

INTERPRETACIÓN DE LA INTERACCIÓN GENOTIPO-AMBIENTE Y CONFIABILIDAD DE LA RESPUESTA DE CINCO HÍBRIDOS DE MAÍZ EN 30 AMBIENTES DE AZUERO, PANAMÁ. 2001- 2003.

Ismael Camargo ¹; Román Gordón ²; Andrés González ³; Jorge Franco ³

RESUMEN

Se estudiaron cinco híbridos de maíz en el ensayo regional de maíz del IDIAP entre los años 2001 y 2003. En este período se evaluaron 37 genotipos en 30 ambientes de Azuero. Se efectuó un análisis de varianza (AMMI), de confiabilidad o respuesta normalizada (RN_i) y de estabilidad por medio del Biplot GGE_{SREG} . El valor RN_i representa la probabilidad de que un genotipo específico supere en promedio el nivel de producción establecido por el testigo. La gráfica Biplot GGE_{SREG} permitió visualizar las similitudes y diferencias entre genotipos y entre localidades y la respuesta diferencial de los genotipos; la naturaleza y magnitud de la interacción entre cualquier genotipo y localidad. Los análisis de confiabilidad y estabilidad identificaron los híbridos blancos PB-0103 y PB-0105 como los de mejor comportamiento, por lo que se recomienda su registro y comercialización en Panamá. De acuerdo al modelo Biplot GGE_{SREG} , se observó un efecto significativo en la época de siembra sobre el rendimiento por localidad, bajo las condiciones climáticas del 2002, mientras que en el 2001 y 2003, su comportamiento fue similar. El modelo Biplot GGE_{SREG} permitió graficar de manera sencilla la interacción genotipo-ambiente, se ubicaron los genotipos de acuerdo a su respuesta a los ambientes y a las localidades, de acuerdo a su capacidad discriminatoria, simplificando su interpretación. Ambos análisis permitieron verificar que el X-1358K continúa siendo un testigo regional vigente y competitivo por su alta producción y buena estabilidad.

PALABRAS CLAVES: *Zea mays*; maíz; mejoramiento genético; híbridos; interacción genotipo-ambiente; Panamá

INTERPRETATION OF GENOTYPE-ENVIRONMENT INTERACTION AND OUTCOME RELIABILITY OF FIVE CORN HYBRIDS IN 30 ENVIRONMENTS. AZUERO, PANAMA. 2001-2003.

Five corn hybrids were studied in the Regional corn trial of IDIAP since 2001 to 2003. Thirty seven genotypes in 30 environments were evaluated in this period. An AMMI variance analysis, reliability analysis or normalized responses (RN_i), stability analysis with GGE_{SREG}

¹ Ph.D. Fitomejoramiento. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria de Recursos Genéticos (CIARG). Río Hato. e-mail: icamargo@cwpanama.net.

² Ing. Agr., M.Sc. Entomología. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria de Azuero (CIAA) 'Ing. German De León', Los Santos, Panamá. e-mail: rgordonm@cwpanama.net.

³ Agr. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria de Azuero (CIAA) 'Ing. German De León', Los Santos, Panamá.

Biplot were carried out. The RNi value represented the probability of a specific genotype increase the tester yield. The GGE Biplot, allowed visualize: the similarities and differences among genotypes and environments and the genotypes differential response; the interaction nature and magnitude of any genotype with any locality. The reliability analysis outcomes identified to white corn hybrids PB-0103 and PB-0105 like the best performance, indeed, it was recommended its register and commercialization on the country. According to GGE Biplot Model, it was observed a significant effect with the planting dates over localities yield, under 2002 climatic conditions, in the meantime 2001 and 2003 presented similar conditions. The GGE Biplot Model allowed plotting simple genotype-environment interaction graphics, localizing genotypes according its environments yields responses and positioning the localities according it discriminatory capacity, simplifying its interpretation. Both analysis allowed verifying X-1358K continued been a current and competitive regional tester, due to its high production and its good stability.

KEY WORDS: *Zea mays*; corn; hybrids; genotype-environment interaction; Panama

INTRODUCCIÓN

El ensayo regional de Maíz del IDIAP es un instrumento para la evaluación sistemática de cultivares desarrollados por el programa nacional y las empresas privadas. La experiencia acumulada ha permitido fortalecer las técnicas de campo para la implementación de los experimentos, así como el análisis e interpretación de los resultados mediante el uso de metodologías apropiadas para lograr conclusiones y recomendaciones más acertadas (Córdova y col., 1993).

