

# HÍBRIDOS EXPERIMENTALES DE MAÍZ NORMAL Y QPM EN REGIONES MAICERAS DE COSTA RICA

Nevio Bonilla Morales<sup>1</sup>

## RESUMEN

**Híbridos experimentales de maíz (*Zea mays* L.) normal y QPM en las regiones maiceras de Costa Rica.** Con el fin de determinar el comportamiento agronómico, rendimiento y adaptabilidad se evaluaron diecinueve híbridos experimentales de grano blanco y quince híbridos de grano amarillo, en las localidades de El Águila, El Progreso y Veracruz de Pérez Zeledón; Concepción de Pilas y Changuena de Buenos Aires, El Amparo y San Jorge de Los Chiles y Pueblo Nuevo de Upala. Las evaluaciones consideraron características como rendimiento, tolerancia a plagas y enfermedades de importancia económica y desempeño bajo diferentes condiciones agroecológicas (suelos, temperatura y precipitación). Se realizó un análisis AMMI y SREG para todas las variables con significancia estadística a fin de determinar la naturaleza de la interacción genotipo x ambiente (gxa). Los resultados obtenidos indican efectos significativos de localidad y genotipo, así como en la interacción gxa en ambos tipos de análisis. Los componentes principales del análisis explicaron un 80,0 y 88,2 % de la variabilidad asociada a la interacción gxa, por lo tanto el gráfico biplot refleja adecuadamente el patrón de la interacción. Los híbridos más estables fueron CLWN201/CLRCW105, (CLQRCWQ26)/(CLQRCWQ10) y (CML502)/(CML491) de acuerdo con el biplot AMMI. Las localidades El Progreso, San Jorge y Upala interactuaron favorablemente con los híbridos según el biplot SREG siendo los genotipos más estables CLWN201/CLRCW105, CML495/CLWN201 y CLWN208/CML494 en dichas localidades. Las localidades Changuena, Concepción y Veracruz interactuaron desfavorablemente con los híbridos. Los híbridos CLWN216/CLWN201 y CLWN214/CLWN201 mostraron el mayor rendimiento (6,4 y 6,1 t/ha respectivamente) superando a los testigos en 65,4; 76,8; 57,6 y 68,5 % respectivamente. Los testigos 3086 y 5GP21 mostraron el menor rendimiento (3,87 y 3,62 t/ha respectivamente). Los híbridos más estables fueron seleccionados para la siguiente etapa de evaluación. La dinámica entre rendimiento y pudrición de mazorca evidencia que los valores altos de pudrición coinciden con valores altos de rendimiento para cada híbrido, evidenciando poco efecto de la pudrición sobre el rendimiento.

**Palabras clave:** *Zea mays*, genotipo, ambiente, AMMI, SREG.

1 Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria, INTA. Costa Rica. nbonilla@inta.go.cr. Sede Central del MAG. Sabana Sur.

## INTRODUCCIÓN

El maíz es una fuente de almidón pero su contenido de proteína es más bajo que el de otros cereales. Entre las clases de maíz, el amarillo es el más nutritivo por su alto contenido de vitamina A. El maíz de alta calidad de proteína (QPM) tiene un alto contenido de lisina y triptófano que son aminoácidos esenciales (Paliwal y Granados 2001).

La liberación de híbridos modernos de maíz, tolerantes a factores adversos, bióticos y abióticos, contribuirá a reducir las pérdidas poscosecha. Un adecuado entendimiento de los aspectos fisiológicos correlacionados con el rendimiento y la incorporación de índices de selección más eficientes en las metodologías de mejoramiento para ambientes adversos, han mejorado las técnicas de selección (Córdova *et al.* 2002).

En el maíz existen cuatro clases de proteínas: globulina, albúmina, prolamina (zeína) y glutelina. La zeína es una proteína de pobre calidad y constituye más de la mitad del contenido de proteína del maíz normal. El gen *opaco-2* disminuye el contenido de zeína en el grano hasta en un 50 % y aumenta los niveles de lisina y triptófano. El maíz con alta calidad de proteínas también denominado QPM, por sus siglas en inglés (Quality Protein Maize) es portador del gen *opaco-2*, es decir son ricos en lisina y triptófano, contando con el doble de unidades que los maíces normales (Krivanek *et al.* 2007).

A partir de los años 1970, los fitomejoradores del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, apoyados por el laboratorio de bioquímica de esa institución, continuaron mejorando las características agronómicas y nutricionales de estos maíces. En los primeros años de la década de los 90 presentaron al mundo científico variedades de maíz con alta calidad nutritiva, altos rendimientos, humedad normal en el grano y aspecto de grano duro normal (no harinoso). Para 1996, el maíz *opaco-2* había sido modificado a lo que se podría llamar un maíz tipo "normal" en todas sus características, excepto por el valor nutricional de su proteína. Actualmente estos nuevos materiales son considerados como una de las estrategias para mitigar la desnutrición en zonas de pobreza y alta desnutrición (Gordon *et al.* 2010, Córdova *et al.*

2002, Paliwal y Granados 2001, Bonilla 2005, Yan y Hunt 2002b, Yan y Rajcan 2002, Yan 2001).

