reafirmando la importancia que jugó la interacción genotipo x ambiente en este trabajo. En otras palabras, el ambiente influyó en el genotipo de tal manera que el fenotipo cambio la expresión de al menos una de las variables evaluadas, originando un valor de índice diferente en cada localidad, que repercutió en el cambio de orden de importancia de los híbridos.

**Cuadro 2.** Media general a través de localidades de los mejores 15 híbridos y su media por localidad para la variable índice de selección (IS)

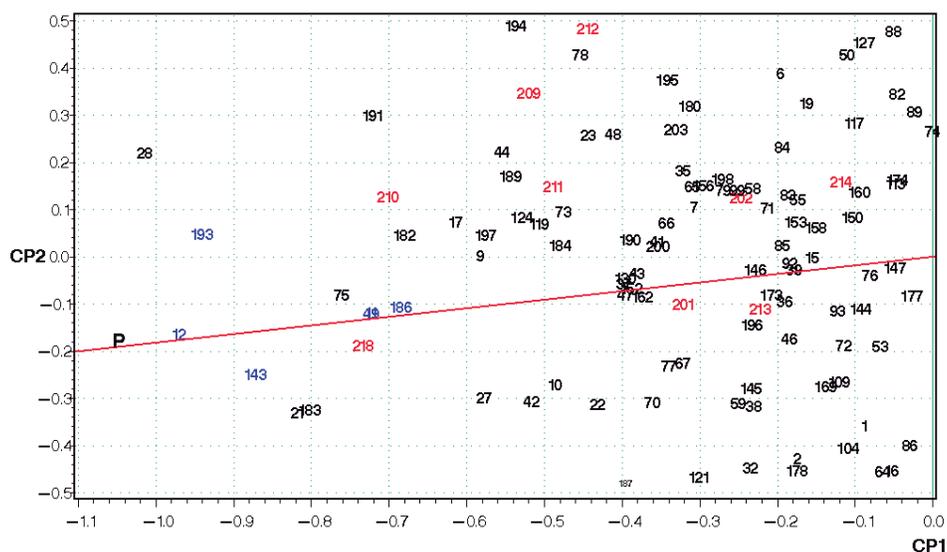
Posición	Híb	General	Loc 1	Posición	Loc 2	Posición	Loc 3	Posición
1	28	8.798	8.528	5	4.996	1	12.870	83
2	12	8.823	7.338	2	6.849	4	12.281	49
3	193	8.924	10.056	24	6.951	5	9.766	5
4	143	9.054	9.693	19	8.743	31	8.727	2
5	26	9.281	6.518	1	9.336	42	11.989	43
6	21	9.296	8.769	6	8.968	35	10.153	9
7	183	9.338	9.238	12	9.199	38	9.579	4
8	75	9.668	9.413	15	7.983	16	11.609	33
9	218	9.729	9.115	10	8.554	26	11.519	30
10	11	9.775	10.135	27	8.659	27	10.530	12
11	25	9.802	9.117	11	11.878	126	8.411	1
12	49	9.832	8.968	8	8.132	18	12.398	56
13	191	9.911	12.454	96	7.273	9	10.007	7
14	186	9.999	9.047	9	8.202	20	12.750	76
15	182	10.020	10.816	40	8.138	19	11.107	20

Híb = híbrido; Loc = localidad

Ante estos resultados, la identificación y selección del o de los mejores materiales resultaría difícil y complicada, en donde las recomendaciones no serian las adecuadas, originando sesgos en la selección. Teniendo en cuenta la inconsistencia a través de los ambientes y a la gran cantidad de híbridos estudiados, se empleo el modelo de regresión se los



Para identificar a los materiales más estables y con el valor de índice más bajo, se tuvo que hacer una proyección de la Figura 1 (recuadro) logrando una mejor visualización del número correspondiente a cada híbrido, dando origen a la Figura 2. Considerando como deseables a aquellos que se encuentran lo más cerca del probador por asociarse de manera directa con la estabilidad, como lo mencionan Yan *et al.* (2001).



**Figura 2.** Proyección del recuadro de la figura 1 donde se aprecia el probador virtual y los híbridos más estables.

En la figura 2 se observa que los híbridos a los cuales se les considera como superiores por tener los valores de IS más bajos y encontrarse cerca del probador virtual (eje de las abscisas) son: El híbrido 12 muestra un valor de IS bajo así como una buena estabilidad. Los híbridos: 49, 11 y 186; no son los que muestran mejores IS, más sin embargo si muestran buena estabilidad. En contraste, se puede observar que los híbridos: 28, 193, 143 entre otros muestran un IS bajo más sin embargo son inestables.

Otro aspecto sobresaliente que es necesario mencionar es que al menos siete híbridos experimentales superaron a los híbridos testigos identificados con los números 218, 210, 211, 201 y 213, tanto en estabilidad, como en el valor de IS. Lo que indica que al menos un híbrido del programa de mejoramiento genético del Instituto Mexicano del Maíz tiene posibilidades de ser explotado a nivel comercial, ofreciendo de esta manera una opción más a los agricultores, aunque es necesario hacer evaluaciones a través de años.

## Conclusiones

La selección de híbridos de maíz pudo realizarse asegurando mejores atributos agronómicos y estabilidad en las localidades evaluadas empleando la metodología de IS y gráficas “biplot”; siendo estas dos buenas herramientas estadísticas para llevar a cabo la selección sin dejar a un lado la interacción genotipo-ambiente.

## Literatura Citada

- Bänziger, M., and H.R. Lafitte., 1997.** Efficiency of secondary traits for improving maize for low-nitrogen target environments. *Crop Sci.* 37:1110–1117
- Barreto H J, J A Bolaños, H S Córdova., 1991.** Índice de Selección. Guía para la Operación del Software. Manual de Capacitación Regional. CIMMYT. Programa Regional Centroamérica y el Caribe, Guatemala, Guatemala.
- Burgueño, J., J. Crossa and M. Vargas., 2003.** Graphing GE and GGE Biplots. In: Handbook of Formulas and Software for Plant Geneticists and Breeders. M.S. Kang (ed). Food Products Press. New York. pp:193-203.
- Celis, A. D., J. D. Molina, G. y A. Martínez, G., 1986.** Estimación de parámetros genéticos e índices de selección de la variedad de maíz Zac 58. *Agrociencia.* 63: 134-136.
- Crossa, J., H. Gauch y R. Zobel., 1990.** Additive main effects and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trials. *Crop Sci.* 30: 493-500
- Coutiño., E.B. y V.A. Vidal., 2003.** Estabilidad del rendimiento de grano de híbridos de maíz usando mejores predictores lineales insesgados. *Agrociencia.* 37:605-616.
- De León, C. H., F. Rincón, S., M. H. Reyes, V., D. Sámano, G., G. Martínez, Z., R. Cavazos, C. y J.D. Figueroa, C., 2005.** Potencial de rendimiento y estabilidad de combinaciones germoplásmicas formadas entre grupos de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 28(2):135-143.
- Espinosa, C. a., M. Sierra, M. y N. Gómez, M., 2002.** Producción y tecnología de semillas mejoradas de maíz por el INIFAP en el escenario sin la PRONASE. *Agronomía Mesoamericana.* 14(1):117-121.
- Kempton, R. A., 1984.** The use of biplots in interpreting variety by environment interactions. *J. Agric. Sci.* 103:123-135.
- Lin, C. Y., 1978.** Index selection for genetic improvement of quantitative characters. *Theor. Appl. Genet.* 52:49-56.
- Margari, R. and M. Kang., 1993.** Genotype selection via a new yield stability statistic in maize yield trials. *Euphytica.* 70:105-111.
- Peña D. A. Z., 2008.** Identificación de germoplasma con atributos para desarrollar híbridos de maíz. Tesis de Maestría en Ciencias en Fitomejoramiento. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Pp: 71.
- Sharma, R.C., and E. Duveiller., 2003.** Selection index for improving *Helminthosporium* leaf blight resistance, maturity, and kernel weight in spring wheat. *Crop Science* 43:2031-2036.
- Xu, S., 2003.** Advanced statistical methods for estimating genetic variances in plants. *Plant Breed. Rev.* 22: 113-163.
- Yan, W., P. L. Cornelius, J. Crossa and L. A. Hunt., 2001.** Two types of GG for analyzing multi-environmental trial data. *Crop Sci.* 41:656-663.
- Yan W. and L. A. Hunt., 2002b.** Biplot analysis of multi-environment trial data *in* quantitative genetics, Genomics and Plant breeding edited by M. S. Kang. pp. 289-303.

## **Maíz**

# Valoración Agronómica y Genética de Híbridos Triples de Maíz a través de Ambientes

## Agronomic and Genetic Assessment of Corn Hybrids there-way through Environments

Daniel Sámano Garduño<sup>a\*</sup>, Humberto De León Castillo<sup>a</sup>, Gustavo A. Burciaga Vera<sup>a</sup>, María Elena González Guajardo<sup>a</sup>, Alfredo De la Rosa Loera<sup>a</sup> y Martha Jaramillo Sánchez<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Col. Buenavista, C.P.25315 Saltillo, Coahuila. México

---

### Resumen

Cuando se desea explotar el vigor híbrido se debe contar con líneas con buen comportamiento agronómico y excelente aptitud combinatoria estimada por el diseño línea x probador. El objetivo de esta investigación fue estudiar el comportamiento agronómico y genético de una serie de cruzas triples de maíz, considerando la interacción genotipo-ambiente para la identificación y selección del material con excelente potencial de rendimiento y adaptabilidad. Se evaluaron 60 híbridos triples formados entre el cruzamiento de 15 líneas con cuatro cruzas simples. La evaluación fue en el 2008 en tres localidades. La variable estudiada fue rendimiento de mazorca. Se hizo un análisis de varianza en forma combinada a través de localidades y el modelo línea x probador. Las interacciones genotipo x ambiente y línea x probador se analizaron siguiendo el modelo multiplicativo "análisis de regresión de los sitios" (sreg) originando el gráfico biplot gge. Se estimó la acg de líneas y probadores. Los resultados indicaron diferencias significativas ( $p \leq 0.01$ ) para localidades, híbridos, líneas, probadores y en línea x probador. La diferencia en las líneas indicó que la población de origen presentó una amplia variabilidad genética. Mientras que en los probadores se debió a que representan a una población tropical y una población exótica. Contribuyendo a la variación de los híbridos los efectos genéticos aditivos y de dominancia en proporciones similares. Existió interacción híbridos x localidad. La gráfica biplot gge mostró que las localidades representaron a un mismo mega-ambiente, existiendo mayor relación entre n.l. y gto. Mientras que hgo. Tuvo el mayor poder de discriminación. Los híbridos de mejor potencial de rendimiento y estabilidad fueron el 37, 3, 22 y 43. Los probadores no presentaron interacción cruzada, siendo el probador 3 el de mayor poder de discriminación. Las mejores líneas en acg fueron la 13, 7, 11 y 3.

**Palabras clave:** biplot gge, estabilidad, línea x probador.

### Abstract

When you want to exploit the hybrid force must be lined with good agronomic performance and excellent combining ability estimated by the line x tester design. The objective of this research was to study the genetic and agronomic performance of a series of triple crosses of maize, considering the genotype-environment interaction for identification and selection of material with excellent yield potential and adaptability. 60 triple hybrids were evaluated formed between the crossings of 15 lines with four simple crosses. The evaluation was in 2008 at three locations. The studied variable was performance cob. It was an analysis of variance combined across locations and the line x tester model. Genotype x environment interactions and line x tester were analyzed following the model multiplicative regression analysis of sites "(sreg) causing the gge biplot graph. It was estimated gca of lines and testers. The results indicated significant differences ( $p \leq 0.01$ ) for locations, hybrids, lines, testers and line x tester. The difference in the lines indicated that the source population presented a wide genetic variability. While testers were due to a population representing a population of tropical and exotic. Contributing to the variation of the hybrid additive genetic effects and dominance in similar proportions. There was interaction hybrid x location. The gge biplot graphically showed that the localities represented the same mega-environment a greater relationship between nl and guanajuato. While hidalgo. Had the highest discriminatory power. The best hybrid yield potential and stability were the 37, 3, 22 and 43. The testers did not have interaction cross, where the tester 3, the greater power of discrimination. The best lines in gca were 13, 7, 11 and 3.

**Keyword:** gge biplot, stability, line x tester.

---

## Introducción

Uno de los elementos más importantes dentro de un programa de mejoramiento genético de plantas, es contar con líneas con buen comportamiento agronómico y excelente aptitud combinatoria para lograr resultados satisfactorios en la formación de híbridos sobresalientes (Fan *et al.*, 2003) ya que de esta manera se explota el vigor híbrido (De León *et al.*, 2005).

Sin embargo, la evaluación de líneas a través de híbridos, es la fase más cara y crítica en el mejoramiento del maíz, debido a que el número de líneas se incrementa en cada generación de endogamia y su evaluación en todas las combinaciones posibles no es factible (Castañón *et al.*, 2002). En tal caso, se puede hacer uso del diseño línea x probador propuesto por Singh y Chaudhary (1985), en donde la elección de un probador deseable está basada en la simplicidad en su uso, habilidad para clasificar el merito relativo de las líneas, maximizar la ganancia genética, e incrementar la media de rendimiento (Russell *et al.*, 1992).

La elección apropiada de probadores es muy importante debido a que se desea incrementar la información sobre las líneas evaluadas. Por lo general, el mejorador considera varias alternativas en la elección de un probador: a) presencia de grupos heteróticos; b) amplia vs reducida base genética; c) alta vs baja frecuencia génica; d) aptitud combinatoria general vs específica; e) alto rendimiento vs bajo y; f) varios probadores vs uno solo (Hallauer, 1975).

Es importante considerar además que se tengan clasificados los probadores en grupos heteróticos, ya que el incremento en la divergencia entre estos materiales, aumenta la probabilidad de seleccionar alelos complementarios favorables en diferentes loci (Betrán y Menz, 2004).

Cuando se utilizan probadores divergentes en la evaluación de líneas, estas diferencias pueden reflejarse en la existencia de interacciones línea x probador, la cual es indicadora de la existencia de efectos de aptitud combinatoria específica (ACE) de las líneas con los probadores y que ponen en evidencia la presencia de dominancia y/o efectos epistáticos que involucran dominancia en el control del carácter en cuestión (Palacios y Ángeles, 1990)

No obstante, nunca se debe de olvidar que la evaluación del material genético de interés debe realizarse en diferentes localidades que formen un mega-ambiente, ya que la exploración de la interacción genotipo x ambiente en ensayos multi-regionales es elemental sobre todo en las etapas finales del mejoramiento por ser uno de los factores que deben determinar la selección y recomendación de genotipos superiores, porque su respuesta es comparada, su estabilidad y adaptabilidad general es evaluada, la interacción genotipo x ambiente (GE) es estudiada y los mejores genotipos en ambientes específicos y a través de ambientes son seleccionados para la realización de nuevos ensayos o para su recomendación de uso comercial (Cossa *et al.*, 2006).

El objetivo de esta investigación fue estudiar el comportamiento agronómico y genético de una serie de cruzas triples de maíz, considerando la interacción genotipo-ambiente para la identificación y selección del material con excelente potencial de rendimiento y adaptabilidad.

## Materiales y Métodos

En esta investigación se utilizaron 15 líneas endogámicas de maíz ( $S_5$ ) derivadas de una población enana y 4 cruzas simples representativas de las poblaciones tropical (Probador

1 y 3) y exótico (Probador 2 y 4), todos ellos formados en el Programa Bajío del Instituto Mexicano del Maíz (IMM) “Dr. Mario E. Castro Gil” de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). Cada una de las líneas fue cruzada con los cuatro probadores en Tepalcingo, Mor. durante la ciclo otoño – invierno (O-I) 2007-2008, originando 60 híbridos triples, que fueron evaluados en la Primavera del 2008 en El Prado, Galeana, N.L. (localidad 1), Tlahuelilpan, Hgo. (localidad 2) y, Celaya, Gto. (localidad 3) con altitudes de 1697, 2040 y 1754 msnm, respectivamente.

El diseño de siembra fue bajo un diseño de bloques incompletos con arreglo alfa-latice con dos repeticiones por localidad, en donde la parcela experimental consistió en un surco de 4 m con 30 plantas por surco, con una distancia de 0.80 m entre surcos en las localidades 2 y 3, y de 0.92 m en la localidad 1. La variable estudiada fue rendimiento de mazorca al 15.5 % de humedad. Los resultados fueron analizados con el programa estadístico SAS versión 9.1 (SAS Institute, 2004) en forma combinada a través de localidades, fraccionando la fuente de variación híbridos en línea, probador y línea x probador, siguiendo el modelo línea x probador descrito por Singh y Chaudhary (1985).

La aptitud combinatoria general (ACG) de líneas y probadores se estimó de la siguiente manera:  $g_i = \mu_i - \mu$ ;  $g_j = \mu_j - \mu$ ; donde  $g_i$  y  $g_j$  son los efectos de ACG de la cruce  $i \times j$ ;  $\mu_i$ ,  $\mu_j$  y  $\mu$  son la media de las cruces donde interviene el progenitor  $i$ ,  $j$  y la media general, respectivamente. En las pruebas de hipótesis de las fuentes de variación localidades, bloques, tratamientos y los componentes de la descomposición de este último se utilizó el cuadrado medio de la interacción híbridos x localidad para calcular el error estándar que refleje la respuesta a través de ambientes.