La interacción genotipo-ambiente tiene gran importancia en la evaluación de genotipos desarrollados para diferentes condiciones de producción, siendo necesario integrar los conceptos de estabilidad (Lin y col., 1986; Lin y Binns, 1994), para definir el comportamiento de los cultivares evaluados

a través de ambientes contrastantes. La caracterización de la estabilidad de los genotipos evaluados en diferentes localidades y años se ha logrado a través de los modelos de regresión propuestos por Finlay y Wilkinson (1963) y Eberhart y Russell (1966). No obstante, el modelo multiplicativo AMMI (Zobel y col., 1988) ha sido el más eficiente para explicar la interacción genotipo-ambiente.

El desarrollo del modelo Biplot GGE_{SREG} (Yan y col., 2000) representa un avance en el estudio de la interacción, puesto que permite analizar gráficamente los datos provenientes de ensayos en múltiples localidades y años. El GGE se refiere al efecto principal de genotipo (G), más la interacción genotipo por ambiente (GE), las dos fuentes de variación más importantes cuando se evalúan genotipos en diferentes ambientes. La gráfica Biplot GGE per-

mite visualizar las similitudes y diferencias entre genotipos, localidades y la respuesta diferencial de los genotipos; la naturaleza (positiva vs negativa) y magnitud de la interacción entre cualquier genotipo y localidad (Yan y col., 2000; Yan y col., 2001; Yan y Rajcan, 2002).

Normalmente, en ensayos regionales repetidos anualmente en ambientes contrastantes, ocurre la sustitución de cultivares inferiores que son reemplazados por otros nuevos; esto resulta en una serie de datos desbalanceados que requieren análisis especiales para aprovechar la información generada a través de varios años. Algunos autores, entre ellos, Hill y Rosenberger (1985); Jones (1988); Eskridge y Mumm (1992); Nuland y Eskridge (1992); Eskridge y col., (1993); Jones (1988); Lin y Binns (1994); Eskridge (1997), han propuesto metodologías estadísticas que permiten identificar genotipos superiores utilizando datos desbalanceados basados en el comportamiento de un cultivar común.

La metodología propuesta por Jones (1988) permite la comparación de los cultivares contra el testigo utilizando los datos de varios años. Eskridge y Mumm (1992), Eskridge y col., 1993; Nuland y Eskridge (1992);

Eskridge (1997); perfeccionaron el análisis de confiabilidad normalizada o respuesta normalizada, basados en las diferencias de rendimiento de los cultivares respecto a un testigo adaptado a la región.

El concepto de confiabilidad propuesto por Eskridge y Mumm (1992), Eskridge y col., (1993) Eskridge (1997), es similar, en principio, al análisis de superioridad propuesto por Lin y Binns (1994). Baker (1996) indica que ambos conceptos estadísticos, la medida de superioridad y el análisis de confiabilidad, representan avances importantes en el entendimiento de los problemas de mejoramiento genético, producto de la interacción genotipo-ambiente. Por otro lado, Córdova y col. (1993), Hodges y col. (1995), Camargo y col. (2001) han demostrado la aplicación práctica de esta metodología para determinar la confiabilidad de las ganancias en rendimiento sobre un testigo.

El presente estudio tuvo como objetivos determinar la estabilidad y confiabilidad para rendimiento de grano con los nuevos híbridos de maíz de grano blanco, con respecto al testigo, a través de ambientes y años contrastantes, así como verificar la utilidad práctica de estas herramientas en las decisiones asociadas con el cambio tecnológico.

CUADRO 1. LISTADOS DE HÍBRIDOS DE MAÍZ CONSIDERADOS EN EL ESTUDIO COMBINADO DE TRES AÑOS, INSTITUCIÓN, NÚMERO DE LOCALIDADES, AÑOS DE EVALUACIÓN Y COLOR DE GRANO. IDIAP. 2001-2003.

| Híbridos | Institución / Empresas | N ₁ | N ₂ | Color |
|-------------------|------------------------|----------------|----------------|----------|
| 30F80 | Pioneer | 30 | 3 | Amarillo |
| X-1358K (testigo) | Pioneer | 30 | 3 | Amarillo |
| PB-0105 | IDIAP | 30 | 3 | Blanco |
| PB-0103 | IDIAP | 30 | 3 | Blanco |
| PB-0107 | IDIAP | 30 | 3 | Blanco |

N₁ = número de localidades N₂ = años de evaluación

MATERIALES Y MÉTODOS

Origen de la Información Experimental

Los datos experimentales utilizados en este estudio, provienen de resultados obtenidos de los ensayos regionales de maíz del IDIAP 2001-2003. La metodología experimental, así como el número de cultivares y localidades fueron descritos por Gordón y col., 2001; 2002; 2003. Durante este período se evaluaron 37 genotipos en 30 ambientes de la región de Azuero.