El análisis de varianza y regresión conjunta, es una metodología empleada ampliamente para explicar la interacción genotipo x ambiente (gxa). Las técnicas multivariadas también han sido utilizadas para estudiar los efectos de la interacción gxa; por ejemplo el análisis de componentes principales (PCA), análisis de coordenadas principales y análisis de clúster (Crossa 1990). El desarrollo del modelo AMMI (efectos principales aditivos e interacción multiplicativa), que integra análisis de varianza y de componentes principales (Castañón *et al.* 2000, Yang *et al.* 2000), ha mostrado su eficiencia para explicar una proporción de la suma de cuadrados de la interacción, superior a la obtenida con el análisis de varianza y regresión conjunta (Gauch y Zobel 1988, Yan *et al.* 2000, Yang *et al.* 2009, Crossa 1990, Crossa *et al.* 1990, Crossa *et al.* 1991, Crossa *et al.* 2002, Leem y Johnson 2005).

En este sentido, resulta de vital importancia definir el concepto de estabilidad con que se trabaja, esto sin tomar en cuenta la metodología empleada para estimar la interacción gxa Becker (1981), Lin *et al.* (1986), Becker y León (1988), definen conceptos de estabilidad fenotípica que se complementan desde el punto de vista estadístico, biológico y agronómico.

Existen numerosos ejemplos de la utilización de las metodologías mencionadas aplicadas a evaluaciones de la interacción gxa, de manera que se determinan los genotipos más estables y los ambientes más discriminantes (Bonilla 2005, Gordon *et al.* 2006, Gordon *et al.* 2010, Camargo *et al.* 2003).

La evaluación experimental de maíz híbrido en relación con a las variedades de polinización libre (V.P.L.) ha recibido mayor atención por parte de los fitomejoradores del área mesoamericana en la búsqueda de alternativas para aumentar la producción de maíz, particularmente en ambientes favorables (Córdova *et al.* 2002). En la región mencionada se ha determinado que los programas nacionales de maíz, han desarrollado en sus propios países proyectos de mejoramiento,

con el fin de generar variedades e híbridos con mayor potencial de rendimiento y mejores características agronómicas (Cordova *et al.* 2002).

Se atribuye la baja productividad del maíz en los trópicos a factores como el alto régimen de precipitación, temperatura y humedad relativa, además de los días cortos, un período de crecimiento más breve, la baja intensidad de radiación por la nubosidad y altas temperaturas nocturnas. Esto es de particular intensidad en los ambientes marginales. Existe una información científica reducida en las regiones del trópico en cuanto al mejoramiento genético del maíz, a diferencia del volumen de información imperante en zonas templadas.

Además la investigación en maíz en el trópico se ha iniciado más tarde, ha tenido un proceso más lento, los recursos y facilidades han sido limitados y finalmente que la base genética estrecha con que se ha trabajado ha limitado a los diferentes programas nacionales (Paliwal y Granados 2001).

La ciencia y la tecnología constituyen la brecha más importante entre la pobreza y la prosperidad. Durante el último cuarto de siglo, la introducción de prácticas tecnológicas basadas en la ciencia, han ayudado a muchos países en desarrollo a alcanzar una relación favorable entre la producción de alimentos y el crecimiento de la población (Córdova *et al.* 2002).

En Centroamérica y el Caribe el mejoramiento genético del maíz ha contribuido a la liberación de aproximadamente 150 cultivares que han sido multiplicados y distribuidos por una industria de semillas dinámica y progresista. Estos cultivares, asociados con prácticas agronómicas apropiadas, han permitido aumentar la productividad del maíz en la región, lo que ha representado el incremento del rendimiento en un 60 % aproximadamente, siendo este aspecto más significativo en países como El Salvador y Guatemala que duplicaron los rendimientos y mejoraron el autoabastecimiento de maíz (Córdova *et al.* 2002, Bonilla 2012).

El uso de germoplasma mejorado es una opción para evaluar la producción y productividad del cultivo; sin embargo, el éxito depende

de la capacidad de adaptación de los genotipos a diferentes ambientes, por lo que se hace necesario hacer evaluaciones en diferentes localidades y años (Quemé y Fuentes 1992).

El manejo agronómico es el complemento indispensable para el buen desarrollo o comportamiento de un cultivo. La evaluación de los genotipos en el tiempo y el espacio es una condición indispensable para estimar objetivamente su auténtico potencial agronómico y de rendimiento. Un material nuevo además de adaptarse a una localidad determinada, este debe superar a los ya existentes, para justificar la sustitución de estos y la introducción de aquellos (Castañón *et al.* 1994).

El rendimiento (producción de grano seco por unidad de superficie) es la característica más importante en la mejora de maíz, así mismo es el objetivo más complejo con que tiene que trabajar el mejorador ya que está determinado por la expresión e interacción de numerosos genes que afectan todos los procesos vitales de la planta. La adaptación es una característica igualmente compleja dado que considera muchas y diferentes respuestas de la planta (Ordás 1995).

En cuanto al mejoramiento de la calidad proteínica se menciona que igualmente este carácter constituye un sistema complejo por lo que se requiere de procesos elaborados para llegar a obtener éxito en generar materiales con las características requeridas al respecto (Bonilla 2012).

La interacción gxa es la expresión diferencial a lo largo de los ambientes, así mismo esta reduce la asociación entre los valores fenotípicos y genotípicos y pueden causar que las selecciones provenientes de un ambiente se comporten pobremente en otro, forzando a los fitomejoradores a examinar la adaptación genotípica. Es importante medir la interacción gxa para determinar una estrategia de mejoramiento adecuada para liberar genotipos con la adaptación acorde a los ambientes de interés (Brizuela *et al.* 1992, Yan y Tinker 2005, Yan y Tinker 2006, Yan *et al.* 2007, Bonilla 2012).

