

ESTIMACION DE LA ADAPTABILIDAD Y ESTABILIDAD DE VARIEDADES DE *Pennisetum purpureum* EN DIFERENTES CONDICIONES AMBIENTALES

R. Machado e Hilda Machado

**Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey"
Matanzas, Cuba**

Mediante un diseño de bloques al azar con tres repeticiones se estudiaron ocho variedades de *Pennisetum purpureum* en tres localidades: Empresa Pecuaria San Cristóbal, Empresa Genética de Matanzas y EEPF "Indio Hatuey". Los resultados fueron sometidos a las técnicas de análisis factorial y al modelo de regresión lineal con el fin de conocer la adaptabilidad y estabilidad de estas variedades. En todos los indicadores (rendimiento, altura y contenido de hojas) se halló significación para el genotipo, el ambiente y su interacción. A pesar de que la época fue el factor que más contribuyó a la varianza ($P < 0,001$), no se encontró significación en las interacciones, cuando este factor se relacionó con el genotipo (excepto en $G \times L \times E$; $P < 0,05$), debido a la poca variabilidad genotípica y a la inclusión del riego en una de las localidades. Se recomienda la utilización de los cvs. Taiwan A-144, Taiwan A-148, 801-4, Merkerón y king grass debido a su buena adaptabilidad ($b_i = 1$), marcada estabilidad ($\sum^2 ij/n - 2 = 0$) y media de los rendimientos, altura y contenido de hojas superior o ligeramente inferior a la media varietal en todos los ambientes estudiados.

Palabras clave: Adaptabilidad, estabilidad, *Pennisetum purpureum*, interacción $G \times A$

Eight *Pennisetum purpureum* strains were studied using a randomized block design with three repetitions at three different localities: San Cristóbal enterprise, Genética de Matanzas enterprise and "Indio Hatuey" research station. Results were submitted to factorial analysis and lineal, regression techniques in order to know the adaptability and stability of these strains. Signification in genotype, environment and environment interaction was found in all indicators (yield, height and leaf content). No signification for interactions was recorded when the season was related with genotype (exception in $G \times L \times S$; $P < 0,05$) although the season was the factor of highest contribution ($P < 0,001$) to variance; this was due to the few genotypic variability and the use of irrigation in one of the localities. The utilization of Taiwan A-144, Taiwan A-148, 801-4, Merkerón and king grass cultivars is recommended taking into account their suitable adaptability ($b_i = 1$), marked stability ($\sum^2 ij/n - 2 = 0$) and mean of yield, height and leave content which was superior or slightly inferior than varietal mean of all studied environment.

Additional index words: Adaptability, stability, *Pennisetum purpureum*, $G \times E$ interaction

En Cuba se han desarrollado varios trabajos encaminados a determinar la interacción genotipo por ambiente (G x A) en algunas especies de pastos tropicales (Gerardo, Thompson y Machado, 1983; Machado, Seguí, Martínez y Jácome, 1986). Ello se debe a la importancia que reviste la selección de especies y variedades que cumplan el requisito de ser adaptables y estables en un amplio rango de condiciones ambientales diferentes. Sin embargo, en estas investigaciones no se incluyeron variedades de *Pennisetum purpureum*. Tomando en consideración que estas últimas son capaces de producir altos volúmenes de forraje de aceptable calidad y que, por otra parte, se desconoce su estabilidad fenotípica en diferentes condiciones ambientales, se desarrolló el presente trabajo con el fin de estimar la interacción G x A y los parámetros de adaptabilidad en 8 variedades de *P. purpureum* cuando fueron establecidas en tres zonas diferentes de nuestro país.

MATERIALES Y METODOS

Localización y suelo. El experimento se realizó en tres localidades: Empresa Pecuaria San Cristóbal, Empresa Genética de Matanzas y EEPF "Indio Hatuey", cuyos suelos se corresponden con Ferralítico Cuarítico Amarillo, Pardo con Carbonato y Ferralítico Rojo compactado, respectivamente (Academia de Ciencias de Cuba, 1979).

Diseño y tratamientos. Se utilizó un diseño de bloques al azar con tres repeticiones y parcelas de 5,0 x 4,5 m. El área cosechable fue de 4 x 3,5 m. Los tratamientos estuvieron representados por 8 variedades de *P. purpureum*: CRA-265; Merkerón; Taiwan A-144;

Taiwan A-148; Taiwan A-146; 801-4; Napier y king grass.