En este estudio se efectuó el análisis de variancia AMMI, se estimó las puntuaciones para el Biplot GGE_{SREG} y la respuesta normalizada o confiabilidad (RN_i), con respecto al X-1358K (testigo) de cuatro híbridos con tres años de evaluación. El número de

localidades fue de 9, 11 y 10 para los años 2001, 2002, y 2003, respectivamente.

En el Cuadro 1 se presenta el listado de los cinco híbridos considerados en el estudio combinado de tres años, además de su origen institucional, número de localidades, años de evaluación y color del grano.

Concepto de Respuesta Normalizada (RN_i) o Confiabilidad de la respuesta

Según Eskridge y col. (1993), la confiabilidad estadística de la respuesta en rendimiento del i-ésimo genotipo se determina a partir de los diferenciales de rendimiento (d_i) con respecto al testigo, o sea:

$$d_i = P(Y_i - Y_c > d_i)$$

donde:

$P(.)$ = representa la probabilidad
 Y_i = respuesta del híbrido evaluado
 Y_c = respuesta del testigo
 d_i = la diferencia entre ambos

Córdova y col. (1993) indican que pueden ser planteadas las hipótesis alternas en función del valor promedio de d_i mayor o menor que cero, es decir:

| | |
|-----|------------------|
| Ho: | $d_i - c \leq 0$ |
| Ha: | $d_i - c > 0$ |

Para probar estas hipótesis se calculó primero los valores promedios de d_i y la desviación estándar de las diferencias a través de todas las localidades (S_{d_i}). Posteriormente, se determina el valor estandarizado (d_i/S_{d_i}), al cual se le determina la probabilidad normal estandarizada (usando la tabla de Z normal de una cola). A esta probabilidad se le denomina confiabilidad normalizada con respecto al testigo (RN_i). El análisis de confiabilidad fue calculado para todas las comparaciones de interés, luego se procedió a ordenar de manera descendente los genotipos en función de la probabilidad.

El valor de RN_i para cada genotipo representa la probabilidad de que un genotipo específico supere en prome-

dio el nivel de producción establecido por el testigo, en el conjunto de todos los ambientes y años donde se efectuaron las evaluaciones (Eskridge y Mumm, 1992; Eskridge y col., 1993; Eskridge, 1997). De acuerdo a Córdova y col. (1993), los genotipos pueden ser clasificados en cuatro categorías según el RN_i estimado: a) confiabilidad superior, de $0.9 \geq RN_i < 1.0$; b) buena, de $0.8 \geq RN_i < 0.9$; c) promedio, de $0.6 \geq RN_i < 0.8$ y d) baja, por debajo de 0.6.

Gráfica Biplot GGE _{SREG}

La gráfica Biplot GGE _{SREG} (Yan y col., 2000; Yan y Hunt, 2002 ab) permite determinar el cultivar con mejor comportamiento en un ambiente específico; identificar el ambiente más apropiado para un cultivar específico; comparar cualquier par de cultivares en un ambiente; determinar el mejor cultivar para cada ambiente y la diferenciación de mega-ambientes.

Posteriormente, Yan y col., (2001) mostraron que el gráfico permitía identificar al genotipo ideal como aquel con altas puntuaciones en el PCA 1 (asociado a medias de rendimiento altas) y las puntuaciones en el PCA 2 cercanas a cero. Esto último indica la estabilidad del cultivar a través de los ambientes contrastantes. El mismo criterio se aplica para determinar el ambiente ideal.

Además, en el Biplot GGE, los genotipos que se encuentran ubicados hacia el centro de la gráfica, son menos responsivos que aquellos localizados en las esquinas o vértices del polígono, los cuales se consideran más responsivos (positiva ó negativamente). También pueden ser visualmente identificadas las mejores y peores localidades, esta información es utilizada para identificar los mega-ambientes en las regiones de interés. Los cultivares ubicados en las esquinas o sectores donde no hay localidades son consideradas deficiente en cuanto al comportamiento en la mayoría de las localidades evaluadas (Yan y col.,

2000; Yan, 2001; Yan y col., 2001; Yan y Rajcan, 2002; Kaya y col., 2002).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de Varianza AMMI

El análisis de varianza de acuerdo al modelo AMMI (Cuadro 2) mostró que la varianza ambiental fue mayor que la varianza de los genotipos, es decir, el ambiente captura el 51.7% de la suma de cuadrado total, mientras que los genotipos apenas el 2%. Estos resultados eran de esperarse, debido a la gran variabilidad ambiental existente en la región de Azuero, entre y dentro de