El objetivo fue seleccionar nuevos híbridos de maíz de grano blanco y amarillo que en etapa experimental presenten rendimientos no menores de 4 t/ha.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Diseño experimental

En los experimentos de híbridos de grano blanco, se utilizó un diseño de alfa látice 3x7 con tres repeticiones y siete sub-bloques compuestos de tres híbridos cada uno. En total se contó con diecinueve híbridos experimentales y dos testigos locales (3086 y 5GP21) (Cuadro 1). Los experimentos de híbridos de grano amarillo estuvieron bajo un diseño alfa látice 3x6 con tres repeticiones y 6 sub-bloques compuestos de tres híbridos cada uno. En total se contó con quince híbridos experimentales y tres testigos locales (3041, HR-Oro y HR-960) (Cuadro 2). A continuación se presentan la lista de los tratamientos (genotipos) que fueron evaluados en las diferentes localidades y períodos de evaluación:

Cuadro 1. Híbridos tropicales de madurez tardía y grano blanco normal y QPM. Costa Rica. 2011-2014.

Entrada	Origen	Genealogía
1	CLQRCWQ131/CLQRCWQ10	AF10A-212-1/2
2	CLQRCWQ26/CLQRCWQ10	AF10A-212-3/4
3	CML503/CML491	AF10A-212-5/6
4	CLWN206/CLWN201	AF10A-212-7/8
5	CLRCW87/CML494	AF10A-212-9/10
6	CLRCW106/CLWN201	AF10A-212-11/12
7	CLWN202/CLWN201	AF10A-212-13/14
8	CLWN216/CLWN201	AF10A-212-15/16
9	CLWN214/CLWN201	AF10A-212-17/18
10	CLRCW105/CLWN201	AF10A-212-19/20
11	CML494/CML495	AF10A-212-21/22
12	CLQRCWQ48/CLQRCWQ83	AF10A-212-23/24
13	CLQRCWQ26/CML491	AF10A-212-25/26
14	CLWQ219/CLQRCWQ10	AF10A-212-27/28
15	CLQRCWQ116/CLQRCWQ83	AF10A-212-29/30
16	CLQRCWQ118/CLQRCWQ10	AF10A-212-31/32
17	CLWQ220/CLQRCWQ10	AF10A-212-33/34
18	CLQRCWQ10/CML491	AF10A-212-35/36
19	CLQRCWQ123/CLQRCWQ83	AF10A-212-37/38
20	Testigo Local 1	3086
21	Testigo Local 2	5GP21

Cuadro 2. Híbridos tropicales de madurez tardía y grano amarillo normal y QPM. Costa Rica. 2011-2014.

Entrada	Origen	Genealogía
1	CL02450Q/CML161	CL02450Q/CML161
2	CL02720/CLRCY016	CLQRCYQ59/ CLQ-RCYQ49
3	CL02720/CL02450	CLQ-RCYQ70/CML161
4	CML451/CLRCY017	CLQRCYQ59/CML161
5	CLRCY039/CLRCY017	CLQ-RCYQ71/ CLQ-RCYQ49
6	CLRCY045/CLRCY017	CML451Q/CL02450Q
7	CML451/CL02450	CML161/CML165
8	CLQRCYQ59/ CLQ-RCYQ49	CL02720/CLRCY017
9	CLQ-RCYQ70/CML161	CLYN205/CLRCY017
10	CLQRCYQ59/CML161	CL02720/CLRCY016
11	CLQ-RCYQ71/ CLQ-RCYQ49	CL02720/CL02450
12	CML451Q/CL02450Q	CML451/CLRCY017
13	CML161/CML165	CLRCY039/CLRCY017
14	CL02720/CLRCY017	CLRCY045/CLRCY017
15	CLYN205/CLRCY017	CML451/CL02450
16	Testigo Local 1	3041
17	Testigo Local 2	HR Oro

Para los experimentos de grano blanco las localidades consideradas fueron El Águila, El Progreso, Concepción, Changuena y Veracruz en la Región Brunca así como Upala, San Jorge, El Parque, El Amparo de la Región Huetar Norte.

Para los experimentos de híbridos de grano amarillo las localidades consideradas fueron Concepción y El Águila de la Región Brunca; así como El Amparo de la Región Huetar Norte.

## Descripción de la unidad experimental

Cada parcela consta de cuatro surcos de 5 m de largo y separados a 0,75 m y 0,50 m entre plantas. Se sembraron tres semillas por golpe, y se raleó a dos plantas a los 22 días después de la siembra. La parcela útil consistió de 7,5 m<sup>2</sup>. La densidad de siembra fue de 53 333 plantas/hectárea.

Se sembraron tres parcelas por material, con 132 semillas por cada material para un total de 3300 semillas en cada experimento, siendo cuatro experimentos, para un total final de 13 200 semillas. Aproximadamente, por peso serían 6 kg de semilla.

## Variables y métodos de evaluación

### Comportamiento agronómico

1. Número de plantas emergidas (dato de observación, cuando amerite).
2. Días a floración masculina.
3. Días a floración femenina.
4. Altura de planta.
5. Altura de mazorca.