La interacción genotipo x ambiente se analizó siguiendo el modelo multiplicativo “análisis de regresión de los sitios” (SREG) originando el gráfico biplot GGE. El gráfico generado adquirió un término adicional al considerar los eigenvalores correspondientes a las coordenadas del promedio ambiental (CPA) llamado probador virtual (P), originando una rotación de los ejes y, de esta manera, identificar a los genotipos más cercanos a la abscisa como los más estables. Bajo este mismo principio se modeló también la interacción de línea x probador y la ACG de las líneas y probadores x localidad.

## Resultados y Discusión

El análisis de varianza (Cuadro 1) detectó diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ) para la fuente localidades, indicando que las localidades utilizadas en esta investigación presentaron condiciones climáticas, edáficas y de manejo diferente. El involucrar germoplasma diferente (enano, tropical y exótico) para la formación de los híbridos bajo estudio, origina que éstos presentaran diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ). También se debe considerar la variación genética de las líneas y de los probadores. La importancia de estos resultados reside en que la cruce que sea superior a las demás, puede ser considerada como un patrón heterótico de importancia, que sirva para la clasificación de nuevas líneas en grupos heteróticos.

Al encontrar estos resultados, fue necesario particionar la variación presente en los híbridos en los componentes que lo integraron, como fue: línea, probador y la interacción línea x probador. Los resultados (Cuadro 1) indicaron que los tres componentes de descomposición presentaron diferencias estadísticas ( $P \leq 0.01$ ). Las líneas, aún y cuando fueron derivadas de una misma población (enana) se diferenciaron entre sí, indicativo de que la población de origen presentó una amplia variabilidad genética. La diferencia entre los

probadores era de esperarse debido a que dos de ellos pertenecen a una población tropical y los otros dos a una población exótica.

La contribución que tuvieron las líneas a la suma de cuadrados de híbridos fue de 43.31 %, mientras que el efecto de los probadores fue de 11.04 % y, el resto (45.65 %) fue causada por la interacción de los dos componentes antes mencionados. Si se considera que la variación presente en líneas y probadores es debida a efectos genéticos aditivos y que la interacción de línea x probador es atribuida a efectos genéticos de dominancia o no aditivos, entonces la variación de los híbridos fue causada por ambos efectos genéticos, aunque ligeramente superior la contribución de los aditivos (54.43 %).

**Cuadro 1.** Análisis de varianza de 60 híbridos triples de maíz evaluados en tres localidades durante la primavera del 2008

F.V.	G.L.	SC	CM	
Localidades (Loc)	2	185.435	92.718	**
Bloques/Loc	3	36.709	12.236	
Híbridos (Hib)	59	3272.581	55.467	**
Línea (Lin)	14	1417.297	101.236	**
Probador (Prob)	3	361.203	120.401	**
Lin x Prob	42	1494.081	35.573	**
Loc x Hib	118	1391.233	11.790	**
Loc x Lin	28	334.064	11.931	
Loc x Prob	6	275.234	45.872	**
Loc x Lin x Prob	84	781.935	9.309	
Error	177	1407.213	7.950	
Total	359	6293.172		

C.V. 25.779 %

Media 10.938

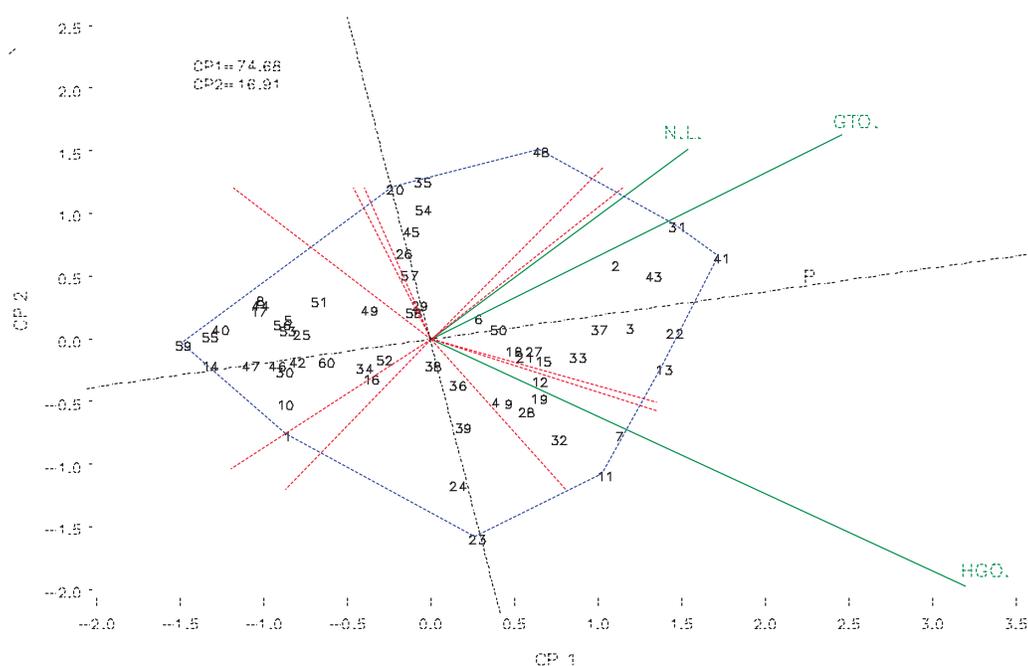
\* y \*\* = estadísticamente significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente; F.V. = fuentes de variación; G.L. = grados de libertad; SC = suma de cuadrados; CM = cuadrados medios; C.V. = coeficiente de variación

La selección de los mejores híbridos no debe realizarse considerando solo las medias generales obtenidas a través de localidades ya que la interacción híbridos x localidad presento diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ). Según Gordon *et al.* (2006) la interacción genotipo ambiente (IGA) ocurre cuando hay respuestas diferentes de los genotipos en relación con la variación del ambiente. Esta interacción merece gran importancia en la evaluación de híbridos desarrollados para diferentes circunstancias de producción, es necesario integrar los conceptos de adaptabilidad y estabilidad para definir el comportamiento de genotipos evaluados a través de ambientes contrastantes.

En estos casos se puede utilizar el modelo de regresión de sitios (SREG). Este modelo, que incluye en el termino bilineal  $G + GE$ , proporciona un análisis grafico del comportamiento (rendimiento y estabilidad) de los genotipos denominado biplot GGE. Este grafico permite identificar el genotipo de mayor potencial en cada ambiente y agrupar genotipos y ambientes con patrones similares de respuesta (Ibañez *et al.*, 2006).

En la Figura 1 se aprecia que las tres localidades involucradas en el estudio son representativas del mega-ambiente de altitudes intermedias, ya que entre los vectores que representan a las localidades no existe un ángulo mayor a  $90^\circ$ , tal y como lo mencionan Crossa (1990); Crossa *et al.* (1990); y Gauch (1992). Sin embargo, entre las localidades de N.L. y Gto. existió un comportamiento similar en cuanto a la clasificación de los tratamientos, ya que sus vectores se encuentran cercanos. La localidad de Hgo. fue la que tuvo el mayor poder de discriminación de los híbridos, debido a que logró tener el vector de mayor longitud.

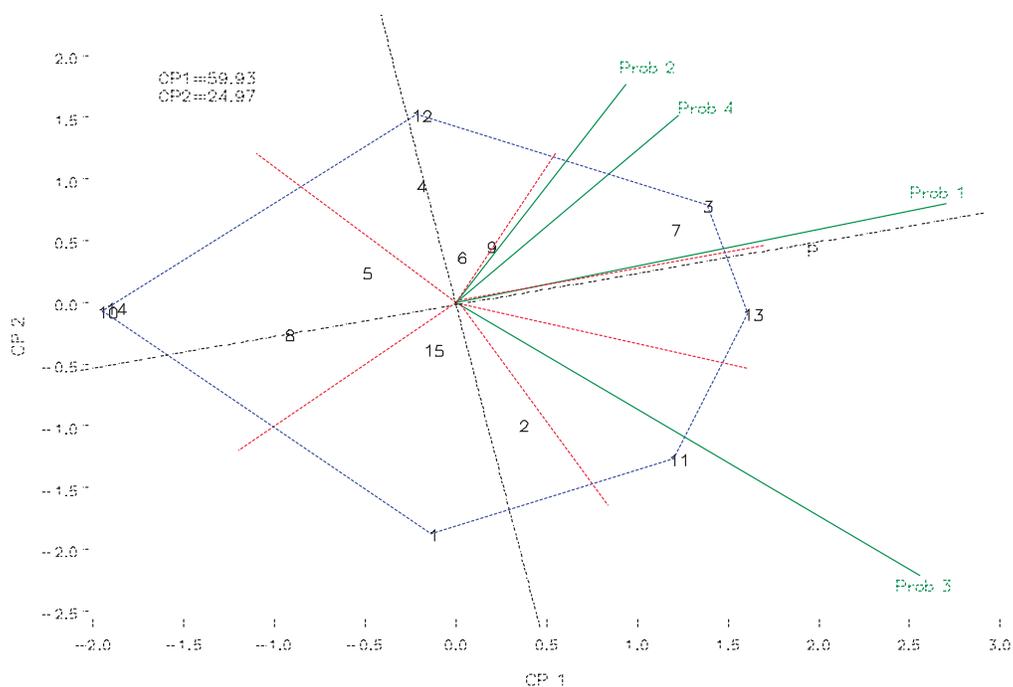
Para esta última localidad, se encontró que los híbridos 11, 7 y 32 fueron los que presentaron el mayor rendimiento del total del material evaluado, ya que se encuentran en el vértice donde pasa el vector de la localidad de Hgo. Para las localidades de N.L. y Gto. los tratamientos 31, 41, 43, 22, 13, 2, 3 y 37 fueron los de mejor desempeño, mientras que los genotipos que fueron más estables por estar muy cercanos al probador virtual fueron: 37, 3, 22 y 43. Estos resultados son alentadores para el programa de mejoramiento genético del cual se derivó el germoplasma, ya que se han logrado formar híbridos con un buen potencial de rendimiento y una excelente estabilidad.



**Figura 1.** Biplot SREG del comportamiento de 60 híbridos triples de maíz evaluados en tres localidades durante la primavera del 2008

Para esta última localidad, se encontró que los híbridos 11, 7 y 32 fueron los que presentaron el mayor rendimiento del total del material evaluado, ya que se encuentran en el vértice donde pasa el vector de la localidad de Hgo. Para las localidades de N.L. y Gto. los tratamientos 31, 41, 43, 22, 13, 2, 3 y 37 fueron los de mejor desempeño, mientras que los genotipos que fueron más estables por estar muy cercanos al probador virtual fueron: 37, 3, 22 y 43. Estos resultados son alentadores para el programa de mejoramiento genético del cual se derivó el germoplasma, ya que se han logrado formar híbridos con un buen potencial de rendimiento y una excelente estabilidad.

Siguiendo los principios básicos que tiene la gráfica biplot GGE para analizar la interacción genotipo x ambiente, y teniendo en consideración que la interacción línea x probador fue de relevancia, en este trabajo de investigación también se modeló dicha interacción, cuyos resultados fueron concentrados en la Figura 2. Se encontró que las cruza simples formadas entre líneas de la población exótica (probadores 2 y 4) están relacionadas genéticamente, por presentar vectores muy cercanos y de la misma longitud, es decir, las líneas tuvieron un comportamiento muy similar al ser cruzadas con estos dos probadores. También el probador 1 (tropical) guardó cierta relación con los probadores anteriores ya que se encontró en el mismo vértice, aunque hace una clasificación algo diferente.



**Figura 2.** Biplot SREG del comportamiento 15 líneas endogámicas apareadas con cuatro cruza simples utilizadas como probador (Prob) evaluadas en tres localidades durante la primavera del 2008.

El probador 3 (tropical) fue el que más se alejó del resto, el ángulo que formó su vector con el vector del probador 2 estuvo muy cercano a los 90°, lo que indica que probador 3 no está correlacionado con los otros tres probadores, por lo tanto, ordena de manera diferente a los genotipos, pero sin llegar a presentar interacción cruzada (Figura 2). Los probadores que tuvieron el mayor poder discriminatorio fueron los tropicales (prob 1 y 3) debido a que presentaron los vectores más largos. Siendo el Probador 1 el que puede considerarse como representativo, por su cercanía al probador virtual.

En cuanto a las líneas se refiere, se aprecia (Figura 2) la amplia variabilidad que existe entre ellas, confirmando lo antes dicho, pudiendo identificar al menos dos grupos de contraste: uno conformado por las líneas 10, 14 y 8 y el otro formado por las líneas 3, 7, 13 y 11. La razón de esta clasificación está basada en lo descrito por Bernardo (2001); Soengas *et al.* (2003); y Hoxha *et al.* (2004) que establecieron que se puede estimar la distancia genética de un conjunto de líneas a través del uso de probadores divergentes, para clasificarlas en grupos heteróticos.

De tal manera que se puede asumir, en base a estos resultados, que los grupos antes mencionados son grupos heteróticos complementarios, al existir una brecha amplia entre ellos. En otras palabras, existe la posibilidad de formar un patrón heterótico dentro de la población de maíz enano. La gran diversidad genética que presentó dicha población ha sido descrita anteriormente, obteniendo resultados sobresalientes (De León *et al.*, 2005; Sámano *et al.*, 2009).

Ante esta variabilidad presente fue conveniente hacer una selección de las mejores líneas y probadores en base a su aptitud combinatoria general (ACG). Sin embargo, como los probadores presentaron una interacción significativa con el ambiente (Cuadro 1) fue necesario modelar dicha interacción con una grafica biplot GGE, considerando la ACG tanto de los probadores como de las líneas a través de los ambientes de prueba. Cuyos resultados fueron concentrados en la Figura 3.

En este caso, no fue necesaria la rotación de los ejes debido a que los valores promedio de los eigenvalores fueron cercanos a cero, por lo que el componente principal 1 (CP1) se utilizó en forma directa para medir la estabilidad de los genotipos (Figura 3). Estos resultados reflejan que aunque las líneas no hayan presentado interacción significativa con los ambientes (Cuadro 1) al menos cuatro líneas fueron inestables es su comportamiento de ACG a través de los ambientes (líneas 5, 8, 9 y 3) ya que se encontraron retirados del eje del CP1. Caso contrario sucedió con los probadores, que fueron un poco más estables que la mayoría de las líneas.

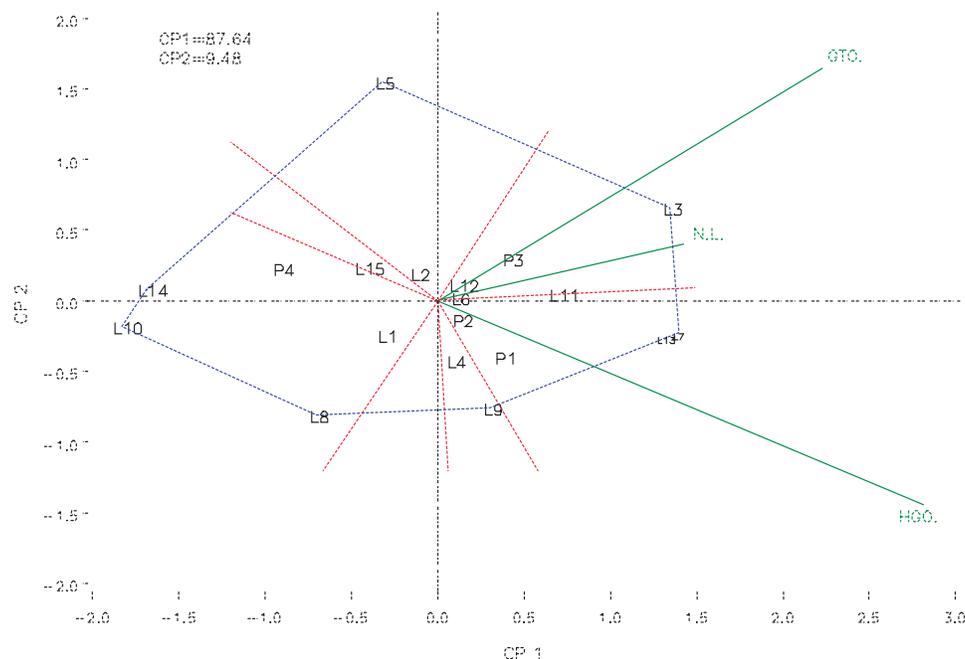
Para el valor de la ACG modelada a través de los ambientes de prueba (Figura 3) se encontró que las localidades presentaron un comportamiento similar al obtenido en el biplot de la interacción de híbridos x localidad (Figura 1) las localidades que realizaron una clasificación similar fueron Guanajuato y Nuevo León, pero esta ultima tuvo un poder discriminatorio menor, por tener el vector más corto. La localidad de Hidalgo, fue la que presento el vector más largo, lo que indica que tuvo mayor poder para discriminar a las líneas y probadores en cuanto a su ACG.