Procedimiento experimental. Para la plantación se utilizó propágulos de cada variedad (esquejes con 4 ó 5 yemas). Estas se dispusieron en surcos espaciados a 90 cm, entrecruzando sus extremos finales a lo largo del surco. Los cortes se efectuaron cada 45 días en lluvia y cada 60 días en seca. Se fertilizó a razón de 240-100-100 kg de NPK/ha/año. El N se fraccionó por corte en la época de lluvia y el P_2O_5 y K_2O se aplicó en dos partes iguales al inicio y final de esta época. Sólo se aplicó riego en Indio Hatuey, a razón de 50 mm cada 15 a 20 días durante la época de seca. Las variedades fueron evaluadas para rendimiento de MS, altura y contenido de hojas durante 2 años.

Análisis matemático. Se utilizó el análisis de varianza factorial (Fisher, 1926) en dos análisis factoriales: análisis factorial I y análisis factorial combinado II. El primero permite conocer el grado de la interacción G x A como premisa indispensable para aplicar el modelo de regresión lineal (Finlay y Wilkinson, 1963; Eberhart y Russell, 1966), el cual está encaminado a determinar la adaptabilidad y estabilidad de las variedades estudiadas. Por su parte, el segundo proporciona los efectos detallados de cada factor estudiado y sus interacciones posibles.

RESULTADOS

En la tabla 1 se indica el análisis factorial I para los caracteres estudiados. Como se aprecia, en todos existió significación para el genotipo, el ambiente y su interacción. Es importante destacar que en todos los casos el ambiente hizo la mayor contribución al cuadrado medio (CM).

Tabla 1. Análisis factorial I para rendimiento de MS, altura de la variedad y contenido de hojas.

| Factores de variación | Rendimiento | | Altura | | Contenido de hojas | |
|-----------------------|-------------|-----------|--------|--------------|--------------------|-------------|
| | GL | CM | GL | CM | GL | CM |
| Genotipo (G) | 7 | 12,85** | 7 | 2 192,88*** | 7 | 74,75*** |
| Ambiente (A) | 11 | 679,07*** | 11 | 49 528,20*** | 11 | 1 674,25*** |
| G x A | 77 | 7,18** | 77 | 329,44** | 77 | 11,75*** |
| Error | 168 | 4,44 | 168 | 102,3 | 168 | - |

** P<0,01

*** P<0,001

En la tabla 2 se expresa el análisis factorial combinado II para los mismos caracteres. En el caso del rendimiento, la época hizo la mayor contribución, seguida por el año, el genotipo y por último la localidad, la cual no fue significativa. Sin embargo, aunque en las interacciones de primer orden los factores ambientales entre sí produjeron una interacción altamente significativa ($P<0,001$), sólo resultó significativa su interacción con el genotipo en el caso de la localidad ($G \times L$). Para las interacciones de segundo orden se detectó significación en el caso de $G \times L \times E$ (para el carácter rendimiento) y $L \times A \times E$ en todos los caracteres; mientras que en la de tercer orden no hubo significación.

Al analizar la altura fue posible comprobar que todos los factores ambientales y el genotipo hicieron una contribución alta en valor absoluto y altamente significativa ($P<0,001$); como en el caso anterior se destacó la época. En las interacciones de primer orden hubo significación en todos los casos, excepto en $G \times E$; mientras que en las de segundo orden resultaron significativas ($P<0,001$) $G \times L \times A$ y $L \times A \times E$. En la interacción de tercer orden no se

encontró significación. Un patrón similar a este se detectó en el contenido de hojas, aunque los CM fueron más bajos en valor absoluto en todos los casos.

En la tabla 3 se indica la adaptabilidad y estabilidad del rendimiento, altura y contenido de hojas de las variedades estudiadas.