6. Cobertura de mazorca.
7. Aspecto de mazorca.
8. Acame de raíz.
9. Acame de tallo.

### Problemas de plagas y enfermedades

1. Número de mazorcas podridas.
2. Enfermedades de follaje.
3. Daño ocasionado por *Stenocarpella maydis* (incidencia y severidad).

### Rendimiento

1. Número total de mazorcas.
2. Número total de plantas.
3. Peso de campo.
4. Relación grano/mazorca.
5. Rendimiento de grano al 14 % humedad.

### Forma de analizar los datos

Análisis de varianza de cada variable por localidad, utilizando la prueba de rango múltiple de DMS al 0,05 de probabilidad, además, se efectuó un análisis combinado para todos los experimentos, incluyendo aquellas localidades que muestren homogeneidad en las varianzas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Experimentos de híbridos de grano blanco

El análisis de varianza para cada localidad individual señala que se presentaron diferencias significativas en cuanto a las variables rendimiento, pudrición de mazorca, relación altura mazorca/planta, relación-mazorcas/planta, aspecto de mazorca, altura de planta y altura de mazorca para la localidad de El Águila de Pejibaye. En las localidades del cantón de Los Chiles, a saber El Amparo y El Parque, este análisis determinó diferencias significativas para las variables aspecto

de mazorca y daño de la enfermedad tizón foliar causado por *Helminthosporium turcicum* en El Amparo. En El Parque, las diferencias fueron para las variables rendimiento y altura de planta.

El análisis combinado de localidades indica diferencias significativas para los factores localidad, híbrido, no así para el factor localidad\*híbrido. En este sentido, la localidad de El Águila mostró el mayor rendimiento (6,9 t/ha) y El Progreso el menor rendimiento (2,83 t/ha) siendo esto una diferencia de 59,0 %. El híbrido 8 (CLWN216/CLWN201)

(6,44 t/ha) superó a los testigos 13 (3086) y 14 (5GP21) en 41 y 44,1 % (3,8 y 3,6 t/ha respectivamente) (Cuadro 3). El análisis de componentes principales asigna un 57,1 % para el primer eje y 80,1 % para el segundo eje lo que indica un aporte significativo de la interacción gxa a la variabilidad de los datos de acuerdo con el análisis AMMI (Yan *et al.* 2000, Yan 2001, Yan y Hunt 2002b, Yan y Rajcan 2002, Yan 2001).

La localidad de Veracruz presentó la menor pudrición de mazorca (6,9 %) y la localidad de Upala el mayor porcentaje de pudrición (94,4 %) lo que indicaría que la segunda localidad presentó las condiciones más favorables de ambiente para la expresión de la enfermedad probablemente en cuanto a inóculo inicial, temperatura y humedad relativa.

Cuadro 3. Rendimiento (t/ha) y pudrición de mazorca (%) para el análisis combinado de experimentos de 21 híbridos tropicales experimentales y comerciales de grano blanco. Región Brunca y Huetar Norte. 2011-2014.

LOCALIDAD	RENDIMIENTO (t/ha)	PUDRICIÓN DE MAZORCA (%)
El Águila	6,91 a	8,37 c
El Parque	3,88 c	11,80 b
El Amparo	5,39 b	8,29 c
El Progreso	2,83 d	12,81 b
San Jorge	3,34 c	9,92 c
Veracruz	5,83 b	6,95 d
Concepción	3,96 c	12,31 b
Changuena	5,50 b	11,55 b
Upala	3,63 c	94,42 a

HÍBRIDO	RENDIMIENTO (t/ha)	PUDRICIÓN DE MAZORCA (%)
1. CLQRCWQ131/CLQRCWQ10	5,76 c	9,95
2. CLQRCWQ26/CLQRCWQ10	5,89 b	6,97
3. CML503/CML491	5,58 d	11,04
4. CLWN206/CLWN201	5,78 c	3,63
5. CLRCW87/CML494	4,83 f	9,67
6. CLRCW106/CLWN201	5,84 c	9,15
7. CLWN202/CLWN201	5,79 c	7,42
8. CLWN216/CLWN201	6,44 a	13,85

HÍBRIDO	RENDIMIENTO (t/ha)	PUDRICIÓN DE MAZORCA (%)
9. CLWN214/CLWN201	6,11 b	7,93
10. CLRCW105/CLWN201	5,96 b	7,65
11. CML494/CML495	5,20 e	7,79
12. CLQRCWQ48/CLQRCWQ83	5,29 e	13,03
13. 3086	3,87 f	14,31
14. 5GP21	3,62 f	10,04
15. CLQRCWQ26/CML491	5,49 e	6,98
16. CLWQ219/CLQRCWQ10	5,88 c	8,61
17. CLQRCWQ116/CLQRCWQ83	5,87 c	6,02
18. CLQRCWQ118/CLQRCWQ10	4,51 f	13,58
19. CLWQ220/CLQRCWQ10	4,55 f	7,35
20. CLQRCWQ10/CML491	5,45 e	12,45
21. CLQRCWQ123/CLQRCWQ83	5,57 d	11,82