CUADRO 2. ANÁLISIS AMMI PARA LA VARIABLE RENDIMIENTO DE GRANO (t/ha) DE LA EVALUACIÓN DE CINCO HÍBRIDOS DE MAÍZ. PANAMA. 2001-2003.

| F de V | gl | SC | % |
|------------------|-----|----------|------|
| Amb | 29 | 525.86** | 51.7 |
| Rep (Amb) | 60 | 54.59 | |
| Gen | 4 | 19.56** | 1.92 |
| Gen x Amb | 116 | 238.89** | 23.5 |
| PCA ₁ | 32 | 167.03** | 66.3 |
| PCA ₂ | 30 | 46.82** | 18.6 |
| Residuo | 54 | 25.04** | 15.1 |
| Error | 238 | 127.57 | |
| CV (%) | | 9.8 | |

** Diferencia altamente significativa ($P < 0.01$) en 2001, 2002 y 2003.

años. Además, se observó que la interacción genotipo por ambiente captura el 24 % de la suma de cuadrados.

La magnitud de la suma de cuadrados de la interacción G x A fue 12.2 veces mayor que la de genotipo, indicando que hubieron diferencias substanciales en la respuesta de los genotipos a través de los ambientes, lo que no es extraño dado el gran número de localidades involucradas en el estudio y que abarcó tres años. Por otro lado, la varianza de los genotipos, al ser inferior a las otras fuentes de variación, sugiere que los cinco cultivares evaluados, en su conjunto, presentan buena adaptabilidad a las diferentes condiciones ambientales que se presentaron en la región de Azuero durante los años 2001 al 2003.

Confiabilidad de la respuesta respecto al testigo

La ventaja práctica del análisis de confiabilidad, basado en las diferencias de rendimiento de los genotipos respecto al testigo es que con estos datos se permite comparar los híbridos en una amplia gama de ambientes y años. Además, se puede determinar la estabilidad relativa de los genotipos evaluados sin considerar el conjunto original de materiales facilitando un mayor aprovechamiento de la información generada a través de varios años,

para ayudar a tomar decisiones acertadas al recomendar la nueva tecnología (híbridos) al productor.

Los resultados del análisis de confiabilidad de la respuesta (RN_i), para los cuatro híbridos evaluados durante los últimos tres años en la región azuerense, permitieron identificar genotipos de grano blanco con rendimiento superior al testigo X-1358K (6.625 t/ha) y baja interacción con el ambiente, como el PB-0103 y PB-0105.

No obstante, el análisis de confiabilidad permitió clasificar los cuatro híbridos en una sola categoría con respecto al testigo, los genotipos PB-0103, PB-0105, PB-0107 y el 30F80 presentaron baja confiabilidad ($RN_i < 0.6$) las probabilidades normalizadas en el caso de PB-0103 significa que por lo menos en seis de cada 10 localidades hay una respuesta superior de este genotipo con respecto al testigo (Cuadro 3).

Los estimados bajos de confiabilidad obtenidos en este estudio se debieron al excelente comportamiento del testigo, el cual es bien difícil de superar. Es conveniente resaltar que el X-1358K es un híbrido simple, mientras que los tres cultivares blancos del IDIAP son triples, dándole la ventaja genética al testigo.

CUADRO 3. RENDIMIENTO PROMEDIO, DIFERENCIAS EN RENDIMIENTO, DESVIACIÓN ESTÁNDAR Y CONFIABILIDAD EN CINCO HÍBRIDOS DE MAÍZ. PANAMÁ. 2001-2003.

| Híbridos | Prom | Diferencia | Desv Est. | RNi |
|----------|-------|------------|-----------|-------|
| 30F80 | 6.347 | -0.278 | 1.358 | 0.419 |
| PB-0105 | 6.874 | 0.249 | 1.470 | 0.567 |
| PB-0103 | 6.937 | 0.312 | 1.533 | 0.581 |
| PB-0107 | 6.579 | -0.046 | 1.302 | 0.486 |
| X-1358K | 6.625 | | | |

Los híbridos que presentan una confiabilidad por debajo de 0.60 y hasta 0.50 representan un riesgo relativamente similar para el productor con respecto al X-1358K, es decir, que el productor puede sembrar el PB-0103 y PB-0105 con resultados similares a los obtenidos con el testigo, siempre que otros componentes económicos permanezcan sin alteraciones como el costo de la semilla.

Las magnitudes de las respuestas normalizadas, coinciden con las obtenidas por Nuland y Eskridge (1992), Eskridge y Mumm (1992), Eskridge y col. (1993), Hodges y col. (1995), Córdova y col. (1993), en el estudio de Córdova y col. (1993), entre mayor es la diferencia de rendimiento entre el genotipo evaluado y el testigo, más elevada es la confiabilidad.