También se puede apreciar (Figura 3) que las líneas 13, 7, 11 y 3 son las que fueron las mejores en cuanto a su aptitud combinatoria general (ACG) y a excepción de la ultima, tuvieron una buena estabilidad. La superioridad de estas líneas se vio reflejada en el buen comportamiento agronómico que tuvieron sus descendientes, por lo que es de suponer que para obtener híbridos sobresalientes es necesario que al menos uno de sus progenitores tenga un valor alto en el estimado de ACG.

Las líneas 10 y 14 fueron las que tuvieron el valor de ACG más bajo, ya que ninguna de ellas logro combinar bien con los probadores utilizados en esta investigación. Ante estos resultados es posible asumir que estas líneas pertenecen al mismo grupo heterótico a aquel que forman los probadores. Sin embargo, es necesario hacer otro estudio enfocado a evaluar el comportamiento de cruza formadas entre estas líneas para establecer la conformación de un patrón heterótico o concluir que las líneas 10 y 14 son malas en ACG y sea necesario desecharlas.

En cuanto a los probadores, se encontró que aquellos de origen tropical (probador 1 y 3) fueron mejores en su estimado de ACG que los de origen exótico (probadores 2 y 4) por lo que pueden ser usados para la formación de híbridos de potencial agronómico superior. El probador 2 fue el más estable por encontrarse muy cerca al CP1 (Figura 3).

El único probador que presento una ACG negativa fue el 4, además como no es bueno para clasificar líneas, es necesario ya no considerarlo como probador en evaluaciones posteriores. Es necesario remarcar que el probador 1, tuvo un mejor desempeño en la localidad de Hidalgo, mientras que el probador 3 lo fue en Guanajuato.



**Figura 3.** Biplot SREG del comportamiento de aptitud combinatoria general (ACG) de 15 líneas endogámicas (L) y cuatro cruza simples utilizadas como probador (P).

### Conclusiones

El comportamiento de los híbridos triples estuvo gobernado tanto por efectos aditivos como por efectos de dominancia, debido a la variación presente en las 15 líneas de la población enana, a los cuatro probadores, la contribución de las líneas fue de 43.31 %, mientras que el efecto de los probadores fue de 11.04 % y, el resto (45.65 %) fue causada por la interacción línea x probador. La localidad de Hidalgo presento el mayor poder de discriminación de los híbridos, siendo los mejores y los más estables los híbridos 37, 3, 22 y 43. Los probadores no presentaron interacción cruzada siendo el probador 3 el mejor. Las líneas de mejor comportamiento en ACG fueron 3, 7, 13 y 11.

### Literatura Citada

- Bernardo R., 2001.** Breeding potential of intra and interheterotic group crosses in maize. *Crop Sci.* 41: 68-71.
- Betrán E. J. and M. Menz., 2004.** Corn breeding. *In: Inorganic, History, Technology and Production.* C. Wayne Smith (Ed). Pp. 305-379.
- Castañón N. G., H. Montenegro T., F. Rincón S., N.A. Ruíz T. y H. De León C., 2002.** Potencial genético y aptitud combinatoria de germoplasma de maíz tropical. *Rev. Fitotec. Mex.* 25(2): 135-142.
- Crossa J., 1990.** Statistical analyses of multilocation trials. *Adv. Agron.* 45: 55-85.

- Crossa, J., H. Gauch y R. Zobel., 1990.** Additive main effects and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trials. *Crop Sci.* 30: 493-500.
- Crossa J., J. Burgueño, P. L. Cornelius, G. McLaren, R. Trethowan, and A. Krishnamachari., 2006.** Modeling genotype x environment interaction using additive genetic covariances of relatives for predicting breeding values of wheat genotypes. *Crop Science* 46:1722-1733.
- De León C. H., F. Rincón S., D. Sámano G., G. Martínez Z., R. Cavazos C. y J.D. Figueroa C., 2005.** Potencial de rendimiento y estabilidad de patrones heteróticos de maíz formados entre cinco grupos germoplásmicos. *Rev. Fitotec. Mex.* 28: 135-143.
- Fan X. M., J. Tan H., M. Chen and J. Y. Yanes., 2003.** Heterotic grouping for tropical and temperature maize inbreds by analyzing combining ability and SRR markers. *Maydica* 48: 251-257.
- Gordon M. R., I. Camargo, J. Franco y A. Gonzalez., 2006.** Evaluación de la adaptabilidad y estabilidad de 14 híbridos de maíz, Azuero, Panamá. *Agronomía Mesoamericana* 17(2):189-199.
- Gauch H. G., 1992.** Statistical analysis of genional yield trial: AMMI analysis of factorial designs. Elsevier, Amsterdam.
- Hallauer A. R., 1975.** Relation of gene action and type of tester in maize breeding procedures. *Proc. Annu. Corn Sorghum. Ind. Res. Conf.* 30: 150-165.
- Hoxha S., M.R. Shariflou and P. Sharp., 2004.** Evaluation of genetic diversity in Albanian maize using SRR markers. *Maydica* 49: 97-103.
- Ibañez, M.A, M.M Cavanagh, N.C Bonamico, 2006.** Análisis gráfico mediante biplot del comportamiento de híbridos de maíz. *RIA.* 35(3):83-93 INTA Argentina.
- Palacios V., O. y A.H. Ángeles H., 1990.** Comparación de probadores para evaluar líneas S1 de maíz (*Zea mays* L.) Agrocencia serie Fitotecnia Vol. 1, Num. 1. Pp 123-141.
- Rusell W. A., D. J. Blackburn and K. R. Lamkey., 1992.** Evaluation of modified reciprocal recurrent selection procedure for maize improvement. *Maydica* 37: 61-67.
- SAS Institute., 2004.** SAS/STAT® 9.1 User's Guide. Cary, NC: SAS INstitute Inc. USA 5121 p.
- Sámano G. D., F. Rincón S., N.A. Ruíz T., J. Espinoza V. y H. De León C., 2009.** Efectos genéticos en cruza directas y recíprocas formadas a partir de líneas de dos grupos germoplásmicos de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 32(1): 67-74.
- Singh R. K., B. D. Chaudhary., 1985.** Biometrical Methods in Quantitative Genetic Analysis. Rev. Ed. Kalyani Publishers. New Delhi-Ludhiana. 318 p.
- Soengas P., B. Ordás, R.A. Malvar, P. Revilla and A. Ordás., 2003.** Performance of Flint maize in crosses with testers from different heterotic group. *Maydica* 48: 85-91.

# Análisis Dialélico Basado en Índices de Selección y Enfoque Biplot para Identificar Grupos y Patrones Heteróticos en Poblaciones de Maíz

## Diallel Analysis Based on Selection Index and Approach Biplot to Identify Heterotic Groups and Patterns in Maize Populations

Humberto De León Castillo<sup>\*a</sup>, Ricardo Cuellar Flores<sup>b</sup>, Alfredo de la Rosa Loera<sup>a</sup>, Daniel Sámano Garduño<sup>a</sup> y Francisco Javier Cárdenas Flores<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Col. Buenavista, C.P.25315 Saltillo, Coahuila. México.

---

### Resumen

En los cruzamientos dialélicos ordinariamente el rendimiento u otros parámetros de impacto son empleados de forma individual para generar información de efectos genéticos de los progenitores y de sus cruzamientos, no obstante que para la elección de cruza y progenitores se considera varios parámetros. En el presente trabajo se usó un análisis dialélico donde el criterio de selección fueron los valores relativos al mérito de cada genotipo al considerar simultáneamente 8 parámetros: rendimiento, floración macho, sincronía floral, acame de raíz, mala cobertura, plantas con Fusarium, calificación de mazorca y relación mazorca planta, englobados en un índice de selección (IS). El material genético empleado fueron las cruza posibles de once poblaciones F<sub>2</sub> de híbridos comerciales para las regiones entre 1000 y 2000 msnm, obtenidas para el método II de Gardner y Eberhart (II de G y E). Los objetivos del estudio fueron clasificar progenitores y cruzamientos con base en el valor de sus IS, atendiendo su desempeño *per se*, así como por sus efectos genéticos, e identificar posibles grupos y patrones heteróticos. Las 55 F<sub>1</sub> y los 11 progenitores fueron evaluados en Celaya, Gto., El Prado, N.L. y Tlajomulco de Zúñiga, Jal., durante el año 2006. Los resultados del dialélico II de G y E indican diferencias en: cruza, siendo las de índice superior las cruza 1x8 1x3, 4x5, 6x8 y 1x5 ; en poblaciones, las de mejores índices fueron la 2, 9 y la 3; con mayor efecto varietal sobresalieron estadísticamente las poblaciones 9, 2 y 3; en heterosis varietal sobresalen las poblaciones 11 y la 10; mientras que en heterosis específica las cruza mejores fueron la 9x10, 2x10, 4x5 y la cruza 1x8. El gráfico biplot permitió que se identificaran dos potenciales grupos heteróticos, el primero formado por las poblaciones 1, 2, 4, 6 y 9 el segundo con la población 3, 5 y 8.

**Palabras clave:** índices de selección, dialélicos y gráficos biplot.

### Abstract

In the diallel cross ordinarily the yield or another parameters of impact are used as individual form to generate information of combinatory aptitude of the parents and its crossovers. Even though for the selection of parents and combinations is important to consider several parameters. In this work it was to run a diallel analysis where the selection criterion are the values related to the merit of each genotype when considering simultaneously 8 parameters: yield, male flowering, plant-ears relation, lodging by root, bad coverage, plants with Fusarium, qualification ears, included in a selection index (SI). The work material was the possible combinations between eleven F<sub>2</sub> populations representative of the commercial hybrids recommended to be exploded in regions between 1000 and 2000 masl, obtained by method II of Gardner and Eberhart. The objectives of the study were to classify parents and crossovers with base in the value of the SI, Considering their performance "per se", as well as their genetic effects; and to identify possible groups and heterotic patterns. The 55 F<sub>1</sub> and the 11 parents were evaluated in Celaya, Gto., Prado N.L and Tlajomulco de Zuniga, Jal., during the 2006. The results detected differences in: combinations, being those of superior index combinations 1x8, 1x3, 4x5, 6x8 y 1x5 ; in populations, where those of better index were the 2, 9 and the 3; in GCA, populations 9, 2 and 3; and in heterosis (SCA) the combinations 9x10, 2x10, 4x5 and 1x8 were the best. In addition, the biplot graphical allowed to identify two potential heterotic groups, the first one formed by populations 1, 2 4, 6 and 9; the second one with populations 3, 5 and 8.

**Keywords:** Selection index, diallel, biplot graphical.

---

## Introducción

El dinámico cambio en los prototipos de híbridos comerciales impuesto por la competencia entre empresas, para beneficio de los productores, motiva a que programas de mejoramiento públicos como el del Instituto Mexicano del Maíz (IMM) “Dr. Mario E. Castro Gil” busque adecuar sus patrones heteróticos con la finalidad de atender las exigencias actuales de los productores en la generación de híbridos superiores. Por ello se planeó hacer una exploración de germoplasma con atributos comerciales que coadyuven a mejorar la variabilidad de los grupos heteróticos del programa de El Bajío del IMM.

El fundamento de usar generaciones avanzadas de materiales comerciales como fuente alternativa de variabilidad obedece al hecho de que en la derivación de líneas se espera tolerancia a la endogamia, así como deseables tipos de plantas; se propone usar cruzamientos dialélicos como estrategia de mejoramiento, debido a que en sus diferentes versiones son métodos funcionales para identificar posibles patrones y grupos heteróticos, así como para estimar la aptitud combinatoria general (ACG), aptitud combinatoria específica (ACE) y heterosis entre el material involucrado.

Por otra parte la respuesta a la selección en el cultivo de maíz a la fecha se ha basado principalmente en el mejoramiento de variables individuales. En este estudio se plantea que el seleccionar simultáneamente para varias características, ponderadas adecuadamente, permitirá la identificación de individuos con mejor combinación de caracteres y aumenta por tanto la respuesta a la selección.

Por este motivo, de los datos obtenidos de los cruzamientos posibles entre las 11 poblaciones, lo que se procesó estadísticamente en el análisis dialélico fueron los valores al mérito resultante de conjuntar 8 variables agronómicas: rendimiento, floración macho, sincronía floral, acame de raíz, mala cobertura, plantas con Fusarium, calificación de mazorca y relación mazorca planta, en un índice de selección descrito por Barreto (1991)

También se planeó lograr una clasificación del germoplasma en grupos heteróticos divergentes ya que con ello se logrará una óptima ubicación de este nuevo germoplasma hacia donde se espere mayor heterosis. Para generar esta información se realizó una exploración del dialélico con un enfoque biplot auxiliados del modelo SREG el cual genera una gráfica que permite visualizar que cruzamientos exhibirán la máxima heterosis.

Con los antecedentes anteriores se plantean los siguientes objetivos: Clasificar las 11 poblaciones y sus cruzamientos por medio de un análisis dialélico con base en el valor al mérito de los índices de selección de cada genotipo, tanto de las formas *per se*, así como por sus efectos de aptitud combinatoria general y específica respectivamente; y auxiliados por el modelo regresión en los sitios (SREG) identificar posibles grupos y patrones heteróticos.

Hipótesis: Se considera viable aumentar y mejorar la variabilidad genética del germoplasma del programa de mejoramiento de la región de El Bajío del IMM: si se parte de un germoplasma mejorado donde la endogamia haya sido implicada; si en la selección se consideran los efectos de aptitud combinatoria; si se hace uso de los “índices de selección” para elegir los genotipos ideales, así como de las propiedades de agrupación que tiene el gráfico biplot para la identificación de grupos y patrones heteróticos.

Espitia *et al.* (2006) reportan que el análisis de la aptitud combinatoria general (ACG), permite identificar adecuadamente a progenitores con capacidad para transmitir sus caracteres deseables a la descendencia, y la aptitud combinatoria específica (ACE) posibilita conocer aquellas combinaciones híbridas  $F_1$  sobresalientes, originadas de cruzamientos entre variedades, línea o líneas por variedad.

Vallejo y Estrada (2002) indican que cuando el efecto de ACG (gi) para un determinado progenitor presenta un valor alto positivo o negativo, indica que dicho parental es muy superior o inferior a los demás progenitores. Además, ese valor indica que los genes tienen efectos predominantemente aditivos, por lo tanto, los progenitores con los más altos valores (gi) son los más adecuados para formar nuevas poblaciones, favoreciendo la selección de nuevas líneas homocigotas.

Yáñez (2005) menciona que un índice de selección sirve para hacer selección de manera simultánea considerando tanto aspectos genéticos como económicos; por lo tanto este índice está conformado esencialmente por dos ecuaciones; la primera, en la cual se incluyen las características que se desea mejorar, es decir, las que comprenden el objetivo de selección y se denomina genotipo agregado; la segunda se constituye con las características sobre aquéllas que se hace la selección, las cuales se denominan criterios de selección.

Falconer (1980) menciona que el IS es el mejor predictor lineal del valor de mejoramiento de la unidad de selección y toma la forma de la regresión múltiple del valor de mejoramiento sobre todas las fuentes de información.

Sharma y Duveiller (2003). Indican que el uso de IS permite superioridad marcada en un rasgo para compensar inferioridad moderada en otro. Es decir, los segregantes inferiores pero con algunos atributos favorables se incluyen en el ciclo de selección, lo cual no puede ser logrado directamente con tandem o selección truncada.

Los modelos multi-variados se propusieron como una herramienta de exploración que permite visualizar de una manera práctica los patrones de respuesta de las variables de clasificación y sus tendencias al agrupamiento. Por su parte los modelos aditivos permiten obtener información donde se puede medir la confiabilidad de la misma. Un empleo simultáneo de estos dos modelos permite mayor claridad en la interpretación de algunos datos, sobretodo de aquéllos que implican efectos aditivos y multiplicativos de forma conjunta.

La regresión en los sitios (SREG) es un caso de estos modelos híbridos donde se manejan algunos efectos aditivos de la forma tradicional y como componentes principales otros efectos. Éste fue originalmente propuesto por Yan *et al.* (2000) para explorar la respuesta de los genotipos a ambientes específicos. Después de varias modificaciones, actualmente es conocido como “biplot” GGE, dado que enfatiza en mostrar en forma conjunta y simultánea los patrones de respuestas generados por los efectos del componente principal de los genotipos y los de la interacción genotipo ambiente en la evaluación de ensayos. Un mérito del modelo SREG es que permite agrupar ambientes y genotipos con similar desempeño e identificar gráficamente cuál es el genotipo con mayor potencial dentro de cada subgrupo de ambientes.

A pesar de que originalmente la metodología SREG o “biplot” GGE fue desarrollada para el análisis y la interpretación de datos de ensayos evaluados en varios ambientes, puede

ser aplicable a cualquier estructura de datos que muestre un arreglo matricial tipo línea por probador o genotipos por ambientes. En los análisis a través de ambientes, los genotipos son entradas y los ambientes probadores, en datos de dialélicos los genotipos son a la vez entradas y probadores para poder generar la figura “biplot” que permitirá discutir los resultados del dialélico (Yan y Hunt, 2002a).