Los resultados obtenidos en El Águila indican que los híbridos con mayores rendimientos fueron CLQRCWQ10/CML491 CLWN216/CLWN201 y CLWN214/CLWN201 (9,14; 9,05 y 8,49 t/ha, respectivamente). Estos híbridos superaron a los testigos 5GP21 y 3086 en 31,8 y 39,7; 31,2 y 39,1; 26,6 y 35,1 % respectivamente, presentando rendimientos de 6,23 y 5,51 t/ha. Los híbridos CLWN206/CLWN201, CLQRCWQ116/CLQRCWQ83 y el testigo 5GP21 mostraron los menores porcentajes de pudrición de mazorca. En la Figura 1 se presenta la relación entre las variables rendimiento y pudrición de mazorca para los híbridos evaluados. La dinámica de la figura muestra una relación importante de destacar entre rendimiento y pudrición de mazorca para los híbridos, ya que en términos generales los valores altos de pudrición no se relacionan con valores bajos de rendimiento para cada híbrido, evidenciando poco efecto de la pudrición de mazorca sobre el rendimiento, al menos para las condiciones en las que se desarrolló el experimento. Esto no se cumple para los híbridos 12 (CLQRCWQ48/CLQRCWQ83) y 5 (CLRCW87/CML494) donde la relación es aparentemente opuesta.

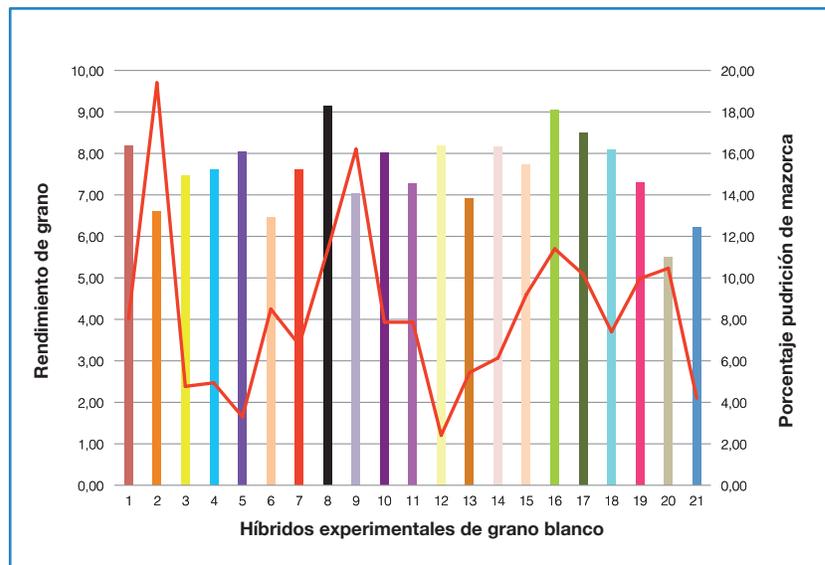


Figura 1. Relación entre rendimiento de grano (t/ha) y pudrición de mazorca (%) para 21 híbridos experimentales de maíz de grano blanco. El Águila, Pejibaye, Pérez Zeledón, 2011.

En el experimento del Amparo de Los Chiles, los híbridos que presentaron los mayores rendimientos fueron CML503/CML491, CLRCW105/CLWN201 (7,02 y 6,88 t/ha respectivamente). Los híbridos 3086 (testigo local 1) y AF10A-212-15/16 mostraron los menores rendimientos 4,85 y 4,74 t/ha, siendo superados por los primeros en 32,5 y 30,9; 31,1 y 29,5 %. Los híbridos CLWN206/CLWN201 y CLQRCWQ26/CLQRCWQ10 mostraron los

menores porcentajes de pudrición de mazorca (5,2 y 6,0 % respectivamente).

De manera particular, el híbrido 11 (CML494/CML495) presentó el mayor rendimiento y la mayor pudrición de mazorca (Figura 2), esto implica que no existe una relación opuesta entre ambas variables, como si se presenta con los híbridos 8 (CLWN216/CLWN201) y el 20 (testigo local 1). Para los otros híbridos existe una tendencia similar al híbrido 11.

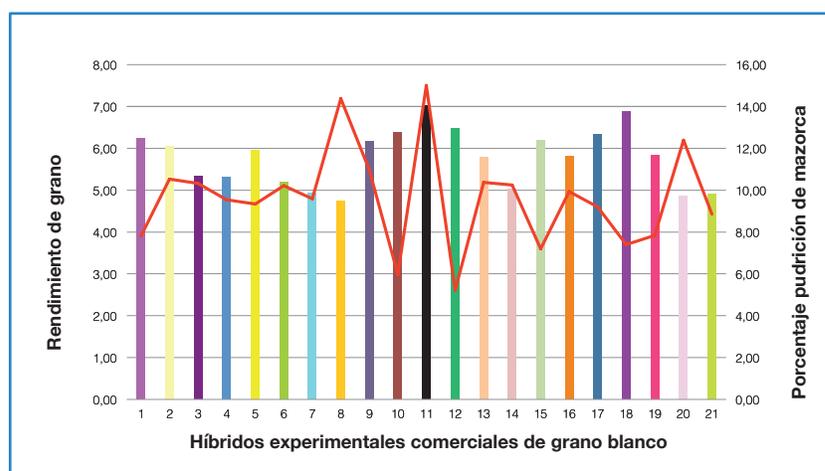


Figura 2. Relación entre rendimiento de grano (t/ha) y pudrición de mazorca (%) para 21 híbridos experimentales de maíz de grano blanco. El Amparo, Los Chiles, Alajuela. 2011.