De acuerdo con Lin y col. (1986), los análisis de estabilidad representan una medida relativa, que permite

hacer inferencia solamente en función del grupo fijo de genotipos que fueron evaluados. Sin embargo, Eskridge y col. (1993) indican que la confiabilidad permite hacer inferencias amplias en relación con la estabilidad, ya que solamente depende de las diferencias en rendimiento del testigo y de un genotipo específico y no depende de los otros cultivares no involucrados en el análisis. Según Eskridge y Mumm (1992), Eskridge y col. (1993), la confiabilidad es una medida relacionada con otros parámetros de estabilidad como el coeficiente de regresión b_i de Finlay y Wilkinson (1963), la desviación del cuadrado medio $S^2_{\delta_i}$ de Eberhart y Russell (1966) y la varianza de estabilidad de Shukla (1972).

Córdova y col. (1993) indicaron que la confiabilidad es una medida que evalúa tanto las ganancias en rendimiento con respecto al testigo, como la variabilidad de la respuesta en los diferentes ambientes, tal como se aprecia en la Figura 1, en donde se pre-

senta la diferencia de los cultivares evaluados con respecto al X-1358K y la confiabilidad de respuesta de los híbridos evaluados.

Se observó que entre mayor es la diferencia de rendimiento mayor es la confiabilidad de la respuesta del híbrido evaluado. Por otro lado, la variación en confiabilidad para los genotipos dentro de un diferencial de rendimiento dado, se debe fundamentalmente a las diferencias en magnitud de las desviaciones estándares a través de ambientes (Figura 1).

Interacción genotipo por ambiente

En la Figura 2 se presenta la gráfica Biplot GGE, para los dos primeros factores del componente principal, correspondiente a los cinco híbridos en las 30 localidades, únicamente para la variable rendimiento de grano. Ambos factores explican el 85% de la interacción genotipo por ambiente, el PCA-1 explica el 66% de la interacción, mientras el PCA-2 captura el 19%.

Efectos de genotipos

De acuerdo a la gráfica Biplot GGE (Figura 2) los genotipos que se encuentran localizados cerca del centro son los que menos responden a los estímulos ambientales, mientras

que, aquellos ubicados en los vértices o esquinas del polígono son los que respondieron positiva o negativamente, dependiendo del signo y la magnitud de la puntuación. En este caso, tenemos cinco genotipos y todos están ubicados en los vértices del polígono.

Los híbridos PB-0103 y PB-0107 fueron identificados por el modelo como los genotipos con mejor estabilidad y adaptabilidad, o sea, respondieron mejor a los estímulos ambientales en concepto de adaptabilidad de Lin y col. (1986), Lin y Binns (1994), específicamente tuvo buen desempeño en las localidades de Los Castillos 2, La Enea 2, Agua Buena 2 y la mayoría de los sitios evaluados en el 2001 y 2003.

Los híbridos comerciales 30F80 y X-1358K, en este estudio, parecen comportarse bien en las localidades con siembras tardías y con riesgos de estrés durante el período de llenado de grano, tales como: San José 2, Yeguada 2, La Mina 2, Guararé 2 y Tablas Abajo 2.

La Figura 2 muestra igualmente que el genotipo ideal fue el PB-0103, por presentar puntuaciones altas en el PCA1, asociados a medias de rendimientos sobre el promedio del ensayo y puntuaciones cercanas a cero en el PCA2, características que lo identifican como un genotipo con buena estabilidad de rendimiento.