Yan y Hunt (2002) indican que en un gráfico correspondiente a la interpretación de un dialélico, la longitud de los vectores de los genotipos con respecto a los paralelos de la abscisa permitirá clasificar los valores de ACG donde el vector de mayor longitud corresponderá al genotipo con mayores efectos de ACG. El gráfico también permite la identificación de genotipos, que no exhiben heterosis en sus cruzamientos, por la cercanía entre ellos, esto ayuda a la identificación de grupos heteróticos. Y por la ubicación de los genotipos en relación a los paralelos de la ordenada se podrán identificar posibles patrones heteróticos.

## **Materiales y Métodos**

El material genético empleado fueron las combinaciones generadas por el cruzamiento de 11 poblaciones atendiendo al método II de Gardner y Eberhart (1996) los cuales fueron formados en el campo experimental “Dr. Mario E. Castro Gil” de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” (UAAAN), ubicada en la localidad de Tepalcingo, Morelos en el ciclo otoño-invierno de 2005.

Las poblaciones empleadas en este estudio son híbridos de diferentes empresas con excelente desempeño en el área de El Bajío en sus generaciones segregantes ( $F_2$ ). Las polinizaciones del dialélico se hicieron mezclando el polen recolectado de 50 espigas de cada progenitor y en la cosecha se tomaron 20 mazorcas por cruzamiento. La identificación de las poblaciones es la siguiente: 1. PP1, 2. PP2, 3. PP3, 4. PP4, 5. PD1, 6. PD2, 7. PD3, 8. PA1, 9. PA2, 10. PA3, 11. PB1.

Los 66 genotipos fueron evaluadas en el ciclo primavera-verano de 2006 en tres localidades, Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco delimitado por las coordenadas 20° 28' latitud norte y 103° 27' longitud oeste con una altura de 1575 msnm, Celaya, Guanajuato que está ubicada en las coordenadas latitud norte de 20° 38' y longitud oeste de 101° 38' a una altura 1754 msnm; y en Tlahuelilpan, Hidalgo situado en las coordenadas 20° 07' latitud norte y 99° 13' longitud oeste con una altura de 2040 msnm. En todos los ensayos se utilizó un diseño de bloques incompletos al azar con arreglo en alfa-látice con dos repeticiones.

La unidad experimental fue de un surco con 21 plantas a 19 cm entre planta y una distancia entre surcos de 0.92 m para la localidad de Hidalgo y de 0.75 m en las localidades de Guanajuato y Jalisco. La siembra del material experimental se realizó en forma manual, depositando dos semillas por golpe para posteriormente aclarar a una planta por mata y así asegurar la densidad de siembra deseada (21 plantas/parcela).

Variabes agronómicas evaluadas: rendimiento, floración macho, sincronía floral, acame de raíz, mala cobertura, plantas con Fusarium, calificación de mazorca y relación mazorca planta.

El principio del IS utilizado en este trabajo está basado en estimar los valores estandarizados de cada parámetro a los cuales se les resta una meta de selección, que está de acuerdo a la desviación estándar del parámetro y a la media de la población, el resultado es elevado al cuadrado y a la vez éste es multiplicado por una intensidad cuyo valor depende de

la importancia del parámetro en cuestión. Los valores obtenidos por parámetro son sumados, a la sumatoria se le saca raíz cuadrada y el resultado es el Índice de Selección. Los genotipos que obtengan los IS más bajos son los mejores. Cuyo modelo se presenta a continuación.

$$IS = \left\{ [(Z_j - M_j)^2 * I_j] + [(Z_i - M_i)^2 * I_i] + \dots + [(Z_n - M_n)^2 * I_n] \right\}^{1/2}$$

Donde: IS = Índice de selección.  $Z_{j\dots n}$  = valor estandarizado de la variable de interés  $M_{j\dots n}$  = meta de selección  $I_{j\dots n}$  = intensidad de selección

La *intensidad de selección* es el valor económico que se le asignan a cada una de las variables a ser utilizadas en la selección y toma valores de 1 a 10.

La *meta de selección* asignada a cada variable se refiere a las unidades de desviación estándar con respecto a la media que se desea lograr en la selección. La meta toma valores de -3 a +3

Las variables que fueron incluidas en el IS presentan valores medidos en unidades distintas (toneladas, centímetros, días, porcentajes, etc.), por lo que fue necesario estandarizar cada uno de ellos y de esta forma las características pudieran ser manejadas de forma conjunta.

En este trabajo como se mencionó anteriormente el IS se calculó por repetición, utilizando diferentes metas para cada repetición en las tres localidades.

El modelo SREG se utilizó para generar un gráfico biplot del dialélico método II de Gardner y Heberhart, que adicionalmente al método tradicional permite el agrupamiento de materiales emparentados. El modelo y sus propiedades es descrito en detalle por (Yan *et al.*, 2002).

### *Análisis dialélico*

Se realizó un análisis con base en el método II propuesto por Gardner y Eberhart (1960) el modelo lineal aditivo es el siguiente:

$$Y_{jj'} = m_v + \frac{1}{2}(V_j + V_{j'}) + h_{jj'}$$

Donde:  $Y_{jj'}$  = Índice de selección de la j-ésima variedad cruzada con la variedad j'-ésima;  $m_v$  = Efecto medio de las variedades progenitoras;  $V_j$  = Efecto de la j-ésima variedad;  $V_{j'}$  = Efecto de la j'-ésima variedad  $h_{jj'}$  de la heterosis cuando la j-ésima variedad es cruzada con la j'-ésima variedad.

El efecto de heterosis se divide en;

$$h_{jj'} = h + h_j + h_{j'} + s_{ij}$$

Donde  $h_{jj'}$  = Efecto de la heterosis cuando la j-ésima variedad es cruzada con la j'-ésima variedad;  $h$  = a la heterosis promedio;  $h_j$  = heterosis de la j-ésima variedad;  $h_{j'}$  = al efecto de la j'-ésima variedad; y  $s_{ij}$  = heterosis específica debida a l el cruzamiento de la j-ésima variedad cruzada con la j'-ésima variedad.

## Resultados y Discusión

En los cruzamientos dialélicos ordinariamente el rendimiento u otros parámetros de impacto son empleados de forma individual para generar información de efectos genéticos de los progenitores y de sus cruzamientos, no obstante que para la elección de cruza y progenitores se considera varios parámetros, pensando en esto último En el presente trabajo se realizó un análisis dialélico donde el criterio de selección fueron los valores relativos al merito de cada genotipo al considerar simultáneamente 8 parámetros: rendimiento, floración macho, sincronía floral, acame de raíz, mala cobertura, plantas con Fusarium, calificación de mazorca y relación mazorca planta, englobados en un índice de selección (IS).

El análisis dialélico bajo el modelo II de Garner y Eberhart (Cuadro 1), efectuado con los valores de los índices de selección muestra diferencias estadísticas ( $P \leq 0.01$ ) entre cruza y entre poblaciones lo que indica que estos efectos influyen directamente en el valor de los índices de selección, estas diferencias permitieron diferenciar como de comportamiento superior a las poblaciones 2, 9 y 3, (Cuadro 2) así como de las cruza 1x8 1x3, 4x5, 6x8 y 1x5 por su excelente IS (Cuadro 3).

**Cuadro 1.** Cuadros medios del análisis dialélico basado en índices de selección con el modelo II de Gardner y Heberhart, evaluado en tres ambientes durante el 2006 de Garner y Eberhart a través de tres ambientes de evaluación 2006

FV		GL	CM	
Ambientes		2	1.967	
Rep(Amb.)		3	13.807	
Cruzas	y	65	32.965	**
Poblaciones				
	variedades	10	76.364	**
	Heterosis	55	25.075	**
	Heterosis promedio	1	214.653	
	Heterosis varietal	10	47.115	**
	Heterosis específica	44	15.757	**
Amb*Cruzas	y	130	8.066	
Pob.				
	Variedades*Amb.	20	7.176	
	Heterosis*Amb.	110	8.228	
	Heterosis prom *Amb.	2	20.741	
	Heterosis varietal*Amb	20	10.602	
	Heterosis específica*Amb	88	7.404	
Error		195	7.915	

\* =  $P \leq 0.05$ , \*\* =  $P \leq 0.01$ , FV = fuentes de variación; GL = Grados de libertad; C M = cuadrados medios; Rep. = Repeticiones; Amb. = ambientes; Pob.= población.

Los efectos estimados de Variedades y Heterosis en el Cuadro 1 indican que son estadísticamente significativos, tienen diferente comportamiento atribuible a sus frecuencias génicas, lo que permite identificar poblaciones con mérito genético superior para varias características y en este trabajo corresponde a las poblaciones 1, 3, 6, y 5 lo que las ubica como las fuentes de mejores atributos para la derivación de líneas superiores. En cuanto a las

heterosis varietal las poblaciones 10 y 11 fueron estadísticamente superiores al resto (Cuadro 2). Mientras que las cruza específicas con una heterosis estadísticamente favorables fueron la 9x10, 2x10, 4x5 1x8 y la 6x7. (Cuadro 3)

Con relación a la contribución que aporta cada uno de estos efectos. El de heterosis es mayor a la de variedades (Cuadro 1) pudiendo atribuirse esto al fondo genético de las poblaciones que antes de ser sometidos a generaciones de recombinación originalmente fueron híbridos por lo que llevan una importante dosis de varianza no aditiva.

**Cuadro 2.** Aptitud combinatoria general (ACG), Efecto varietal (V), Heterosis Varietal (H) e Índices de selección de 11 poblaciones evaluadas bajo el modelo II de Gardner y Eberhart (1996) en tres localidades en el 2006

Genotipo	Población	ACG	V	H	IS
1	PP1	-1.051 **	-1.447	-0.473	10.129
2	PP2	-0.120	-2.756 *	1.817 *	8.820
3	PP3	-0.756 *	-2.640 *	0.815	8.935
4	PP4	0.119	-0.886	0.811	10.690
5	PD1	-0.693 *	-1.907	0.376	9.669
6	PD2	-0.835 *	-1.957	0.207	9.619
7	PD3	0.390	-1.128	1.379 *	10.447
8	PA1	-0.211	-0.401	-0.015	11.175
9	PA2	-0.450	-2.664 *	1.274	8.912
10	PA3	1.774 *	7.049 *	-2.528 **	18.624
11	PB1	1.833 *	8.737 *	-3.662 **	20.313

\* \*\* = significativos al 1 y 5 % de probabilidad respectivamente

**Cuadro 3.** Valores de heterosis específica de 11 poblaciones (arriba de la diagonal) y de índices de selección (debajo de la diagonal) de tres localidades en el 2006

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1		0.349	-1.604	1.887	-0.413	0.502	-0.770	<b>-2.331</b>	0.000	0.180	2.199
2	9.191		1.529	2.278	-0.696	-0.834	-1.685	0.691	0.715	<b>-2.670</b>	0.324
3	<b>6.294</b>	11.063		-0.577	1.265	2.602	0.310	-0.581	0.210	-1.369	-1.785
4	10.659	12.685	8.885		<b>-2.532</b>	1.028	-1.082	-1.523	-0.142	-0.071	0.735
5	<b>7.413</b>	8.765	9.781	<b>6.859</b>		-0.480	-0.276	0.532	1.168	3.515	-2.083
6	8.133	8.433	10.925	10.225	7.770		<b>-1.971</b>	-1.516	-1.232	1.352	0.549
7	8.448	9.169	10.219	9.701	9.561	7.673		2.857	0.461	1.982	0.175
8	<b>5.858</b>	10.515	8.298	8.230	9.339	<b>7.097</b>	13.056		0.988	0.878	0.004
9	8.346	10.696	9.247	9.769	10.133	7.539	10.818	10.316		<b>-2.923</b>	0.756
10	9.580	8.365	8.722	10.893	13.534	11.177	13.393	11.259	7.616		1.084
11	11.309	11.069	8.016	11.409	7.646	10.084	11.296	10.096	11.006	10.429	

Valores en negritas son estadísticamente superiores con una probabilidad menor al 5 %

Las interacción genotipo ambiente no fueron significativas en ninguno de los casos lo que indica que los efectos estimados no cambian de orden al evaluarse en estos tres ambientes.

*Enfoque “biplot” del Análisis dialélico utilizando como variable de respuesta los valores del índice de selección.*

Una de las interpretaciones de la gráfica del modelo SREG indica que el valor para ACG es representado por las distancias que ocupan los genotipos con relación al eje del CP1, que en este gráfico mostró una rotación muy cercana a los 90°, y que estén lo más cercano posible al origen del CP2 esto de acuerdo a lo reportado por Yan y Hunt (2002) y por Yan *et*

al. (2007). Por otra parte los genotipos superiores o ideales con base en los índices de selección según Barreto *et al.* (1991) son aquellos que poseen el valor más bajo de IS.

La figura 1 indica que los atributos descritos en el párrafo anterior, corresponden a las poblaciones 1 = PP1 3 = PP3, 6 = PD2 y 5 = PD1 donde es importante destacar que la población 6 además de buen potencial genético es muy estable en sus efectos. Al comparar estos resultados con los obtenidos mediante el análisis convencional coinciden en lo general como se puede apreciar en el cuadro 2 sólo cambian un poco en el orden, esta inconsistencia se puede atribuir que los dos componentes incluidos en la gráfica solo representan el 64 % de la variación total debida a los efectos genéticos y de interacción genotipo-ambiente por lo que es de esperarse algunos cambios. Se predice que estas poblaciones son excelente fuente para la derivación de versátiles líneas.

Por la posición de las poblaciones 10 y 11 (figura 1) es de esperarse que al cruzarse con poblaciones que se ubiquen en diferente cuadrante al que ellas ocupan, la heterosis esperada es alta, en gran medida explicado por sus efectos genéticos comparado con el del resto de las poblaciones, esto coincide en un 100% con lo detectado por el análisis convencional que las clasifica como las poblaciones de mayor heterosis varietal.

La clasificación del germoplasma en grupos heteróticos divergentes es conveniente debido a que se logra una expectativa alta en heterosis al realizar cruzamientos con material de diferente grupo y se evita programar cruzamientos entre progenitores con baja respuesta heterótica. En el presente gráfico se pueden detectar dos grupos importantes: el primero formado por las poblaciones 8, 3, y 5; el segundo con las poblaciones 1, 2, 4, 9 y 6; se supone que entre las poblaciones de un mismo grupo la heterosis es mínima y la expectativa de heterosis será máxima entre grupos que se encuentran en lados opuestos del segundo componente principal y que muestren un buen IS.

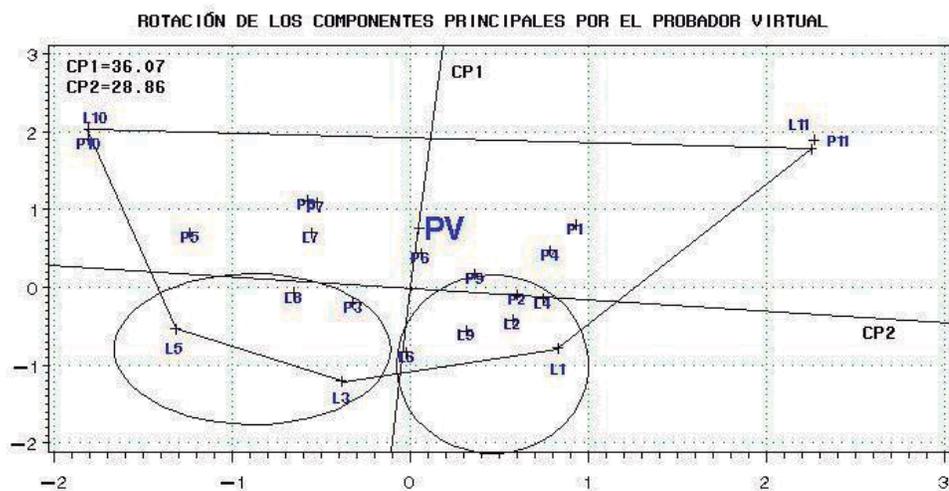


Fig. 1. Representación gráfica del dialéctico de once poblaciones la variable de respuesta son los índices de selección. CP1 Y 2 = Componente principal uno y dos respectivamente; L y P representan las poblaciones: 1 = PP1, 2 = PP2; 3 = PP3; 4 = PP4; 5 = PD1; 6 = PD2; 7 = PD3; 8 = PA1; 9 = PA2; 10 = PA3; 11 = PV1.

Debido a que las poblaciones son generaciones avanzadas de híbridos esto trae implicaciones particulares, ya que al seleccionar una población o una cruce interpoblacional la lógica del mejoramiento indica un aprovechamiento directo y dirigido con sus descendientes endogámicos. Sin embargo, en esta situación antes de intentar asignar las líneas a grupos

germoplásmicos específicos se requiere que las líneas derivadas de las poblaciones, sean previamente separadas en grupos.

Otro punto importante es que una vez que se han identificado los potenciales patrones heteróticos se sugiere que estas poblaciones pasen por un esquema de selección recíproca recurrente donde las familias se formen con progenitores endogámicos para seguir mejorando las poblaciones *per se*, enriqueciendo la respuesta heterótica entre ellas y generando información para el seguimiento de las mejores combinaciones

## Conclusiones

Tomando los valores de un índice de selección como variable de respuesta en un dialélico, se logró clasificar como de potencial genético superior a las poblaciones PD2, PP3 y PA2 tanto en su desempeño *per se*, como por sus favorables efectos de aptitud combinatoria general. Se identificaron como superiores las cruzas PP1xPA1, PP4xPD1 por su excelente IS, así como por sus efectos en heterosis específica.