Los híbridos CLRCW106/CLWN201, CLWQ219/CLQRCWQ10 y CLWN216/CLWN201 en la localidad de El Parque de Los Chiles mostraron los mayores rendimientos (5,85, 5,66 y 5,65 t/ha respectivamente) y los híbridos CLWQ220/CLQRCWQ10, CLQRCWQ118/CLQRCWQ10 y 3086 (testigo local 2) presentaron los menores rendimientos (3,0, 2,8 y 1,2 t/ha) siendo superados por los primeros en 48,7, 52,1 y 79,5; 46,9, 50,5 y 78,8; 46,9, 50,4 y 78,7 %, respectivamente. Los híbridos CLWN214/CLWN201 y CLQRCWQ26/CML491 mostraron

los menores porcentajes de pudrición de mazorca (7,7 y 7,8 % respectivamente).

Así mismo, se valoró la relación entre las variables rendimiento y pudrición de mazorca para los híbridos evaluados (Figura 3). En los híbridos 6 (CLWN106/CLWN201) y el 20 (testigo local 1), se nota una aparente relación opuesta entre ambas variables, que no se presenta con los otros híbridos en términos generales. Es decir para los híbridos mencionados el rendimiento si se ve afectado por la pudrición de mazorca.

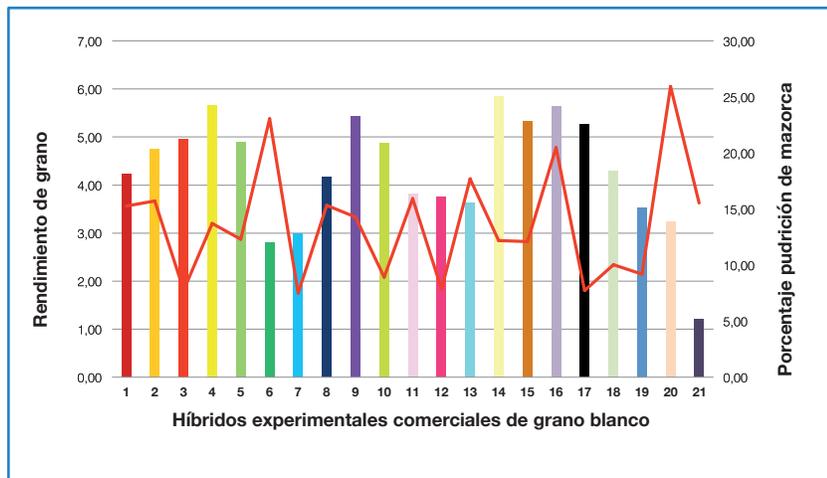


Figura 3. Relación entre rendimiento de grano (t/ha) y pudrición de mazorca (%) para 21 híbridos experimentales de maíz de grano blanco. El Parque, Los Chiles. 2011.

Se elaboró el gráfico tipo Biplot sobre el comportamiento de los híbridos y las localidades evaluadas mediante análisis AMMI y SREG (Figuras 4 y 5) donde se muestran los híbridos más estables y la interacción de estos con las

localidades. Ambos análisis explican la variabilidad de los datos en un 80,03 y 88,22 % respectivamente, lo cual implica una alta confiabilidad de los mismos. Los híbridos más estables fueron 8, 6, 3 y 9.

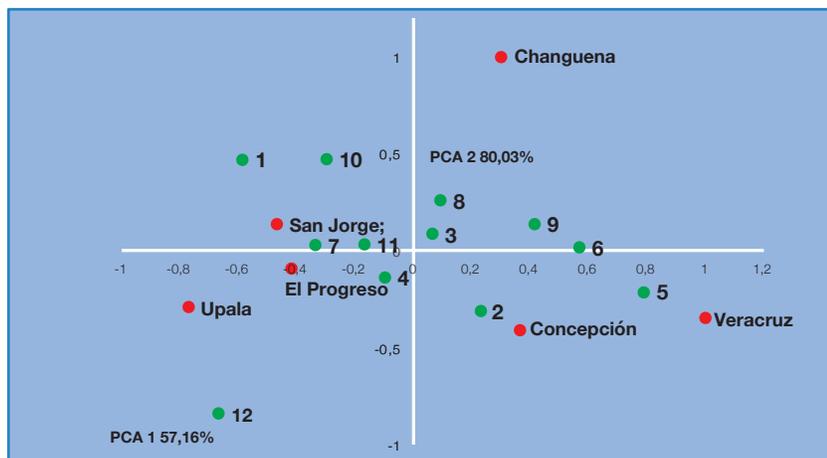


Figura 4. Biplot AMMI. Híbridos tardíos de grano blanco. Costa Rica, 2012.

Así mismo los híbridos 10 y 11 presentaron las interacciones más positivas, es decir se adaptan mejor a ambientes favorables donde expresan su máximo potencial de rendimiento. Las localidades de Concepción de Pilas, Veracruz y Changuena

mostraron las condiciones más contrastantes para los híbridos evaluados y las localidades El Progreso, San Jorge y Upala las condiciones más favorables para el desempeño de los híbridos (Figura 5).



Figura 5. Biplot SREG. Híbridos tardíos, Grano Blanco. Costa Rica, 2012.

De acuerdo a Gordón *et al.* 2006, Yan *et al.* 2000, Gordón *et al.* 2010, Yan *et al.* 2005 y Yang *et al.* 2009, al graficar las puntuaciones de ambos ejes principales, se forma un polígono con los cultivares que quedan en la parte externa de la figura (Yan y Hunt 2002a, Yan y Hunt 2002b).