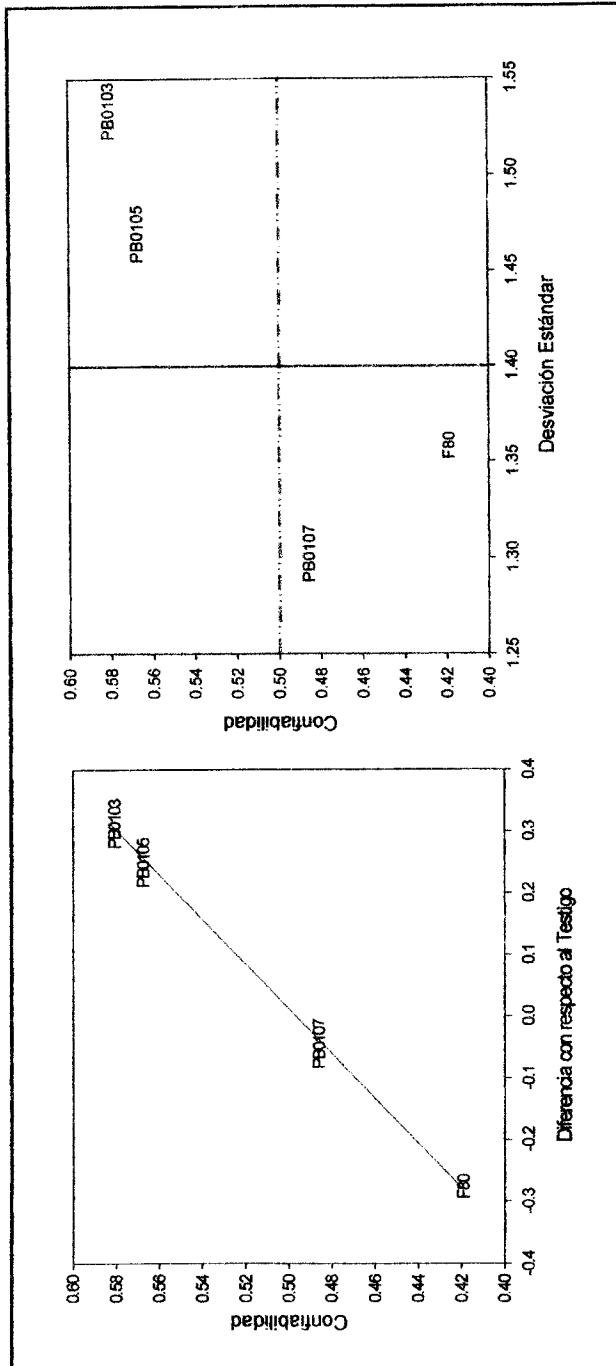


FIGURA 1. RELACIÓN DE LA CONFIABILIDAD CON LA MAGNITUD DE LAS DIFERENCIAS EN RENDIMIENTO, Y LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE CUATRO HÍBRIDOS DE MAÍZ EVALUADOS EN EL IDIAP. 2001-2003.

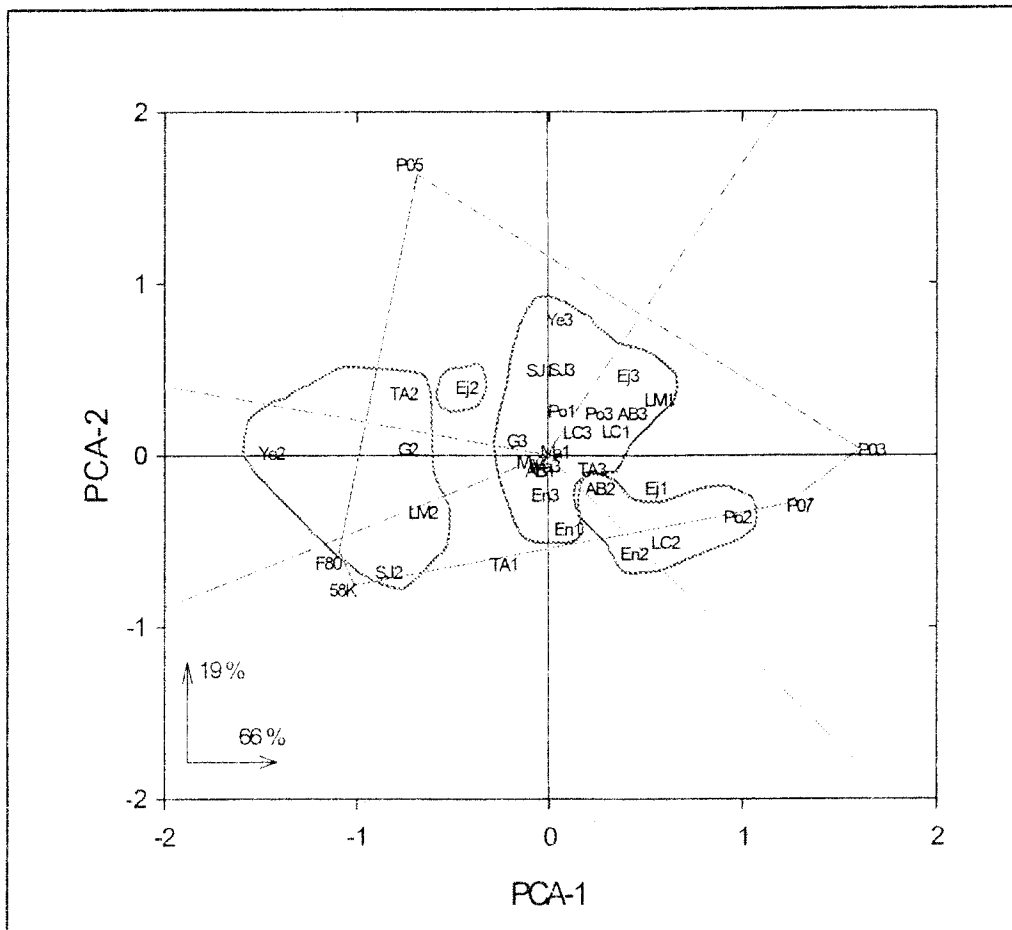


FIGURA 2. PUNTUACIONES DEL PRIMER Y SEGUNDO EJE DEL COMPONENTE PRINCIPAL DE CINCO HÍBRIDOS DE MAÍZ EN 30 AMBIENTES DE AZUERO, PANAMÁ. 2001-2003.