Atendiendo los resultados del gráfico biplot fue posible identificar dos importantes grupos germoplásmicos el primero formado por las poblaciones PP1, PP4, PP2, PA2 y PD2; el segundo con las poblaciones PP3, PA1 y PD2; se supone que entre las poblaciones de un mismo grupo la heterosis es mínima y que las de mayor respuesta heterótica serán las formadas entre materiales del primer grupo cruzadas con las del segundo grupo, por estar en diferente posición con respecto al primer componente principal y por poseer un IS de aceptable valor.

## Literatura Citada

- Barreto H. J., J. A. Bolaños y H. S. Córdoba.**, 1991. Índice de selección: guía para la operación del software. Manual de Capacitación Regional. Programa Regional Centroamérica y el Caribe, Apdo. Postal, Guatemala.
- Espitia C.M.M., Vallejo C.F.A. y Baena G.D., 2006.** Efectos heteróticos y habilidad combinatoria para el rendimiento por planta en cucurbita moschata Duch. Ex. Poir. Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín.Vol.59, No.1. p.3.
- Gauch H.G. and R.W. Zobel.**, 1996. AMMI analysis of yield trials. *In* Genotype-by-Environment Interaction. M.S. Kang and H.G. Gauch (eds.). CRC Press, Boca Raton, FL. pp:1-40.
- Falconer D. S.** 1980. Introducción a la Genética Cuantitativa. C.E.C.S.A. Eds. Mexico D. F. 430 p. Traducido al español por Márquez S. F.
- Kang M. S. and R. Magary.**, 1996. New developments in selecting for phenotypic stability in crop breeding. *In* Genotype-by-Environment Interaction. M.S. Kang and H.G. Gauch (eds.). CRC Press, Boca Raton, FL. pp:1-14.
- Vallejo C.F.A., Estrada S.E.I., 2002,** mejoramiento genético de plantas, Universidad Nacional de Colombia. Pp 154-155.
- Sharma R. C. and E. Duveiller.**, 2003. Selection index for improvig helminthosporium leaf blight resistance, maturity, and kernel weight in spring wheat. *Crop. Sci.* 43:2031-2036.
- Yan, W.; L. A. Hunt; Q. Sheng and Z. Szlavnic., 2000.** Cultivar evaluation and mega- environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Sci.* 40 (3): 597-605.

**Yan W. and L. A. Hunt.,** 2002. Biplot analysis of diallel data. *Crop. Sci.* 42:21-30.

**Yan W., M. S. Kang, M. Baoluo, S. Woods, and P. L. Cornelius.,** 2007. GGE biplot vs AMMI analysis of genotype-by-environment data. *Crop. Sci.* 47:643-655.

**Yáñez, C. L. F.,** 2005. Índices de selección: sugerencias para su utilización. Universidad Nacional Experimental Sur del Lago. Págs. 107-110.

# Ensayo de Rendimiento de 50 Híbridos Experimentales de Maíz que Combinan Fuentes Germoplásmicas de UAAAN y CIMMYT

## Yield Performance of 50 Experimental Maize Hybrids Which Combine CIMMYT and UAAAN Germplasm Sources

José Espinoza Velázquez <sup>a\*</sup>, Daniel Sámano Garduño <sup>a</sup>, Rubén Larios González <sup>b</sup>, Víctor Manuel González Vázquez <sup>c</sup>, Gustavo A. Burciaga Vera <sup>a</sup> y Hermes Rebolloza Hernández <sup>d</sup>

<sup>a</sup> Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Col. Buenavista, C.P.25315, Saltillo, Coahuila. México.

<sup>b</sup> Profesor – Investigador, colaborador en este proyecto, del CBTA Núm. 61, Calvillo, Aguascalientes.

---

### Resumen

El trabajo presenta resultados del comportamiento productivo de materiales experimentales probados en las localidades Buenavista, Coahuila y Calvillo, Aguascalientes, México, en experimentos llevados a cabo durante el ciclo agrícola primavera- verano (P-V) 2008. Los materiales bajo estudio fueron: 6 híbridos simples, 32 híbridos tri-lineales, y 12 dobles; generados a partir de un conjunto de líneas endogámicas y cruza simples provenientes tanto de UAAAN como de CIMMYT. Los materiales fueron establecidos en un diseño de bloques incompletos con arreglo alfa-látice, dos repeticiones, en parcelas de un surco de 5 m<sup>2</sup>; Los lotes contaron con irrigación por cintilla, goteros a 10 pulgadas, fertilización con la fórmula 180:90:00 (N: P: K), aplicando la mitad del N y todo el P a la siembra, y el resto del N al momento del cultivo; las plagas y malezas fueron controladas con aplicación de agroquímicos apropiados. El análisis de datos incluyó como más relevantes a las variables: Días a Floración masculina (FM), Acame de raíz (AR), Relación Altura de mazorca/altura de planta (RAMP), Prolificidad (PRO), y Rendimiento de mazorca (REN), cuyos datos fueron ajustados por covarianza para número de plantas por parcela. Los resultados indican la presencia de combinaciones híbridas prometedoras, ratificando la complementariedad de fuentes de germoplasma generado en las dos instituciones.

**Palabras clave:** *Zea mays* L., híbridos experimentales, ensayos de producción.

### Abstract

This paper presents the average performance of a group of experimental materials from two assays established in the locations Buenavista, Coahuila and Calvillo, Aguascalientes in central and northern México respectively. The Experiments were performed during the spring-summer 2008. The genotypes under study were 2 simple cross, 32 triplets and 12 doubles hybrids which combines germplasm sources from CIMMYT and UAAAN. The experimental design was an uncompleted blocks with Alfa lattice arrangement, two replications, in plots of 5 m<sup>2</sup>; Plots were watered by dripping, 10" apart, and fertilized with the formula 180:90:00 N:P:K units; all P and half N were applied during sowing, and 40 days after the other N half; weeds and pests were chemically controlled in an appropriate way. Data analysis was performed on the most relevant variables as Days to tasseling (FM), Root standability (AR), Highest ear height/plant height relation (RAMP), Prolificacy (PRO), and Ear yield (REN). Results indicated promising hybrids combination among certain germplasm sources from both CIMMYT and UAAAN research institutions.

**Key words:** *Zea mays* L., experimental hybrids, assays, yield performance.

---

## **Introducción**

El maíz es uno de los cultivos agrícolas más difundido a nivel global y uno de los más productivos; en el mundo se siembran alrededor de 140 millones de ha, y se levanta una producción de cerca de 600 millones de toneladas; en México, la superficie agrícola dedicada al maíz es de 7.5 a 8 millones de ha, y la producción anual cercana a los 22 millones de t. Su gran adaptación se puede apreciar señalando que en el hemisferio occidental se le siembra de manera ininterrumpida entre las latitudes 58° N y 40° Sur [Burns, 2009; Confederación Nacional de Productores Agrícolas de Maíz de México (CNPAMM), 2006; Paliwal *et al.*, 2001].

El maíz, a diferencia de otras especies cultivadas, es influenciado más por la temperatura que por el fotoperiodo (Burns, 2009), convalidando de esta manera su naturaleza tropical, sub-tropical. En un marco amplio de ambientes agroclimáticos, catalogados por sus características de temperatura y precipitación pluvial, en México la producción de maíz se lleva a cabo a través de varios sistemas de producción, que van desde la agricultura familiar en pequeñas superficies, pasando por la agricultura comunal y ejidal, la intensiva en grado diverso, hasta la agricultura de altos insumos y productividad; los primeros son procesos de producción destinados al autoconsumo y el comercio local, mientras que los dos últimos se refieren a la agricultura comercial. Esta diversidad en la forma de producción incluye el uso de semillas del productor, seleccionadas de manera empírica, y la de variedades mejoradas e híbridos de alto potencial productivo. La agricultura comercial incluye en su estrategia de producción el uso de semillas mejoradas en forma de híbridos. De cualquier modo, los sistemas de producción maicera mexicanos requieren de propuestas relativas a nuevos y mejores materiales de siembra, incluyendo versiones de semillas mejoradas, sean éstas variedades o híbridos.

La experiencia teórico-práctica acumulada en el tema de la generación de híbridos de maíz señalan que la utilización de materiales de diferente origen genético puede maximizar la respuesta heterótica, y por ende la productividad (Sámano *et al.*, 2009; Bernardo, 2001). Trabajos previos sobre hibridación entre materiales generados en instituciones diversas, y en particular entre líneas endogámicas o híbridos simples de las instituciones como el CIMMYT y la UAAAN (De León *et al.*, 2005). Es en este marco de interpretación donde toma relevancia la búsqueda de nuevas combinaciones del germoplasma disponible, de fácil acceso, y generables a bajo costo, que sirvan de opciones a los agricultores maiceros de México.

Este trabajo fue desarrollado aprovechando la disponibilidad de una serie de líneas y cruza simples facilitadas de manera gratuita, con fines experimentales, por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), a combinar con otras líneas y cruza simples generadas en el Instituto Mexicano del Maíz “Dr. Mario E. Castro Gil” de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (IMM – UAAAN). Los híbridos resultantes se someterían a pruebas exploratorias de producción en dos ambientes agrícolas cuyos regímenes de temperatura y precipitación durante el ciclo primavera-verano fueran de interés productivo en ambientes agrícolas limitados.

## **Materiales y Métodos**

El trabajo se llevó a cabo con 50 híbridos experimentales diseñados y generados en el ciclo P-V, 2007 en el campo experimental Buenavista de la Universidad Autónoma Agraria

Antonio Narro (UAAAN), evaluados durante el ciclo P-V, 2008 en dos localidades, Calvillo, Aguascalientes, y Buenavista, Coahuila (sede de la UAAAN); la descripción general de las localidades aparece en el Cuadro 1.

Los materiales de CIMMYT fueron proporcionados, mediante solicitud de dos de los autores de este trabajo, por el Dr. Hugo Córdova Orellana, titular del Programa de Maíces Subtropicales de esa institución. Los materiales locales son germoplasma generados en el Instituto mexicano del Maíz “Dr. Mario E. Castro Gil” de la UAAAN. Las dos fuentes de germoplasma consisten en líneas endogámicas y cruza simples, las cuales pudieron combinarse de diferente manera para generar 70 híbridos de carácter experimental, 50 de los cuales forman la base experimental de este trabajo e incluyen 6 cruza simples, 32 híbridos tri-lineales y 12 híbridos dobles. Con base en ellos, se pueden agrupar en cuatro grupos de cruzamiento, en función de la procedencia del germoplasma y la dirección de cruzamiento, *e. g.* madre CIMMYT x padre Narro (como se expondrá en la sección de resultados y discusión).

La siembras se llevaron a cabo de manera experimental en las dos localidades, bajo riego por cintilla, goteros a 10”, en surcos de 5 m para cada híbrido, dos repeticiones. La fertilización fue con la fórmula 180:90:00 (unidades de N:P:K) con base en Sulfato de amonio y Mono-fosfato amónico. A la siembra se aplicó todo el fósforo y la mitad del nitrógeno. 40 días después se aplicó el resto de nitrógeno.

El control de plagas y malezas fue a través de la aplicación de agroquímicos y prácticas mecánicas, aporque y deshierbe manual. La cosecha fue manual, identificando plenamente a cada material y sus repeticiones. Las variables de respuesta son las convencionales en los ensayos de rendimiento para materiales de maíz. En estas destacan las variables de días a floración, tipo de planta, sanidad, acames, prolificidad y rendimiento de mazorca por hectárea.

Los experimentos se dispusieron en cada localidad utilizando un diseño de bloques incompletos al azar con arreglo de alfa látice, dos repeticiones. Los datos de la variable rendimiento fue ajustada por covarianza en cuanto al número de plantas por parcela. El análisis estadístico fue llevado a cabo utilizando las rutinas aplicables del SAS (SAS, 2004).

## **Resultados y Discusión**

Los dos ambientes geográficos utilizados en este trabajo (ciclo P-V 2008) exhibieron características discrepantes en cuanto a precipitación y temperatura (Cuadro 1) por lo que no es de extrañar la respuesta diferenciada por localidad de las combinaciones híbridas bajo estudio; sin embargo, el análisis estadístico combinando (Cuadro 2) de localidades no detectó significancia en cuanto interacción genotipo-ambiente para las variables de importancia económica abordadas en este trabajo (FM, AR, RAMP, PRO y REN); por lo tanto, los híbridos presentaron un comportamiento estable a través de localidades (ejemplo en dos variables, Figuras 1 y 2).

Parece relevante señalar que el número de Unidades Calor (UC), también denominadas como Unidades Grado de Desarrollo (UGD) del cultivo, son las aplicables a maíces de madurez fisiológica catalogada como intermedia (Nota: materiales precoces, 1250; intermedios, 1450; y tardíos, 1650 UC). De importancia también, que en la localidad Calvillo,

las UC al inicio del experimento fueron de monto tal que favorecieron una rápida germinación (5 días) y que durante las siguientes etapas, se apreció una acumulación regular de ellas; en Buenavista, la acumulación de UC fue lenta al principio, luego en ascenso, para reducirse durante los dos meses finales del ciclo.

**Cuadro 1.** Características generales de localización geográfica, precipitación, temperatura y unidades calor de las localidades bajo estudio.

Localidad	Latitud (N)	Longitud (O)	Altitud (msnm)	Precipitación <sup>§</sup> mm	Temperatura <sup>†</sup> °C	UC <sup>‡</sup>
Buenavista	25° 21'	101° 02'	1756	406	18.5	1413
Calvillo	21° 50'	102° 42'	1665	673	19.3	1354

<sup>§</sup>Precipitación acumulada de junio a octubre, 2008, en Calvillo y de junio a noviembre, 2008, en Buenavista. <sup>†</sup>Temperatura media en el periodo del cultivo en cada localidad. <sup>‡</sup>(UC) Unidades calor acumuladas en el periodo del cultivo en cada localidad.

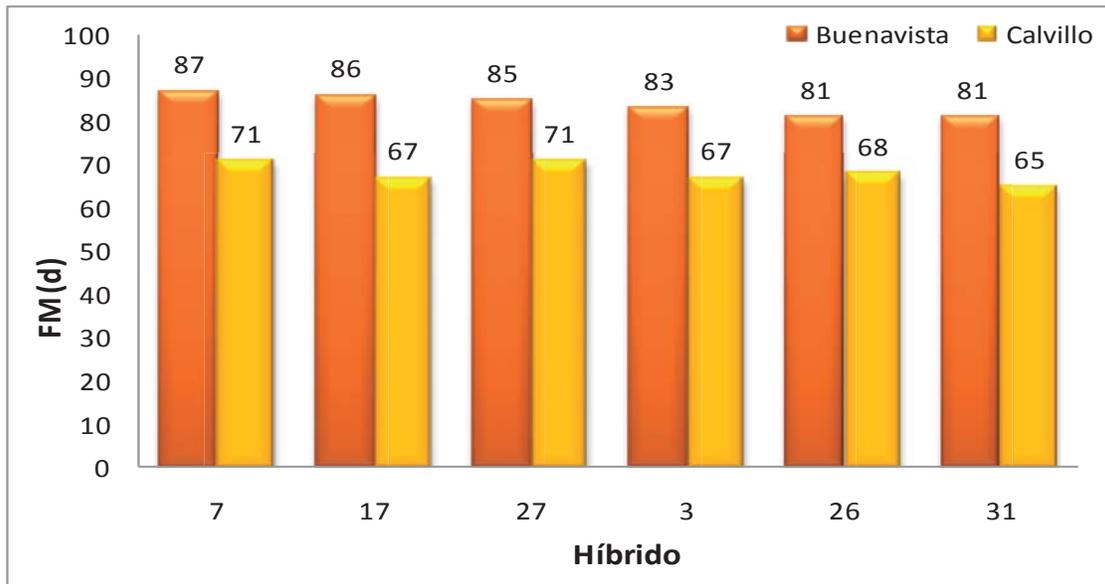
Las UC se calcularon por el método clásico para maíz (Nielsen, 2004; Rodríguez, 1993). Es de conocimiento general que materiales de ciclo más tardíos, tienden a ser más rendidores (Burns, 2009); como se dijo antes, los materiales de este trabajo fueron evaluados en dos ambientes con diferencias notables, tal como se aprecia en el Cuadro 1, y fueron impactados en su comportamiento productivo; este impacto se puede apreciar por el desempeño diferenciado de los seis mejores híbridos y los tres de menor comportamiento (Cuadro 3) aunque sin manifestación de una interacción genotipo x ambiente estadísticamente detectable.

**Cuadro 2.** Cuadrados medios y significancia del análisis combinado, dos localidades, en las variables de interés económico, 50 híbridos experimentales de maíz.