## Experimentos de híbridos de grano amarillo

El análisis de varianza detectó diferencias significativas para las variables rendimiento, número de mazorcas/planta y aspecto de mazorca en la localidad de El Águila. Para la localidad Concepción de Pilas las variables pudrición de mazorca, relación altura de mazorca/planta y relación de número de mazorcas/planta presentaron diferencias significativas. En la localidad de El Amparo, se presentaron diferencias significativas para las variables rendimiento, pudrición de mazorca, aspecto de mazorca, altura de planta y mazorca.

El análisis combinado de localidades indicó significancia para los factores localidad e híbrido, así como para la interacción localidad\*híbrido. La localidad de El Águila presentó el mayor rendimiento (7,48 t/ha) seguido de Concepción de Pilas con 6,0 t/ha y finalmente El Amparo (4,8 t/ha). La localidad de Concepción presentó el mayor porcentaje de pudrición de mazorca (27,1 %) de igual forma El Águila mostró el menor porcentaje de pudrición (3,75 %) (Cuadro 4). Los híbridos CL02720/CLRCY017 y CLRCY039/CLRCY017 presentaron los mayores rendimientos (7,05 y 7,01 t/ha) superando a los testigos 3041, HR Oro y HR 960 y en un rango de 12 a 23 %, respectivamente. En el experimento de El Águila se determinó que los híbridos CL02450Q/CML161, CL02720/CLRCY017, CLYN205/CLRCY017 y CLRCY039/CLRCY017 presentaron los mayores rendimientos con respecto a los otros híbridos, superando a los testigos 3041 y HR ORO en 34,4; 30,7; 29,5; 22,98 % con respecto al primer testigo y 72,4; 67,6; 66,1 y 57,7 % en cuanto al segundo testigo.

Los resultados obtenidos con los híbridos tropicales de madurez tardía evaluados indican que para la localidad de Changuena, Buenos Aires no se presentaron diferencias significativas entre híbridos para las variables consideradas. En Concepción de Pilas si se determinaron diferencias significativas entre híbridos, siendo el híbrido CL02720/CLRCY017 el que presentó el mayor rendimiento (4,45 t/ha) y el menor porcentaje de pudrición de mazorca (7,4 %). El híbrido CLQRCYQ59/CML161 presentó la mejor cobertura de mazorca (6,4 %).

Cuadro 4. Rendimiento (t/ha) y pudrición de mazorca (%) para el análisis combinado de experimentos de 18 híbridos tropicales experimentales y comerciales de grano amarillo. Región Brunca y Huetar Norte. 2011-2014.

LOCALIDAD	RENDIMIENTO (t/ha)	PUDRICIÓN DE MAZORCA (%)
Concepción	6,03 b	27,10 a
El Águila	7,48 a	3,75 c
El Amparo	4,85 c	9,66 b

HÍBRIDO	RENDIMIENTO (t/ha)	PUDRICIÓN DE MAZORCA (%)
1 CL02450Q/CML161	6,60 d	14,72 c
2 CL02720/CLRCY016	6,70 c	8,63 c
3 CL02720/CL02450	5,48 f	15,16 c
4 CML451/CLRCY017	6,29 e	15,18 c
5 CLRCY039/CLRCY017	7,01 a	6,23 c
6 CLRCY045/CLRCY017	6,86 b	11,22 c

HÍBRIDO	RENDIMIENTO (t/ha)	PUDRICIÓN DE MAZORCA (%)
7 CML451/CL02450	5,25 f	14,98 c
8 3041	6,20 e	12,06 c
9 HR Oro	5,44 f	10,03 c
10 HR 960	5,85 f	9,88 c
11 CLQRCYQ59/CLQ-RCYQ49	5,46 f	19,34 c
12 CLQ-RCYQ70/CML161	5,75 f	16,54 c
13 CLQRCYQ59/CML161	5,85 f	12,75 c
14 CLQ-RCYQ71/CLQ-RCYQ49	6,17 f	10,77 c
15 CML451Q/CL02450Q	5,59 f	24,36 b
16 CML161/CML165	6,05 f	26,94 a
17 CL02720/CLRCY017	7,05 a	7,43 c
18 CLYN205/CLRCY017	6,60 d	6,89 c

La evaluación de germoplasma bajo diferentes condiciones de producción del cultivo de maíz, en este caso en finca de agricultor, ofrece la ventaja de seleccionar germoplasma valorando más adecuadamente el potencial de rendimiento, la tolerancia a plagas y enfermedades y la adaptación en general, bajo un esquema de mejoramiento genético que enfatiza en la estabilidad de los genotipos.

La obtención de ambientes contrastantes (localidades) es de suma importancia para un programa de mejoramiento genético lo que influye mucho en las decisiones que se pueden tomar para evaluar más eficientemente las pruebas de híbridos.

## LITERATURA CITADA

Becker, H. 1981. Correlations among some statistical measures of phenotypic stability. *Euphytica* 30(3):835-840.

Becker, H; León, J. 1988. Stability analysis in plant breeding. *Plant Breeding* 101:1-23.

Bonilla, N. 2005. Análisis de estabilidad de cultivos de maíz (*Zea mays* L.) en ambientes de Costa Rica. *Alcances Tecnológicos* 3(1):63-71.

Bonilla, N. 2012. Análisis de estabilidad de híbridos experimentales de maíz con alta calidad de proteína. *Agronomía Mesoamericana* 23(2):289-299.