Efectos de los ambientes

Los ambientes fueron agrupados por el modelo en tres sectores, el primero, conformado por las localidades del 2002 con problemas de estrés hídrico como San José, La Yeguada, La Mina, Guararé y Tablas Abajo, donde los genotipos con mejor adaptación a los mismos fueron el X-1358K y el 30F80. El segundo ambiente constituido por las localidades del 2002, donde no hubo estrés hídricos como Agua Buena, La Enea, Los Castillos y Portobelillo, se destacaron los híbridos PB-0103 y PB-0107.

El tercer ambiente lo conformaron las localidades del 2001 y 2003, puesto que el modelo fue capaz de agrupar como similar el comportamiento de las localidades en su capacidad de discriminar los genotipos. Esto sugiere que, por ejemplo, la localidad de San José, en el 2001 y luego en el 2003, tuvo la misma capacidad de discriminar de manera similar los híbridos evaluados, esto ocurrió con otros sitios como La Enea, Los Castillos, Portobelillo, entre otros.

En síntesis, el modelo Biplot GGE_{SREG} demostró ser una herramienta poderosa para determinar la estabilidad y adaptabilidad de los ge-

notipos bien como para clasificar los ambientes de acuerdo a su capacidad discriminadora basada en las condiciones de estrés hídrico considerado el factor más limitante de la producción de maíz en la región de Azuero.

Por otro lado, el testigo regional X-1358K ha demostrado ser un genotipo excepcional, puesto que combina altos rendimientos promedios, baja interacción con el ambiente, lo cual contribuye para que las respuestas normalizadas de los nuevos cultivares no muestren ganancias espectaculares.

El estudio permitió verificar que los híbridos de grano blanco PB-0103 y PB-0107 combinan baja interacción con el ambiente y una respuesta normalizada que aunque baja, bien vale la pena correr el riesgo del cambio tecnológico de cultivar maíz blanco en vez de amarillo visualizando el mercado de exportación para consumo humano de nuestros vecinos de Centro América; también permitió verificar que el X-1358K continúa siendo un testigo regional vigente y competitivo por su alta producción y buena estabilidad a través de ambientes y años contrastantes, demostrando el avance genético logrado por las empresas públicas y privadas en el desarrollo de híbridos con mayor confiabilidad, mejor adaptabilidad y estabilidad, en consecuencia con menos interacción con el ambiente.

CONCLUSIONES

- ✿ Los análisis de confiabilidad y estabilidad identificaron a los híbridos PB-0103 y PB-0105 como los de mejor comportamiento, por lo que se recomienda su registro u comercialización en el país.
- ✿ Bajo las condiciones climáticas del 2002, se observó un efecto significativo en la época de siembra sobre el rendimiento por localidad, mientras que en los años 2001 y 2003, éstas tuvieron un comportamiento similar.
- ✿ El modelo Biplot GGE permitió graficar de manera sencilla la interacción genotipo-ambiente, simplificando la interpretación de la misma.
- ✿ La integración de los dos análisis presentados, ayudan a aumentar la certeza en el proceso de decisión sobre selección y recomendación de un genotipo para fines de comercialización y puede ser una manera indirecta de medir el progreso genético para rendimiento en función del testigo.

BIBLIOGRAFÍA

- BAKER, R. J. 1996. Recent research on genotype-environment interaction. Paper to be presented at International Oat and Barley Conference. 8 p.
- CAMARGO, I.; GORDÓN, R.; QUIRÓS, E.; FIGUEROA, A.; FRANCO, J.; GONZÁLEZ, A. 2001. Confiabilidad en la recomendación de nuevos híbridos de maíz basados en las diferencias de rendimiento con respecto a un testigo. *Agron. Mesoam.* 13 (1): 7-11.
- CÓRDOVA, H.S.; BARRETO, H.J.; CROSSA, J. 1993. Impacto del desarrollo de híbridos de maíz en Centro América: Confiabilidad de las ganancias en rendimiento sobre el genotipo H5 y consideraciones para selección de testigos regionales. *En síntesis de resultados experimentales del PRM, 1992.* Vol. 4: 3-10.
- EBERHART, S. A.; RUSSELL, W. A. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science* 6: 36-40.