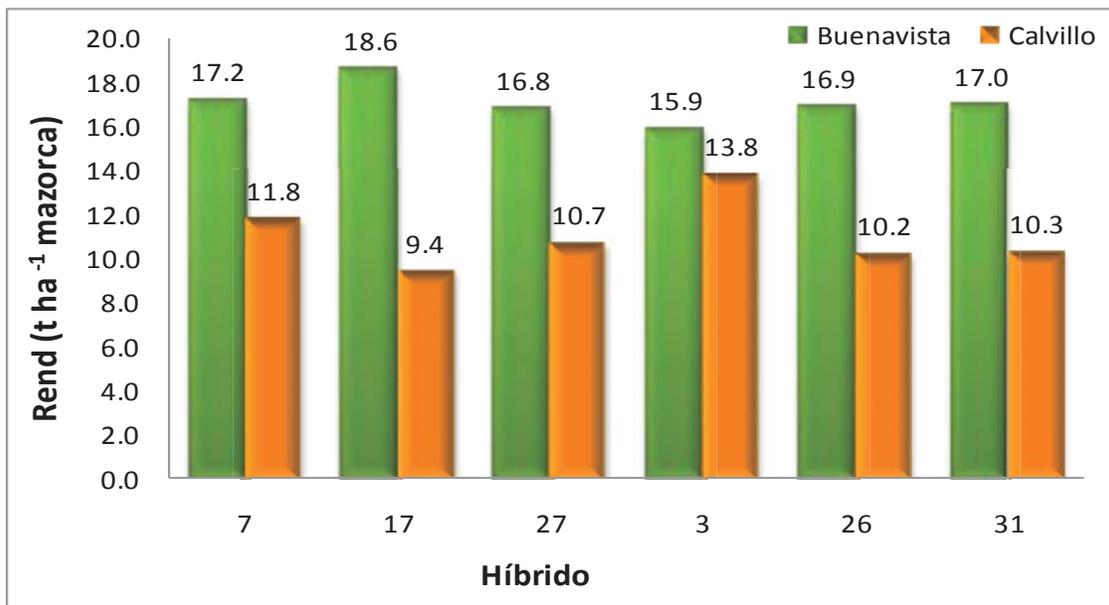
F de V	gl	FM	AR	RAMP	PRO	REN
Localidades	1	13008.8 **	13.5 **	0.017 *	0.11 ns	1087.7 **
Rep(localidades)	2	14.3 ns	0.2 ns	0.003 ns	0.10 ns	12.4 *
Bloques(loc*rep)	16	16.5 *	0.4 ns	0.003 ns	0.05 ns	10.6 **
Genotipos	49	28.1 **	0.6 ns	0.004 ns	0.12 **	9.9 **
Loc*Genotipos	49	8.0 ns	0.4 ns	0.003 ns	0.05 ns	4.2 ns
Error	82	7.5	0.4	0.003	0.03	3.4
Total	199					
R <sup>2</sup> (%)		96	68	64	79	89
CV (%)		3.5	177	10.7	14.1	16.2
CM del error (%)		2.7	0.64	0.06	0.18	1.8
Media		78 días	3.6 %	0.52	125 %	11.4 t

FM = Días a Floración masculina; AR = Acame de raíz; RAMP = Relación Altura mazorca principal altura de planta; PRO = Prolifidad; REN = Rendimiento, toneladas de mazorca por ha. Significancia al 5% (\*); y 1% (\*\*).

Los datos promedio de las cinco variables consideradas de mayor importancia económica en este trabajo permiten señalar que la localidad Buenavista es un mejor ambiente para la expresión amplia de las características productivas de estos materiales, guardando una relación proporcional estable en la segunda localidad.



**Figura 1.** Promedio de días a floración masculina de los seis híbridos de mayor rendimiento. Nótese las diferencias en los dos ambientes, pero sin interacción genotipo x ambiente.



**Figura2.** Promedio de rendimiento en los seis mejores híbridos. Nótese la estabilidad relativa en los dos ambientes (no-interacción genotipo x ambiente).

**Cuadro 3.** Valores promedio de nueve híbridos<sup>§</sup>, los seis más calificados y los tres de menor desempeño, en las cinco variables de interés.

Híbrido	REN (t ha <sup>-1</sup> )		FM (días)		PRO (%)		AR (%)		REMP	
<b>Mayor REN</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
3	15.9	13.8	83	67	111	120	0	0.5	.59	.60
7	17.2	11.8	87	71	144	140	0	1	.60	.56
17	18.6	9.4	86	67	140	118	0	0	.52	.51
26	17.0	10.2	81	68	106	113	0	0.5	.49	.53
27	16.8	10.7	85	71	120	113	0	0.5	.61	.62
31	17.1	10.3	81	65	117	135	0.5	1.5	.49	.50
<b>Menor REN</b>										
9	8.4	6.4	85	66	96	122	1	0.5	.45	.56
15	9.8	6.4	90	69	104	99	1.5	1.5	.52	.51
47	10.4	7.4	96	71	127	168	0	1.5	.45	.56

<sup>§</sup>B = Localidad Buenavista; C = Localidad Calvillo, ciclo agrícola P-V, 2008.

Con base en la información anterior, los híbridos de los dos grupos (mayor y menor REN) tuvieron un comportamiento productivo diferente entre localidades pero proporcional en su importancia relativa, y por lo tanto no hay evidencias de una interacción con el ambiente. El REN en Buenavista (incluido el promedio de los nueve híbridos) es 52 % superior a los de Calvillo; al considerar la duración del ciclo con base en la variable FM, el ambiente en Calvillo propició que los nueve materiales fueran en promedio 18 días más precoces; en esto, la mayor uniformidad de la acumulación de UC y la más alta precipitación en el periodo experimental probablemente influyeron en un aceleramiento del desarrollo de los híbridos; quizá esta precocidad influyo de manera importante a una reducción del rendimiento por unidad de superficie.

Con el interés de detectar de manera preliminar probables diferencias en función de la dirección de cruzamiento, así como la agrupación de materiales por su procedencia, los 50 híbridos bajo prueba se ordenaron en cuatro grupos, como sigue:

*Grupo Uno:* Híbridos madre CIMMYT x padre NARRO;

*Grupo Dos:* Híbridos madre NARRO x padre CIMMYT;

*Grupo Tres:* Híbridos CIMMYT x CIMMYT; y

*Grupo Cuatro:* Híbridos NARRO x NARRO.

La agrupación identificó el número de híbridos en cada grupo en 17, 18, 8 y 7 respectivamente.

El desglose de la fuente de variación Genotipos en Cinco contrastes comparando a los grupos Uno vs Dos; Uno vs Tres; Dos vs Tres; Dos vs Cuatro; y Tres vs Cuatro aparecen en el Cuadro 4. Las diferencias estadísticas fueron relevantes sólo para las variables REN, PRO, y FM; a juzgar por el rendimiento, la dirección de cruce es importante en la combinación de las dos fuentes de germoplasma (Narro – Cimmyt).

Los promedios generales de los cuatro grupos destaca el rendimiento superior del Grupo 2, mientras que los otros tres presentaron valores prácticamente iguales. Por otra parte, acompañan a esta superioridad productiva la mayor precocidad y una moderada frecuencia de

dos mazorcas por planta, es decir, el alto REN es más por atributos de componentes de rendimiento de las mazorcas que por prolificidad. También puede establecerse que algunas de las combinaciones híbridas de comportamiento superior de entre estos grupos pueden servir como probadores para líneas endogámicas nuevas o de sus cruzamientos simples.

**Cuadro 4.** Cuadrados medios y significancia de los contrastes ortogonales de los cuatro grupos de híbridos conformados por procedencia y dirección de cruce, datos combinados de las dos localidades, tres variables relevantes.

<b>Contraste</b>	REN t ha <sup>-1</sup>		PRO (%)		FM (días)	
CIMMYT x Narro vs Narro x CIMMYT	76.83	**	0.31	*	30.1	ns
CIMMYT x Narro vs CIMMYT x Cimmyt	1.97	ns	0.71	**	493.2	**
Narro x CIMMYT vs CIMMYT x CIMMYT	30.9	*	1.67	**	716.6	**
Narro x Cimmyt vs Narro x Narro	30.8	*	0.03	ns	33.3	ns
Cimmyt x Cimmyt vs Narro x Narro	0.04	ns	1.44	**	289.3	**
.....						
Promedio ± DE por variable en:						
1. Híbridos Cimmyt x Narro	10.8 ± 2.0		122 ± 31		77 ± 2.1	
2. Híbridos Narro x Cimmyt	12.3 ± 1.4		118 ± 17		76 ± 2.2	
3. Cimmyt x Cimmyt	11.1 ± 1.8		145 ± 9		82 ± 3.2	
4. Narro x Narro	11.1 ± 2.1		115 ± 18		78 ± 1.5	

## Conclusiones

La hibridación entre fuentes de germoplasma de diferente procedencia en maíz, es altamente probable que guarden distancias genéticas considerables, y por lo tanto se generen casos frecuentes de heterosis entre la combinación de varios de sus genotipos; el caso exploratorio lograda en 50 híbridos experimentales entre fuentes de Narro y Cimmyt presentaron resultados relevantes y la guía para detectar algún(os) patrón(es) heteróticos en la catalogación de nuevos materiales.

## Agradecimientos

A la institución hermana CBTA Número 61 con sede en Calvillo, Aguascalientes por permitirnos el acceso a su campo experimental, y en especial al Ing. M.C. Rubén Larios González, profesor-investigador de esa institución quien, como colaborador en este trabajo, hizo posible la realización exitosa de la experimentación necesaria, aportando en especie la mayor proporción de recursos.

## Literatura Citada

**Burns, H.A., 2009.** A survey of factors involved in crop maturity. *Agron. J.* 101(1): 60-66.

**Bernardo, R., 2001.** Breeding potential of intra inter heterotic group crosses in maize. *Crop Sci.* 41: 68-71.

- De León C. H., F Rincón S., M. H. Reyes V. D Sámano G., G Martínez Z., R. Cavazos C., J. De D. Figueroa C., 2005.** Potencial de rendimiento y estabilidad de combinaciones germoplásmicas formadas entre grupos de maíz. RFM 28(2): 135-143.
- Nielsen, R.B., 2004.** Heat Unit Concept Related to Corn Development. Corny News Network. Purdue University. URL: <http://www.Kingcorn.org/news/articles.04/HeatUnits-0515.html>
- Paliwal, R. L., G. Granados, H. R. Lafitte y A. D. Violic.** El Maíz en los Trópicos. Organización de las naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma, Italia.
- Rodríguez Absi, J., 1993.** Tecnología para la Producción de Maíz en el Estado de Sinaloa. C.I.A.M.F.A.S. Culiacán, México.
- Sámano G., D., F Rincón S., N. A. Ruiz T., J. Espinoza V., H. De León C., 2009.** Efectos genéticos en cruizas directas y recíprocas formadas a partir de líneas de dos grupos Germoplásmicos de maíz.
- SAS Institute., 2004.** SAS/STAT ® 9.1 User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc. USA.

# Características de Raíz en Plántulas y su Relación con la Producción de Plantas Adultas de Maíz Involucrando Poliembrionía

## Seedling's Root Characteristics and their Relationship with Maize Plants Production, Polyembryony Included

José Espinoza Velázquez<sup>a\*</sup>, José Manuel Alcalá Rodríguez<sup>a</sup>, Daniel Sámano Garduño<sup>a</sup>, Jesús Valdés Reyna<sup>a</sup>, Humberto De León Castillo<sup>a</sup> y Víctor Manuel González Vázquez<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Col. Buenavista, C.P.25315. Saltillo, Coahuila. México.

---

### Resumen

El desarrollo del sistema radical es importante en el mejoramiento de cultivos; el tema tiene uso potencial en la identificación de metodologías alternativas rápidas para identificar genotipos sobresalientes en etapas tempranas de desarrollo de plantas. Este trabajo fue desarrollado con el objetivo de explorar probable asociación entre variables del sistema radical seminal (SRS) y el comportamiento productivo de genotipos derivados de un dialélico completo de tres poblaciones de maíz (*Zea mays* L.), dos de alta frecuencia poliembriónica (PE) y una No-PE de alto contenido de aceite en grano (TAA). La calificación de plántulas de 21 días, se llevó a cabo en invernadero, y la evaluación de características de producción de los genotipos fue realizada en dos ensayos de rendimiento, ciclo primavera- verano (P-V) 2008, bajo un diseño experimental de Bloques Completos al Azar, dos repeticiones. Los Resultados corroboraron la alta frecuencia (60 a 65%) del fenómeno en las poblaciones PE, así como la presencia de dos o tres radículas en el SRS en frecuencias de 7 a 18%. La hibridación de las PE con TAA ratificó la naturaleza recesiva del carácter PE, y al mismo tiempo permitió apreciar la combinación exitosa de la hibridación en variables, tanto de plántula de 21 d, como de plantas adultas. La estimación de parámetros genéticos en las dos etapas de estudio permiten señalar la presencia de variancia aditiva en las características: Número de hojas (NH, en plántulas) y Rendimiento y otras agronómicas (en Planta adulta). Los efectos recíprocos se detectaron sólo en variables de plántula. La población TAA presentó mayor capacidad para transmitir características positivas dado sus valores de ACG. La correlación de caracteres estudiados entre las variables de las dos etapas de desarrollo fue generalmente inconsistente pero positiva y significativa entre NH y Rendimiento.

**Palabras clave:** *Zea mays* L., radículas múltiples, poliembrionía, dialélico completo, parámetros genéticos.

### Abstract

In crop's breeding programs, like maize (*Zea mays* L.), a well understanding of the radical system development is quite relevant. The issue has potential use in the allocation of alternative methodologies for the identification of outstanding genotypes in early stages of plant development. This work was undertaken to explore possible association among traits of the seedling's root system (SRS) and adult plant performance in genotypes derived from a set of three populations full diallel design. Two of the populations have a high polyembryonic frequency (PE); the third is Non-PE but high in seed oil content (TAA). The 21 d seedlings were evaluated under greenhouse conditions meanwhile the performance assay was done in two geographical locations during the Spring-Summer of 2008. A complete blocks design, two replicates, was used. Results stated that PE was present in the PE populations in frequencies from 60 to 65 % and that the presence of two or three radicles was observed in 7 to 18 % of the PE seedlings. Hybrids between PE and TAA confirm the recessive behavior of the PE trait, and at the same time had shown the superior performance of the hybrids in seedlings (21 d of age) and adult plant stages. The genetic parameters estimation in both stages of development led to state significant additive variance components for the traits: Seedlings Leaf Number (NH) and Yield and others in adult plants (assays). The reciprocal effects were present in seedlings traits only. The TAA population was better in transmitting

positive characteristics to the offspring (significant GCA values). The association among traits in the two development stages was inconsistent but positive and statistically significant between NH and Yield.

**Keywords:** *Zea mays* L., multiple radicles, polyembryony, diallel, genetic parameters.

---

## Introducción

La raíz es la otra mitad de la planta y por lo tanto de primera importancia en la productividad de los cultivos; la aptitud para crecer y fructificar está gobernada por un sistema radical funcional y eficiente, clave en casos de bajos contenidos de agua y nutrientes en el sustrato de establecimiento (Lynch, 1995; Hochholdinger, 2009). Un sistema radical sano es determinante en el desarrollo de todos los órganos aéreos de la planta (Tuberosa y Salvi, 2007); son estas razones suficientes para incluir características de la raíz en la mejora genética de los cultivos (Mc Phee, 2005), así como estudios relativos al análisis genético de la formación y desarrollo de la raíz (Hochholdinger, 2009).

El sistema radical del maíz inicia con el desarrollo de la radícula (Ritchie *et al.*, 1992; Hochholdinger, 2009); las raíces embrionarias incluyen normalmente la radícula y un número variable de raíces laterales; el crecimiento y desarrollo de éstas ocurre rápidamente, y cesa cuando la plántula alcanza el estado de tres hojas (V3, Ritchie y Hanway, 1992), tiempo en que toman lugar las raíces definitivas o de corona, las cuales inician su desarrollo desde la etapa V1; este nuevo sistema radical en desarrollo se torna el principal proveedor de agua y nutrientes cuando la plántula alcanza el estado V6. Sin embargo, las raíces embrionarias continúan funcionando prácticamente en todo el ciclo de vida del maíz (Ritchie *et al.*, 1992; Hochholdinger, 2009).

Por otra parte, en la diversidad natural del maíz, el fenómeno poliembriónía (PE) ha sido documentado desde hace varios decenios (Randolph, 1936; Sharman, 1942; Morgan y Rappleye, 1951; Pesev *et al.*, 1976; Castro, 1979); esta condición le confiere a una semilla la capacidad de emitir de dos y hasta siete plántulas de manera simultánea, potencialmente productivas. La PE tiene implicaciones importantes sobre embriogénesis y genética en la especie, aunado a su probable aplicación hacia nuevas variedades de potencial productivo; en esto, es destacable que dos o más embriones por semillas pudieran significar mayores contenidos de aceite y proteína embrionaria por grano. Otras características favorables de la PE en maíz, es la capacidad competitiva *in situ* entre plantas hermanas y sus vecinas, así como un ahorro de semilla de siembra por hectárea (Espinoza *et al.*, 1998).