Para el rendimiento se aprecia que el CRA-265 presentó un b_i significativamente inferior a 1, una desviación de la linealidad no diferente de cero y una media (4,58) inferior a la media varietal (5,68). Por otra parte, el napier mostró un b_i significativamente superior a 1, una desviación de la linealidad pequeña no diferente de cero y una media (6,00) superior a la media varietal. El resto de las variedades exhibieron un b_i igual a la unidad y desviaciones de la linealidad no diferentes de cero y por ello tuvieron buena adaptación general a todos los ambientes y estabilidad en su respuesta. En este sentido se destacaron el Merkerón, el Taiwan A-144 y el 801-4 con medias superiores a la media de todas las variedades en todos los ambientes, así como el Taiwan A-148 y el king grass, con medias ligeramente inferiores.

Tabla 2. Análisis factorial combinado II para rendimiento de MS, altura de la variedad y contenido de hojas.

| Factores de variación | Rendimiento | | Altura | | Contenido de hojas | |
|-----------------------|-------------|-------------|--------|---------------|--------------------|-------------|
| | GL | CM | GL | CM | GL | CM |
| Genotipo (G) | 7 | 12,85** | 7 | 2 192,88*** | 7 | 74,75*** |
| Localidad (L) | 2 | 10,45 | 2 | 33 531,50*** | 2 | 809,73*** |
| Epoca (E) | 1 | 4 428,99*** | 1 | 286 718,00*** | 1 | 5 019,00*** |
| Año (A) | 1 | 1 956,26*** | 1 | 153 341,00*** | 1 | 6 762,62*** |
| G x L | 14 | 13,47*** | 14 | 569,30*** | 14 | 15,35** |
| G x A | 7 | 5,12 | 7 | 880,89*** | 7 | 19,92** |
| G x E | 7 | 8,53 | 7 | 193,92 | 7 | 9,41 |
| L x A | 2 | 53,77*** | 2 | 3 445,25*** | 2 | 941,12*** |
| L x E | 2 | 39,91*** | 2 | 10 273,90*** | 2 | 470,00*** |
| A x E | 1 | 802,65*** | 1 | 4 596,50*** | 1 | 1 059,60*** |
| G x L x A | 14 | 4,65 | 14 | 399,35*** | 14 | 15,29** |
| G x L x E | 14 | 8,00* | 14 | 177,14 | 14 | 9,00 |
| G x A x E | 7 | 4,54 | 7 | 128,71 | 7 | 9,30 |
| L x A x E | 2 | 41,83*** | 2 | 2 826,75** | 2 | 594,31*** |
| G x L x A x E | 14 | 4,26 | 14 | 64,37 | 14 | 5,67 |
| Error | 190 | 4,35 | 190 | 130,72 | 190 | 5,95 |

* P<0,05

** P<0,01

*** P<0,001

Con relación a la altura, el CRA-265 ostentó un b_i significativamente inferior a 1, el mayor ES b_i , la mayor desviación de la linealidad (aunque no significativa) y la media más baja en relación con la población. Contrariamente, el Taiwan A-146 presentó un b_i significativamente superior a la unidad, un pequeño ES b_i y una alta desviación, de la linealidad (aunque no significativa); además, su media fue superior a la media de todos los cultivares en todos los ambientes para este carácter. El resto de las variedades

tuvieron b_i iguales a la unidad y desviación de la linealidad diferente de cero; y se destacaron el king grass, el 801-4 y el napier con las mayores medias.

Para el contenido de hojas, en todas las variedades se registraron valores de b_i iguales a 1 y desviaciones de la linealidad no diferentes de cero; en este aspecto se destacó el CRA-265 con la mayor media, mientras que las restantes variedades presentaron valores muy cercanos a la media varietal.

Tabla 3. Adaptabilidad y estabilidad de los caracteres estudiados.