- ESKRIDGE, K. M. 1997. Evaluation of corn hybrids using the probability of outperforming a check based on strip-test data. *Journal of Agricultural, Biological and Environmental Statistics* 2 (3): 245-254.
- ESKRIDGE, K.M.; MUMM, R.F. 1992. Choosing plant cultivars based on the probability of outperforming a check. *Theor. Appl Genet.* 84: 494-500.
- ESKRIDGE, K.M.; SMITH, O.S.; BYRNE, P.F. 1993. Comparing test cultivars using reliability functions of test-check differences from on-farm trials. *Theor Appl Genet.* 87: 60-64.
- FINLAY, K.W.; WILKINSON, G.N. 1963. The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. *Aust. J. Agric. Res.* 14: 742-754.
- GORDÓN, R.; CAMARGO, I.; FRANCO, J.; GONZÁLEZ, A. 2001. Evaluación de la adaptabilidad, estabilidad, rendimiento y otras características agronómicas de cultivares de maíz, Azuero, Panamá, 2001. Informe Técnico. 15 p.
- GORDÓN, R.; CAMARGO, I.; FRANCO, J.; GONZÁLEZ, A. 2002. Evaluación de la adaptabilidad, estabilidad, rendimiento y otras características agronómicas de cultivares de maíz, Azuero, Panamá, 2001. Informe Técnico. 15 p.
- GORDÓN, R.; CAMARGO, I.; FRANCO, J.; GONZÁLEZ, A. 2003. Evaluación de la adaptabilidad, estabilidad, rendimiento y otras características agronómicas de cultivares de maíz, Azuero, Panamá, 2001. Informe Técnico. 12 p.
- HILL, R.; ROSENBERGER, J.L. 1985. Methods for combining data from germplasm evaluation trials. *Crop Science* 25: 467-470.
- HODGES, L.; SANDERS, D.C.; PERRY, K.B. 1995. Adaptability and reliability of yield for four bell pepper cultivars across three southeastern states. *Hort Sciences* 30 (6): 1205-1210.
- JONES, T. A. 1988. A probability method for comparing varieties against checks. *Crop Science* 28: 907-912.
- KAYA, Y.; PALTA, C.; TANER, S. 2002. Additive main effects and multiplicative interactions analysis of yield performances in bread wheat genotypes across environments. *Turk J. Agric.* 26: 275-279.
- LIN, C.S.; BINNS, M.R. 1994. Concepts and methods for analyzing regional trial data for cultivar and location selection. *Plant Breeding Reviews* 12: 271-297.

- LIN, C.S.; BINNS, M.R.; LEFKOVITCH, L.P. 1986. Stability analysis: Where do we stand? *Crop Science* 26: 894-900.
- NULAND, D.S.; ESKRIDGE, K.M. 1992. Probability of outperforming a check. In H.F.Schwartz (ed). *Proceedings, 35th Bean Improvement Cooperative Meetings*. Colorado State Univ. For Collins, Co. pp.17-20.
- SHUKLA, G.K. 1972. Some statistical aspects of partitioning genotype-environmental components of variability. *Heredity* 29: 237-245.
- VARGAS, M.; CROSSA, J. 2000. El análisis AMMI y la gráfica del biplot en SAS. CIMMYT, Unidad de Biometría. 42 p.
- YAN, W. 2001. GGE Biplot. A windows application for graphical analysis of multi-environment trial data and other types of two-way data. *Agron. J.* 93: 111-1118.
- YAN, W.; CORNELIUS, P.; CROSSA, J.; HUNT, L.A. 2001. Two types of GGE Biplots for analyzing multi-environment trial data. *Crop Science* 41: 656-663.
- YAN, W.; HUNT, L.A. 2002a. Biplot analysis of diallel data. *Crop Science* 2: 21-30.
- YAN, W.; HUNT, L.A. 2002b. Biplots analysis of multi-environment trial data. *CAB International. Quantitative Genetics, Genomics and Plant Breeding*. (ed.) M.S. Kang. pp. 289-303.
- YAN, W.; HUNT, L.A.; SHENG, Q.; SZLAVNICS, Z. 2000. Cultivar evaluation and mega environment investigation based on the GGE Biplot. *Crop Science* 40: 597-605.
- YAN, W.; RAJCAN, I. 2002. Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. *Crop Science* 42: 11-20.
- ZOBEL, R.W.; MADISON, J.W.; GAUCH, Jr., H.G. 1988. Statistical Analysis of a Yield Trial. *Agron. J.* 80: 388-393.