Los maíces comunes exhiben invariablemente una radícula a la germinación; la condición PE entre sus implicaciones, permite la aparición de dos o más plántulas, situación que parece propiciar también la emisión de radículas múltiples, así como el efecto de ellas en la capacidad de las plántulas PE para potenciar aptitudes productivas (Espinoza *et al.*, 2007). Estudios preliminares (Espinoza *et al.*, 2006; Alcalá, 2006) permitieron observar que plántulas PE presentan una proporción de 8 a 16 % de dos y hasta tres radículas por semilla.

En este contexto, el presente trabajo tuvo los siguientes objetivos: a) corroborar la presencia de radículas múltiples en casos de grupos genéticos de alta poliembriónía; b) calcular parámetros genéticos en estos genotipos PE y las cruas resultantes con un material ajeno a ellos; y c) determinar el grado de asociación entre características de plántula de 21 d de edad y características productivas de las plantas adultas con la finalidad de detectar medios

certeros de selección temprana de genotipos promisorios. Todo esto bajo la hipótesis de que la poliembrionía influye de manera positiva los procesos de crecimiento y desarrollo de sus portadores.

## **Materiales y Métodos**

La experimentación en plántulas de 21 d de edad fue desarrollado bajo condiciones de invernadero (28° C temperatura media en el periodo; 60 % Humedad relativa), situado en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN, coordenadas geográficas al centro del campus: 25° 21' Latitud N; 101° 02' Longitud W; altitud: 1756 msnm). Los ensayos sobre comportamiento productivo fueron desarrollados en las localidades Buenavista, Saltillo (Coordenadas muy similares a las anteriores, 50 m menos de altitud) y Calvillo, Aguascalientes (21° 43' N; 102° 42' W; 1640 msnm).

El material genético utilizado consistió de nueve genotipos, generados al combinar en toda dirección a tres poblaciones de maíz, dos de las cuales son de alta frecuencia poliembriónica, denominadas como NAP o C (porte alto) y BAP o D (enana), y la población Tuxpeño HOC o E, muestra otorgada por CIMMYT, la cual se caracteriza por su alto contenido de aceite en el grano (8.5% promedio). En el diseño de apareamiento se siguió el Método 1 (modelo I, fijo) de Griffing (1956), lo cual permitió generar las tres poblaciones paternas, tres cruza directas (CxD; CxE; y DxE) y tres recíprocas (DxC; ExC; y ExD). Muestras aleatorias de semillas de cada uno se utilizaron para el experimento en invernadero (90 semillas, 30 por repetición) como para los ensayos de comportamiento productivo (69 semillas; 23 por repetición en localidad Buenavista; y 78, 26 por repetición en Calvillo).

En los tres experimentos, el diseño aplicado fue Bloques completos al azar, tres repeticiones ( $Y_{ijk} = \mu + \beta_i + \tau_j + \varepsilon_{ij}$ ; cada observación = media general, efecto repetición, efecto genotipo; error experimental); en invernadero, las semillas fueron sembradas de manera individual en botes lecheros de 1 L de capacidad (Tetrapack) en un sustrato 60% Suelo de bosque y 40% Peat Moss (Pro-Mix, compañía Premier-Canadá, Quebec). La semilla por maceta se depositó a 3 cm de la superficie; los riegos (300 ml agua) fueron aplicados a la siembra y cada tercer día durante los 21 d experimentales. Los ensayos de rendimiento fueron establecidos en el ciclo P-V, 2008 (junio – octubre); en Buenavista, la parcela útil fue el surco (5 m longitud) central de tres, la distancia entre surcos y plantas fue de 0.80 m y 0.25 m; en Calvillo, el procedimiento fue similar, aunque la distancia entre surcos y plantas fue de 0.75 m y 0.19 m (establecidas bajo las condiciones productivas del cooperante).

Las variables de respuesta en plántulas de 21 d fueron las relativas a las proporciones de germinación, poliembrionía y número de plántulas por semilla. Obtenidos estos datos, las plántulas fueron extraídas cuidadosamente de sus macetas, eliminando el suelo, para obtener datos en las siguientes variables: Número de hojas (NH); Número de radículas (NR); Longitud de radícula (LR); Número de raíces nodulares (NRN); Longitud total de la plántula (LTP); Longitud de la parte aérea (LPA); Peso fresco: toda la plántula (PFC), de la parte aérea (PFPA), de la raíz (PFR); Peso seco: de raíz (PSR) y de parte aérea (PSPA). El peso seco de las partes raíz y aérea fue logrado al someterles a deshidratación en horno con circulación de aire forzado, a 58° C ± 2° por espacio de 72 hs; los datos derivados de aquí permitieron derivar tres variables compuestas que relacionan peso fresco y seco.

Las variables principales en los dos ensayos de rendimiento fueron Días a floración (masculina y femenina); acame de tallo y raíz y Rendimiento, de mazorca, ajustado al 15.5%

de humedad. Dado que los genotipos C y D, así como sus cruzas directas y recíprocas exhiben poliembrionía a cuantificar, la siembra de todos los genotipos se hizo de una semilla por golpe; esta situación provocó desigual número de plantas por parcela útil; por ello, se aplicó un ajuste por covarianza para evaluar la variable Rendimiento.

Los parámetros genéticos estimados en variables de los tres experimentos, se refieren a valores de aptitud combinatoria, general (ACG) y específica (ACE), efectos recíprocos (ER), los cuales fueron analizados con el paquete computacional Diallel Analysis Version 1.1, con autoría de Mark Burow y James G. Coors (1994).

El modelo genético es como sigue:

$$Y_{ijklm} = \mu + g_i + g_j + s_{ij} + r_{ij} + \varepsilon_{ijklm};$$

Donde:  $Y_{ijklm}$  = Variable de respuesta;  $\mu$  = Efecto de la media general;  $g_i$  = Efecto de la aptitud combinatoria general del i-ésimo padre;  $g_j$  = Efecto de la aptitud combinatoria general del j-ésimo padre;  $s_{ij}$  = Efecto de la aptitud combinatoria específica de los padres  $ij$ ;  $r_m$  = Efecto recíproco; y  $\varepsilon_{ijklm}$  = Error experimental (Griffing, 1956). En el análisis para efectos de Heterosis se siguió el método de Padre Promedio (MPH) descrito por Lamkey y Edwards (1998):

$$MPH = F1 - \frac{P1+P2}{2}.$$

La búsqueda de una medida práctica en características en planta juvenil, asociada a la expresión de alguna(s) variable(s) en etapa productiva fue explorada en este trabajo a través de un análisis de correlación entre tres características de plántula (NH, PSPA, PSR) con tres variables de importancia económica de los ensayos productivos (FM, AR y REND).

## Resultados y Discusión

Los resultados de la experimentación en plántula de 21 d permitió demostrar una vez más la alta frecuencia de la poliembrionía (PE) en las poblaciones C y D, así como la condición recesiva al cruzar a éstas con genotipos No-PE, como es el caso de la población E. La germinación (emergencia, EM) fue notablemente alta en los nueve genotipos; la variable a corroborar: Radículas múltiples (RM) en plántulas poliembriónicas, fue ubicada en frecuencias de 7 a 18 % (Cuadro 1), valores semejantes a los señalados por Espinoza *et al.* (2006).

La PE se manifiesta en proporciones variables en función de la población a observar y la condición genética que la genera; de los antecedentes de la literatura, la proporción de PE es comúnmente menor a 30 % (Sharman, 1942; Pesev *et al.*, 1976; Hallauer y Miranda, 1988; Pilu, 2000); de hecho, la población de donde fueron derivados los grupos C y D, originalmente presentó una frecuencia de 1.5 a 2.0% (Castro, 1979); la proporción actual de estas poblaciones, superior a 65 %, es por mucho el éxito de la selección aplicada; un caso equiparable lo informan Pesev *et al.* (1976), quienes partieron de una expresión menor del carácter, para llegar a frecuencias de 25.3% en las mejores líneas endogámicas que lograron generar.

**Cuadro. 1.** Media y desviación estándar para germinación y dos variables exclusivas de las poblaciones poliembriónicas, medidas a los 21 d de edad.

<b>Genotipos</b>	<b>EM (%)</b>	<b><sup>§</sup>PE (%)</b>	<b><sup>§</sup>RM (%)</b>
C	96 ± 4	68 ± 16	11 ± 1
C x D	94 ± 2	50 ± 8	18 ± 1
C x E	96 ± 2	0	0
D x C	98 ± 4	64 ± 6	7 ± 2
D	96 ± 2	66 ± 7	11 ± 1
D x E	100	0	0
E x C	98 ± 2	0	0
E x D	100	0	0
E	96 ± 2	0	0

<sup>§</sup> Variables exclusivas de la PE. Poblaciones C = NAP poliembriónica, porte alta; D =BAP, poliembriónica, enana; E = Tuxpeño, alto aceite.

Sin duda, la característica más sobresaliente en esta parte del estudio es la presencia de RM (2 ó 3 radículas por semilla germinada) en proporciones superiores a 5%. Es común que se reporten casos de plántulas gemelas o triples, pero que compartan una serie de estructuras, apreciables fenotípicamente a la germinación. De hecho, la tipificación de poliembriónia en maíz señalada por Erdelska (1996) incluye casos de plántulas dobles con estructuras completamente separadas, otras que comparten el endospermo, y las hay que comparten sólo el complejo radical. Estudios más recientes [Chung *et al.*, 2007 (en maíz); Yang y Hwa, 2008 (en arroz)] informan de la acción de genes mayores en la manifestación de plúmulas múltiples por semilla, teniendo o no la manifestación de radículas múltiples; estos casos, como los de las poblaciones C y D manejadas aquí, denotan la capacidad de las semillas de formar alteraciones importantes y potencialmente útiles en el desarrollo embrionario y llegar a manifestarse como dos o más plántulas.

La evaluación de los nueve genotipos a los 21 d de edad incluyó otras nueve variables consideradas de importancia, y que se refieren a medidas de longitud y peso de raíz / parte aérea, en estado fresco y seco, lo cual describió el estado de desarrollo alcanzado a esa edad y la capacidad de ellos para acumular materia seca. En general, los genotipos alcanzaron la etapa de desarrollo vegetativo de tres a cuatro hojas (V3 y V4), de acuerdo a la nomenclatura de Ritchie *et al.* (1992); en esta etapa, el SRS ha cesado su desarrollo (más no su función) y se hace manifiesto el establecimiento del sistema radica definitivo (raíces nodulares o de corona), las que asumen el control total de sustentación de la planta en lo sucesivo. El Cuadro 2 contiene la información relativa a las diferencias estadísticas entre genotipos, las nueve variables, así como sus promedios generales.

La experimentación aplicable en esta etapa arrojó resultados válidos e interesantes; los genotipos difieren ( $P < .05$  ó  $P < 0.01$ ) en todas las variables simples, resaltando que los grupos C, D y la cruce entre ellas generan un mayor número de hojas (NH x 2) y de raíces nodulares; este último datos es atractivo, ya que podría indicar que el fenómeno se magnifica por la presencia de dos ó tres tallos, lo que a su vez podría manifestar la urgencias de estas plántulas PE para absorber cantidades vitales de agua y aniones del suelo para continuar su desarrollo, compensando de este modo las dificultades que pudo haber presentado al sistema radical seminal (SRS) y el desarrollo de las hojas seminales al tener que suministrar recursos para dos o tres estructuras aéreas en vez de una, que es el caso del maíz común. Tal vez sea esta alta demanda de suministros de supervivencia, una de las explicaciones para que una proporción (12 % promedio) de plántulas PE generen radículas múltiples.



parte, la longitud de la parte aérea (tallo y hojas) fue mayor en las cruzas ExC y ExD, mostrando Heterosis de al menos 19% arriba del promedio de sus progenitores. Es de interés destacar que los genotipos PE tuvieron significativamente más longitud de raíz que de parte aérea, aunque ésta se presenta como el promedio del número de tallos presentes, lo cual pudiera significar que éstas plántulas se preparan con más radícula para nivelarse en etapas posteriores de desarrollo juvenil de la planta.

Las variables relativas a peso, fresco o seco, de las dos partes de las plántulas a esta edad indican una proporción relativamente pequeña de materia seca (de 9 a 10%); esto quiere decir que no importa que las estructuras hojas-tallo pesen el doble que la raíz, la proporción de materia seca es prácticamente igual en ambas partes, incluso con ligera ventaja para la raíz; esto parece acorde al activo crecimiento por el que pasan, y el acompañamiento de agua en sus tejidos para apuntalar tal crecimiento.

Resalta también el caso de la superioridad en peso fresco y densidad de raíz de los genotipos No-PE con respecto a los PE. Estos resultados son un indicativo de que la condición de plúmulas y radículas múltiples en PE no le confieren a sus portadores una ventaja aparente en esta etapa de desarrollo, pero si una capacidad de supervivencia que pudiera potenciarse en etapas posteriores de desarrollo. En los Cuadros 3 y 4 aparecen los resultados de análisis estadístico y valores promedio de las tres variables importantes de los ensayos para evaluar el comportamiento productivo de las tres poblaciones y las cruzas entre ellas, localidades: Loc 1 = Buenavista, Loc 2 = Calvillo.

**Cuadro 3.** Cuadros medios y significancia del análisis de varianza de tres variables agronómicas evaluadas en dos localidades.

FV	g.l.	DFM		AR		REND	
		(días)		(%)		(ha <sup>-1</sup> )	
		Loc 1	Loc 2	Loc 1	Loc 2	Loc 1	Loc 2
Rep	2	11.44	27.15	0.002	0.002	15.31	* 0.18
Gen	8	6.92	** 36.20	0.003	0.003	* 7.32	* 18.90 **
Error	16	1.74	14.23	0.001	0.001	3.03	3.24
CV%		1.5	5.3	3.6	3.1	15.9	22.6

g.l.= grados de libertad; DFM= días a floración masculina; AR= acame de raíz; REND= rendimiento de mazorca al 15.5% de humedad. CV %= Coeficiente de variación.

Los genotipos presentaron diferencias ( $P < 0.05$  ó  $0.01$ ) en las dos localidades sólo para Rendimiento (REND); las otras dos variables resultaron relevantes de manera parcial en una u otra localidad. Dado que los progenitores C y D tienen una base genética común, y difieren grandemente de la población E por lo que no sorprende el comportamiento diferencial entre ellas, dentro y entre ambientes.

De relevancia el hecho de que los genotipos resultantes de cruzar madres PE y polen E resultaron en todo caso (dos localidades) los de mayor REND; sin duda, este es un indicio de patrón heterótico aprovechable. En este sentido, cuando se desea apreciar el fenómeno de heterosis en alguna combinación híbrida, se acude a la variabilidad genética que presentan los progenitores, enfocándose principalmente en las diferencias de expresión de uno o varios caracteres (Vasal y Córdova, 1996; Latournerie *et al.*, 1998).

**Cuadro 4.** Valores promedio y prueba multirango (Tukey  $\alpha=0.05$ ) en genotipos de tres poblaciones de maíz y sus cruzas, dos localidades.

Genotipos	DFM (días)		AR (%)		REND (t mazorca ha <sup>-1</sup> )	
	Loc 1	Loc 2	Loc 1	Loc 2	Loc 1	Loc 2
C	90 a	75 a	10 a	23 ab	10.8 ab	6.3 bc
CxD	90 a	75 a	11 a	13 ab	10.0 ab	4.4 c
CxE	87 a	71 a	0 a	12 ab	12.6 a	9.5 abc
DxC	90 a	70 a	13 a	25 a	11.5 ab	4.5 bc
D	87 a	75 a	5 a	8 ab	7.4 b	6.8 abc
DxE	87 a	66 a	1 a	12 ab	11.5 ab	11.8 a
ExC	86 a	69 a	3 a	16 ab	11.8 ab	9.7 ab
ExD	86 a	67 a	1 a	9 ab	10.8 ab	8.8 abc
E	87 a	68 a	1 a	4 b	12.3 ab	9.6 abc
$\bar{X}$ general	<b>88 a</b>	<b>70 b</b>	<b>5 b</b>	<b>14 a</b>	<b>10.96 b</b>	<b>7.96 a</b>

DFM= Días a floración masculina; AR= Acame de raíz; REND= Rendimiento de mazorca al 15.5% de humedad. Misma letra en la columna o fila (media general) son estadísticamente iguales.

Los genotipos presentaron diferencias ( $P < 0.05$  ó  $0.01$ ) en las dos localidades sólo para Rendimiento (REND); las otras dos variables resultaron relevantes de manera parcial en una u otra localidad. Dado que los progenitores C y D tienen una base genética común, y difieren grandemente de la población E por lo que no sorprende el comportamiento diferencial entre ellas, dentro y entre ambientes. De relevancia el hecho de que los genotipos resultantes de cruzar madres PE y polen E resultaron en todo caso (dos localidades) los de mayor REND; sin duda, este es un indicio de patrón heterótico aprovechable. En este sentido, cuando se desea apreciar el fenómeno de heterosis en alguna combinación híbrida, se acude a la variabilidad genética que presentan los progenitores, enfocándose principalmente en las diferencias de expresión de uno o varios caracteres (Vasal y Córdova, 1996; Latournerie *et al.*, 1998).