Brizuela, L; Dubón, T; Campos, P; Reyes, R. 1992. Evaluación de variedades sintéticas de maíz (*Zea mays* L.) en once ambientes de Centro América. In: *Síntesis de Resultados Experimentales*

- de 1991. CIMMYT-PRM. Bolaños, J; Sainz, G; Urbina, R; Barreto, H. eds. p. 43-58.
- Camargo, I; Gordon, R; Fuentes, M. 2003. Estabilidad y confiabilidad de los nuevos híbridos en comparación al testigo regional HB-83,1998-2000. *Agronomía Mesoamericana*. 14(2):129-134.
- Castañón, G; Zetina, R; Arano, R; Raygoza, B. 2000. El Ammi y Clúster en la selección de los mejores híbridos experimentales de maíz. *Agronomía mesoamericana*. 11(1):71-76.
- Córdova, H; Castellanos, S; Barreto, H; Bolaños, J. 2002. Veinticinco años de mejoramiento en los sistemas de maíz en Centroamérica: Logros y Estrategias hacia el 2000. *Agronomía Mesoamericana*. 13(1):73-84.
- Crossa, J. 1990. Statistical analysis of multi location trials. *Advances in agronomy*. 44:55-85.
- Crossa, J; Gauch, H; Zobel, R. 1990. Additive main effects and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trials. *Crop Science*. 30:493-500.
- Crossa, J; Fox, P; Pfeiffer, W; Rajaram, S; Gauch, H. 1991. AMMI adjustment for statistical analysis of an international wheat yield trial. *Theoretical Applied Genetics*. 81:27-37.
- Crossa, J; Cornelius, P; Yan, W. 2002. Biplots of Linear-Bilinear Models for Studying Crossover-Genotype Environment Interaction. *Crop Science*. 42:619-633.
- Gauch, H; Zobel, R. 1988. Predictive and post-ictive success of statistical analysis of yield trials. *Theoretical Applied Genetics*. 76:1-10.
- Gordón-Mendoza, R; Camargo-Buitrago, I; Franco-Barrera, J; González-Saavedra, A. 2006. Adaptabilidad y estabilidad de 14 híbridos de maíz. *Agronomía Mesoamericana*. 17(2):189-199.
- Gordón-Mendoza, R; Franco-Barrera, J; Camargo-Buitrago, I. 2010. Adaptabilidad y estabilidad de 20 variedades de maíz, Panamá. *Agronomía Mesoamericana*. 21(1):11-20.
- Krivanek, A; De Groote, H; Gunaratna, N; Diallo, A; Friesen, D. 2007. Breeding and disseminating quality protein maize (QPM) for Africa. *African Journal of Biotechnology*. 6(4):312-324.
- Lee, E; Johnson, D. 2005. AMMI Macros for Multiplicative Interaction Models, Advanced Micro Devices Inc., Sunnyvale, CA, Kansas State University, Manhattan, KS. Paper 049-31. SUGI 31. Coders' Corner. 10 p.
- Lin, C; Binns, MR; Lefkovitch, L. 1986. Stability Analysis: where do we stand? *Crop Sci*. 26(5):894-900.
- Ordás, A. 1995. Mejora Genética del Maíz. Curso Superior de Mejora Genética Vegetal. Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza. Centro Internacional de Altos Estudios Agronómicos. 25 p.
- Paliwal, R; Granados, G. 2001. El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma, Italia. 376 p.
- Quemé, J; Fuentes, R. 1992. Evaluación de híbridos de maíz (*Zea mays* L.) de grano blanco y amarillo en diferentes ambientes de México, Centro América y El Caribe y Venezuela. In: Síntesis de Resultados Experimentales 1991. Programa Regional de Maíz (PRM). 283 p.
- Yang, R; Crossa, J; Cornelius, P; Burgueno, J. 2009. Biplot Analysis of Genotype × Environment Interaction: Proceed with Caution. *Crop Sci*. 49:1564-1576.
- Yan, W; Hunt, L; Sheng, Q; Szlavnic, Z. 2000. Cultivar evaluation and mega environment investigation based on the GGE Biplot. *Crop Sci*. 40:597-605.
- Yan, W. 2001. GGEbiplot--a Windows application for graphical analysis of multi-environment trial data and other types of two-way data. *Agronomy Journal* 93(5):1111-1118.
- Yang, W; Hunt, L 2002a. Biplot Analysis of Multi-environmental Trial Data. In: Quantitative Genetics, Genomics and Plant Breeding. Edited by M S Kang, Louisiana State University, USA. CABI Publishing, CAB International. p. 289-303.
- Yan, W; Hunt, L. 2002b. Biplot analysis of diallel data. *Crop Science*. 42(1):21-30.

Yan, W; Rajcan, I. 2002. Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. *Crop Sci.* 42:11-20.

Yan, W; Tinker, N. 2005. An integrated system of biplot analysis for displaying, interpreting, and exploring genotype by environment interactions. *Crop Science.* 45(3):1004-1016.

Yan, W; Tinker, N. 2006. Biplot analysis of multi-environment trial data: principles and applications. *Canadian Journal of Plant Science.* 86:623-645.

Yan, W; Kang, M; Ma, B; Woods, S; Cornelius, P. 2007. GGE Biplot vs. AMMI Analysis of Genotype-by-Environment Data. *Crop Science.* 47:643-653.