| Caracteres | CRA-265 | Merkerón | Taiwán A-144 | Taiwán A-148 | Taiwán A-146 | King grass | 801-4 | Napier |
|---------------------|---------|----------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------|--------|--------|
| % de hojas | | | | | | | | |
| b_i | 1,93 | 0,99 | 0,99 | 1,00 | 1,00 | 1,03 | 0,99 | 1,03 |
| ESb_i | 0,10 | 0,07 | 0,05 | 0,07 | 0,04 | 0,05 | 0,04 | 0,09 |
| $\sum ij/n - 2$ | 8,04 | 4,1 | 2,77 | 4,73 | 1,26 | 2,21 | 1,87 | 5,10 |
| \bar{y} | 65,20 | 62,00 | 62,60 | 62,60 | 62,20 | 62,20 | 62,30 | 59,90 |
| \bar{y} población | 62,30 | | | | | | | |
| Altura | | | | | | | | |
| b_i | 0,75 | 1,04 | 0,98 | 0,94 | 1,16 | 1,00 | 1,02 | 1,06 |
| ESb_i | 0,11 | 0,03 | 0,04 | 0,03 | 0,07 | 0,03 | 0,04 | 0,05 |
| $\sum ij/n - 2$ | 291,01 | 24,90 | 44,26 | 22,42 | 111,58 | 20,71 | 45,86 | 66,62 |
| \bar{y} | 94,80 | 111,30 | 111,50 | 108,50 | 113,10 | 117,00 | 120,70 | 116,10 |
| \bar{y} población | 111,60 | | | | | | | |
| Rendimiento | | | | | | | | |
| b_i | 0,73 | 1,11 | 1,11 | 0,97 | 0,91 | 1,03 | 0,98 | 1,12 |
| ESb_i | 0,06 | 0,09 | 0,05 | 0,05 | 0,11 | 0,82 | 0,51 | 0,56 |
| $\sum ij/n - 2$ | 1,35 | 2,97 | 0,90 | 1,02 | 4,36 | 2,09 | 0,83 | 0,99 |
| \bar{y} | 4,58 | 6,63 | 6,04 | 5,60 | 5,30 | 5,64 | 5,70 | 6,00 |
| \bar{y} población | 5,68 | | | | | | | |

DISCUSION

Uno de los problemas más frecuentes que presentan los programas de mejoramiento es el de recomendar una variedad seleccionada tomando solo en consideración su rendimiento medio y no determinar su interacción con el ambiente y su estabilidad, cuando se cultiva en zonas contrastantes. Una problemática similar se ha presentado en experimentos regionales en los que se evalúan variedades destacadas, producto del trabajo de introducción, donde no se ha tenido en cuenta la interacción genotipo-ambiente y la adaptabilidad y estabilidad de las mismas.

Lo anterior se evidenció al comprobar el alto grado de significación encontrado

en la variación debida a los genotipos, a los factores ambientales y a su interacción en todos los caracteres estudiados (tabla 1). Ello implicó, como apuntó Hill (1975), que el comportamiento de estas variedades dependiera considerablemente de los ambientes particulares donde estas se desarrollaron.

Sin embargo, a pesar de que el aporte del ambiente a la varianza total fue marcadamente alto en comparación con la interacción de este con el genotipo (tabla 1) y que como parte del ambiente la época fue el factor que más contribuyó a la varianza de todos los caracteres estudiados (tabla 2), se encontró ausencia de interacción cuando dicho factor interaccionó con el genotipo, excepto en $G \times L \times E$ (para el caso del rendimiento).

Todo parece indicar que la poca variabilidad genotípica existente entre los cultivares estudiados enmascaró la respuesta que se debe esperar cuando interacciona el factor época con el genotipo (Hernández, 1984; Seguí y Machado, 1986). Incluso, la presencia del cv. CRA-265, cuyas características morfoagronómicas son bien diferentes a las de los restantes, no fue suficiente para modificar esta respuesta.

Por otra parte, también pudo influir la utilización del riego en una de las localidades. Ello se reafirma al analizar las interacciones de los factores ambientales entre sí ($L \times A$; $L \times E$; $A \times E$ y $L \times A \times E$), donde se halló interacción altamente significativa, lo que indica que existió una alta contribución de cualquiera de ellos en la expresión fenotípica de todos los caracteres.

La significación encontrada en $G \times L \times E$ puede explicarse por la presencia de la localidad en esta interacción, sobre todo si se toma en consideración las altas diferencias que existen entre los suelos de las tres localidades. La época, por su parte, jugó también un importante rol, debido a su contraste anual. No obstante, parece ser que otros factores, independientes de la altura y del contenido de hojas, fueron los que motivaron esta respuesta en el rendimiento, debido a la ausencia de significación para estos componentes.

Lo analizado con anterioridad permite argumentar que cuando se deseen comparar especies y variedades en ambientes contrastantes y determinar la influencia de estos últimos en su valor fenotípico, se debe realizar una homogenización lo más adecuada posible de los factores de manejo y, además, incluir todos aquellos parámetros e indicadores influyentes, cuya expresión en el fenotipo quede cuantificada convenientemente en los análisis factoriales correspondientes.