El comportamiento de los genotipos en las dos localidades permiten distinguir a la Loc 1 como el mejor ambiente para la reducción de su AR y mayor REND, pero como suele suceder en temas de producción, la madurez tardía favorece el rendimiento, mientras que la precocidad la abate; es relevante el hecho de que la variable DFM (floración, espiga) fue en promedio 18 d menor en Loc 2, pero los valores de acame y rendimiento son realmente pobres (Cuadro 4). La diferencia entre localidades en las variables AR y REND favorecen a la Loc 1, estadísticamente notable: 7 % menos acame de raíz y 3 t ha<sup>-1</sup> más en producción de mazorca.

La inclusión de parámetros genéticos en este trabajo fue considerada de interés en el propósito de identificar algún tipo de relación entre los valores estimados en etapa de plántula con los de planta adulta; esta relación tendría importancia en la identificación de variables en etapas juveniles, como medio certero para seleccionar genotipos con mejores atributos en sus etapas productivas.

Del conjunto de variables en las dos etapas de estudio, se seleccionaron las que se han señalado en este escrito, y que son: NH, PPS y PSR en plántula, y DFM, AR y REND en los ensayos de producción. Dado que las seis presentan significancia estadística en cuanto a

genotipos fue posible llevar a cabo la descomposición de la varianza en los parámetros ACG, ACE y ER, maternos y no-maternos (Cuadros 5 y 6).

**Cuadro 5.** Cuadros medios y significancia estadística, nueve genotipos, etapa de 21 d de dad.

FV	g.l.	NH (n)		PSPA (g)		PSR (g)
<b>Rep</b>	<b>2</b>	0.004		0.172	**	0.000
<b>Gen</b>	<b>8</b>	0.351	**	0.054	**	0.009
ACG	2	0.952	**	0.0003		0.009
ACE	3	0.291	**	0.034	**	0.004
REC	3	0.010		0.110	**	0.015
MAT	2	0.015		0.161	**	0.018
NMAT	1	0.000		0.008		0.008
<b>Error</b>	<b>16</b>	0.006		0.006		0.002
CV (%)		1.97		6.51		7.40
Media		3.80		1.21		0.66

ACG = aptitud combinatoria general; ACE = aptitud combinatoria específica; REC = efectos recíprocos; MAT = efectos maternos; NMAT = efectos no-maternos.

**Cuadro 6.** Cuadros medios y significancia estadística, nueve genotipos, etapa planta adulta.

FV	g.l.	DFM (Días)		AR (%)		REND t*ha-1	
		LOC 1	LOC 2	LOC 1	LOC 2	LOC 1	LOC 2
<b>Rep</b>	<b>2</b>	11.44 **	17.44	0.0030	0.0118	15.31 **	0.18
<b>Gen</b>	<b>8</b>	6.92 **	28.50	0.0017	0.0004 *	7.32	18.90 **
ACG	2	17.01 **	61.23 *	0.0033	0.0013 **	21.32 **	48.27 **
ACE	3	7.00 **	30.66	0.0002	0.0018	3.69	13.69 *
REC	3	0.11	4.52	0.0021	0.0052	1.63	4.52
MAT	2	0.16	5.40	0.0031	0.0070	1.84	4.85
NMAT	1	0.00	2.76	0.0001	0.0014	1.20	3.86
<b>Error</b>	<b>16</b>	1.74	16.49	0.0014	0.0011	3.03	3.24
CV (%)		1.50	5.3	3.6	3.1	15.9	22.6
Media		88	70	4.80	13.60	10.96	7.97

Los resultados del análisis dialélico permiten identificar que en etapa juvenil, los genotipos expresan el impacto de la crianza materna y ciertas variables exhiben ER significativos, situación que no está presente en plantas adultas. Los valores significativos de ACG son propios de las tres variables de planta adulta, principalmente en REND, y en NH de plántulas de 21 d; el genotipo E presentó los mejores valores significativos de efectos de ACG en las variables NH (+0.27\*\*), DFM (-1.0 \*) y REND (+0.9\* Loc 1 y +1.9\* en Loc 2.

Por otra parte, la ACE se destaca en estas últimas y escasamente en planta adulta; aquí destaca el REND sobresaliente de la cruz DxE en Loc 2.

Con base en la descomposición de la fuente de genotipos, se calculó la proporción de varianza atribuible a efectos genéticos (Cuadro 7). Como puede apreciarse, la componente aditiva es relevante en la variable NH y en las tres de planta adulta, las dos localidades, indicando la importancia de los efectos aditivos en estos caracteres. Los resultados en plántula son similares a los reportados por Revilla *et al.* (1999) y Antuna *et al.* (2003), quienes concluyeron la prevalencia de los efectos aditivos sobre los de dominancia en calidad de semilla y etapas iniciales del desarrollo del maíz. Discordantes a los de Cervantes *et al.* (2006) quienes reportan lo contrario. En etapa adulta, los resultados de este trabajo coinciden con los reportado por Antuna *et al.* (2003) proporción de 60 a 76 % de varianza por ER, 80 % ó más corresponde a efectos maternos, que pueden significar el efecto de los productos almacenados de genes en el citoplasma de la madre.

El desarrollo de variedades de maíz puede beneficiarse si el proceso de selección puede auxiliarse de evaluaciones de materiales en etapa juvenil. Con este enfoque se aborda la relación de caracteres de plántula y planta adulta y se comparan los efectos genéticos obtenidos del diseño de apareamiento dialélico. El Cuadro 8 presenta la expresión fenotípica promedio de los nueve genotipos bajo estudio.

**Cuadro 7.** Contribuciones de varianza genética, a partir de la descomposición de la suma de cuadrados de la fuente de variación genotipos en las dos etapas de evaluación.

Etapa de desarrollo	Variables	Contribuciones de Varianza (%)				
		Aditivos	Dominancia	Recíprocos	MAT	NMAT
		ACG	ACE			
Plántula (21 días de edad)	NH (n)	68	31	1	100	0
	PSR (g)	23	17	60	80	20
	PSPA (g)	1	23	76	97	3
Planta adulta	DFM 1	62	37	1	100	0
	DFM 2	54	40	6	78	22
	AR 1	69	23	8	96	4
	AR 2	71	8	21	93	7
	REND 1	73	19	8	75	25
	REND 2	64	27	9	71	29

Los efectos recíprocos sólo se presentaron en la etapa juvenil, concretamente en las variables peso seco raíz y parte aérea (PSR y PSPA). La descomposición ulterior de ER en maternos y no-maternos, sigue el método de Martínez (1983).

Como puede apreciarse, la asociación más notable se presenta en los híbridos PE x E, así como E *per se* ya que manifiestan un buen comportamiento a través de las dos etapas del estudio. En específico, las cruzas fueron E x C y E x D, aunque su promedio en las dos localidades no fueron las más rendidoras; esta situación es concordante con lo publicado por Hawkins y Cooper (1979), quienes argumentan que un buen comportamiento en plántula en el periodo heterotrófico desaparece antes de la floración masculina. Por otra parte, los genotipos

más rendidores fueron CxE y DxE (madres poliembriónicas); considerando que el rendimiento es por lo general el objetivo mayoritario del mejoramiento, puede asumirse que estos son los genotipos de mejor respuesta a través del ciclo de vida.

**Cuadro 8.** Valores medios de atributos de plántulas en etapa juvenil y caracteres agronómicos en planta adulta.

Gen	NH		PSPA		PSR		FM (Días)		AR (%)		REND t*ha <sup>-1</sup>	
	(n)	(g)	(g)	LOC 1	LOC 2	LOC 1	LOC 2	LOC 1	LOC 2	LOC 1	LOC 2	
C	3.56	1.23 *	0.69	90 *	75 *	11 *	23 *	10.8	6.3			
CxD	3.56	1.27 *	0.71 *	90 *	75 *	10 *	13	10.0	4.4			
CxE	4.10 *	1.10	0.62	87	71	0	12	12.6 *	9.5			*
DxC	3.50	1.16	0.57	90 *	70	13 *	25 *	11.5 *	4.5			
D	3.26	1.10	0.59	87	75 *	5	8	7.4	6.8			
DxE	4.10 *	1.10	0.64	87	66	1	12	11.5 *	11.8			*
ExC	4.03 *	1.28 *	0.74 *	86	69	3	16 *	11.8 *	9.7			*
ExD	4.13 *	1.52 *	0.72 *	86	67	1	9	10.8	8.8			*
E	4.06 *	1.15	0.65	87	68	1	4	12.3 *	9.6			*
Media	3.8	1.2	0.7	87.7	70.1	4.8	13.6	11.0	8.0			
$\epsilon$	0.02	0.02	0.01	1.5	1.3	0.25	0.78	0.24	0.34			

\* = Mayor que  $\mu + 2 \epsilon$ ; NH= Número de hojas; PSPA= Peso seco parte aérea; PSR= Peso seco de raíz; DFM= Días a floración masculina; AR= Acame de raíz; y REND= Rendimiento al 15.5% de humedad;  $\epsilon$  = Error estándar.

Para dar sustento al comportamiento diferencial de los genotipos en respuesta a las variables de plántula con los de planta adulta, se realizó un análisis de correlación entre los valores promedio de todos los genotipos y las variables de las dos etapas de desarrollo analizadas en este trabajo (Cuadro 9).

Los coeficientes de correlación entre las variables de las dos etapas de desarrollo fueron bajos pero significativos. Los valores de correlación negativos entre NH con DFM y AR, así como los positivos establecidos entre NH y REND, pudieran significar que los genotipos de mayor número de hojas en etapa juvenil se correlacionan con precocidad, menor acame de raíz y mayor rendimiento de mazorca; esta interpretación coincide con lo publicado por quienes obtuvieron correlaciones bajas pero significativas entre número de hojas de planta juvenil y días a floración femenina y rendimiento de mazorca en líneas de maíz; pero son discordantes con lo establecido por Antuna *et al.* (2003) en relación a variables de calidad fisiológica de semillas y características productivas de plantas adultas.

**Cuadro 9.** Coeficientes de correlación entre características de planta juvenil y agronómicas en planta adulta.

Variables	Variables agronómicas						
	FM (Días)		AR (%)		REND t*ha <sup>-1</sup>		
	LOC 1	LOC 2	LOC 1	LOC 2	LOC 1	LOC 2	
Plántula	NH (n)	-0.52 **	-0.51 **	-0.38 *	-0.25 *	0.48 *	0.65 **
	PSR (g)	-0.12	-0.31	-0.23	-0.11	0.10	0.26
	PSPA (g)	-0.25	-0.14	0.06	0.03	-0.17	0.01

\*, \*\* = Significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad; NH= Número de hojas; PSPA= Peso seco parte aérea; PSR= Peso seco de raíz; DFM= Días a floración masculina; AR= Acame de raíz; y REND= Rendimiento al 15.5% de humedad.

## Conclusiones

La poliembrionía es un fenómeno aprovechable desde el punto de vista agronómico; sus características genéticas exhiben un comportamiento recesivo al cruzarse con genotipos no-PE; el fenómeno tiene relación con la expresión de radículas múltiples, lo cual pudiera ser una característica a seleccionar para incrementar su frecuencia en los genotipos PE.

Los parámetros genéticos estimados en este trabajo reflejan que los efectos genéticos aditivos son significativos en las variables de planta adulta, y en algunos de plántula como el caso de NH; los efectos recíprocos, principalmente maternos, son más identificables con variables en etapa juvenil de la planta.

La asociación significativa entre variables de plántula y planta adulta resaltan el hecho de que un número alto de hojas a los 21 d de edad pudiera ser un buen indicador para seleccionar genotipos potencialmente buenos en comportamiento agronómico y rendimiento.

## Literatura Citada

- Antuna-Grijalva O., F. S. Rincón, E. Gutiérrez Del R, N. A. T. Ruiz, y L. G. Bustamante., 2003.** Componentes genéticos de caracteres agronómicos y de calidad fisiológica de semillas en líneas de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*. **26**(1): 11-17.
- Castro-Gil M., 1979.** Estudio sobre herencia y valor nutritivo de semillas con doble embrión. 24-25 pp. En: Informe de Avances de Investigación, IMM, 86-87.
- Cervantes-Ortiz F., García-de los Santos. G., Carballo-Carballo. A., Bergvinson D., Crossa J., Mendoza-Elos. M., Moreno-Martínez. E., 2006.** Análisis dialélico para caracteres de vigor de semilla y de plántula en genotipos de maíz tropical. *Agricultura Técnica de México* **32**(1): 77-87.
- Chung T., Cheol Soo K., Nguyen. H. N., Meeley R. B. y Larkins B. A., 2007.** The maize *Zmsmu2* gene encodes a putative RNA-Splicing factor that affects protein synthesis and RNA processing during endosperm development. *Plant Physiology*. 144: 821-835.
- Corey L. A., Matzinger D. F., Cockerham C. C., 1976.** Maternal and reciprocal effects on seedling characters in *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. *Genetics* **82**: 677-683.
- Dubrovsky, J., Ivanov, V., 1984.** Certain mechanisms of lateral root initiation in germinating maize roots. *Physiology and Biochemistry of Cultivated Plants*, Kiev **16**: 279±284.

- Erdelska, O., 1996.** Cleavage polyembryony *in vivo* and *in vitro*. *Acta Botanicorum Poloniae* Vol **65** (1-2) CTOP. 001123-00125.
- Espinoza, J., Vega, C., Navarro, E., Burciaga, G., 1998.** Poliembriónia en maíces de porte normal y enano. *Agronomía Mesoamericana* **9**(2):83-88.
- Espinoza, J., Musito, N., Sámano, D., González V., Musito, A., Gallegos, J., 2006.** Variantes en raíz de maíces poliembriónicos a nivel plántula. XXI Congreso Nacional y Primero Internacional de Fitogenética, del 3 al 8 de septiembre de 2006. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.
- Espinoza., 2007.** Libro Científico Anual de Agricultura, Ganadería y Ciencia Forestal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Disponible en la página de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro: <http://www.uaaan.mx/>
- Griffing, B., 1956.** Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Australian Journal Biology Science.* **9**, 463-493.
- Hochholdinger, F., Feix, G., 1998.** Early post-embryonic root formation is specifically affected in the maize mutant lrt1. *Plant Journal* **16**: 247±255.
- Hochholdinger, F., 2004.** Genetics of root formation in maize (*Zea mays* L.) Reveals Root-Type specific developmental programs. *Annals Botany* **93**: 359-368.
- Hochholdinger, F., 2006.** Research interest: Genetic analysis of root formation in maize (*Zea mays* L.). Available in <http://www.uni-tuebingen.de/genetics/hochh/hochh.htm>. Accessed 25 January 2007.
- Hochholdinger, F., 2009.** The maize root system: Morphology, Anatomy, and genetics. J. L. Bennetzen and S.C. Hake (eds.), Handbook of maize: Its Biology. *Springer Science.* 145-160.
- Hoecker, N., Keller, N., B., Piepho H. P., Hochholdinger, F., 2006.** Manifestation of heterosis during early maize (*Zea mays* L.) root development. *Theor. Appl. Genet.* **112**: 421-429.
- Ishikawa, H., Evans, M. L., 1995.** Specialized zones of development in roots. *Plant Physiology* **109**: 725±727.
- Lynch, J., 1995.** Root architecture and plant productivity. *Plant Physiology* **109**: 7±13.
- Márquez, S. F., 1998.** Genotécnia Vegetal. Tomo II. AGTESA. México. 563 p.
- McPhee, K., (2005).** Variation for seedling root architecture in the core collection of pea germplasm. *Crop Science* **45**:1758-1763.
- Melani, M. D. y Carena, M. J., 2005.** Alternative maize heterotic pattern for the Northern corn belt. *Crop Science* **45**: 2186-2194.
- Pilu, R., (2000).** The twin trait maize. *Maize Gen. Coop. News.* 74:51.
- Pesev, N, R Petrovic, Lj Zecevic and M Milosevic., 1976.** Study of Possibility in raising maize inbred lines with two embryos. *Theor. Appl. Gen.* 47: 197-201.
- Revilla, P., A. Butrón, R. A. Malval, and A. Ordás., 1999.** Relationships among kernel weight, early vigor, and growth in maize. *Crop Science* **39**:654-658.
- Ritchie, S. W., Hanway, J. J., 1992.** How a corn plant develops. Special report No. 48. Iowa State University Ames, IA, USA,
- Tuberosa, R., Salvi, S., 2007.** Form the QTLs genes controlling root traits in maize. *J.H.J. Spiertz, P.C. Struik and H.H. van Laar (eds.), Scale and Complexity in Plant Systems Research: Gene-Plant-Crop Relations,* 15-24.
- Sherman, B C., 1942.** A twin seedling in *Zea mays* L. Twinning in the gramineae. *New Phytol.* 41, 2:125-129.

**Vasal, K. y Córdova, H., 1996.** Heterosis en maíz: acelerando la tecnología de híbridos de dos progenitores para el mundo de desarrollo. In: López B. A., S. A. Rodríguez H. y G. Martínez. Memorias del curso internacional de actualización en Fitomejoramiento y agricultura sustentable. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 32-61 pp.

**Yang X. y C. Hwa. 2008.** Genetic and physiological characterization of the *OsCem* mutant in rice: formation of