Al analizar los resultados (tabla 3) en función de la interpretación dada por

Eberhart y Russell (1966) y de la clasificación de las variedades realizada por Carballo y Márquez (1970), donde se toma en cuenta las situaciones derivadas de los valores del coeficiente de regresión (b_i) y la desviación de la linealidad ($\sum^2 ij/n - 2 = 0$), podemos arribar a las siguientes consideraciones.

- El CRA-265 es un cultivar con buena adaptación a ambientes específicos desfavorables a los restantes cultivares ($b_i < 1$), a la vez que es consistente, es decir, estable ($\sum^2 ij/n - 2 = 0$). Ello se debe a que esta variedad se caracteriza, generalmente, por presentar rendimientos medios en condiciones muy disímiles (Machado, 1985) atribuibles a su conformación estructural, caracterizada por un exuberante follaje, pero con tallos y entrenudos cortos.
- El napier, aun cuando presenta una media varietal del rendimiento superior a la media de la población y estabilidad en su respuesta, es solamente apropiado para condiciones ambientales favorables ($b_i > 1$); es decir, para suelos fértiles con altos niveles de fertilización. Ello corrobora el comportamiento observado en Cuba al explotar esta variedad, la cual es capaz de producir rendimientos considerablemente altos en lluvia, sobre todo cuando se fertiliza; pero marcadamente bajos en seca (Guzmán, 1987) cuando se aplican bajos niveles de N.
- El Taiwan A-146 solo muestra una alta capacidad de crecimiento cuando las condiciones ambientales son favorables. Ello se comprobó anteriormente (Machado y Gerardo, 1983) al comparar este cultivar con el 801-4, el king grass y el Taiwan A-144, donde no fue

posible continuar su evaluación producto de su pobre crecimiento causado por la incidencia de enfermedades. En este trabajo, solo en la localidad de San Cristóbal no se evidenció la presencia de *Helminthosporium* sp. y de *Collectotrichum* sp., por cuanto su crecimiento y vigor le permitió alcanzar una altura, contenido de hojas y rendimiento similares a los de los restantes cultivares.

Sobre la base de las consideraciones anteriores, es posible recomendar la utilización de los cvs. Taiwan A-144; Taiwan A-148; 801-4; Merkerón y king grass en cualquiera de estas localidades, debido a su buena estabilidad ($b_i = 1$), su marcada consistencia, ($\sum^2 ij/n - 2 = 0$) y media del rendimiento, altura y contenido de hojas mayor o ligeramente menor que la media de todos los cultivares en los tres ambientes estudiados.

REFERENCIAS

- ACADEMIA DE CIENCIAS DE CUBA. 1979. Clasificación genética de los suelos de Cuba. Instituto de Suelos. La Habana
- CARBALLO, C.A. & MARQUEZ, S.F. 1970. *Agrociencia*. 5:129
- EBERHART, S.A. & RUSSELL, W.A. 1966. *Crop Sci.* 6:36
- FINLAY, K.A. & WILKINSON, G.N. 1963. *Aust. J. Agric. Res.* 14:742
- FISHER, R.A. 1926. *J. Agric.* 33:503
- GERARDO, J.; TOMPHSON, MARTA & MACHADO, HILDA. 1983. *Pastos y Forrajes*. 6:161
- GUZMAN, J. 1967. Univ. Central de Las Villas. Centro de Inv. Agrop. Memoria anual. p. 71
- HERNANDEZ, R. 1984. Evaluación de gramíneas en regiones ganaderas bajo diferentes ambientes. Tesis presentada en opción al grado de C.Dr. en Ciencias. Centro Universitario "Camilo Cienfuegos". Matanzas, Cuba
- HILL, J. 1975. *J. Agric. Sci.*, Camb. 85:477
- MACHADO, R. 1985. Informe sobre los resultados alcanzados en la extensión "Nuevas variedades para la producción de forrajes". EEPF "Indio Hatuey". Matanzas, Cuba
- MACHADO, HILDA; SEGUI, ESPERANZA; MARTINEZ, J. & JACOME, A. 1986. *Pastos y Forrajes*. 9:103
- SEGUI, ESPERANZA & MACHADO, HILDA. 1986. *Pastos y Forrajes*. 9:210