

MÉTODO PARA DETERMINAR LAS ZONAS CONTRASTANTES EN LAS EVALUACIONES REGIONALES

Esperanza Seguí, R. García¹ e Hilda Machado

Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey"

Matanzas, Cuba

¹ Universidad "Camilo Cienfuegos"

Matanzas, Cuba

Se tomaron los datos de rendimiento de MS de las evaluaciones realizadas por la EEPF "Indio Hatuey" a 14 cultivares en ocho localidades, con el objetivo de determinar las zonas contrastantes. Los cultivares fueron sometidos a corte, con una frecuencia de 42 días en el período de seca y 32 en el de lluvia, sin aplicación de riego ni fertilización. Se utilizó el modelo matemático: $V_i = \mu_r + \phi_i + E_{ji}$. Tomándose como variable de decisión el cuadrado medio del factor localidad, que es un indicador que determina la dispersión de la información en cada localidad en relación con el punto de referencia. Se calculó la Φ de cada punto de referencia y se fijaron los intervalos de aceptación o rechazo ($LI\phi D_3$, $LS\phi D_4$). Así se determinaron las zonas contrastantes para cada punto de referencia y se conformó la matriz cuadrada; estas fueron Indio Hatuey, Cascajal, Bayamo y la Empresa Genética de Matanzas. Se concluye que el método puede resultar útil cuando se aplique a los ensayos regionales para cada cultivo en la determinación de las zonas contrastantes, cuya utilización es un elemento imprescindible para la evaluación regional.

Palabras claves: *Método, zonas contrastantes, evaluación regional*

Fourteen cultivars were studied in 8 sites in order to determine the contrasting zones. DM yield data were taken by the EEPF "Indio Hatuey". The cut frequency was of 42 days in dry season and 32 days in rain season, without irrigation nor fertilizer. The mathematical model used was: $V_i = \mu_r + \phi_i + E_{ji}$. The medium square of the site was taken as decision variable that determine the dispersion of information in each site in relation with the reference point. The ϕ value was calculated and the acceptance or rebound intervals were fixed. Thus, the contrasting zones to each reference point were determined and square matrix was obtained. The contrasting zones were Indio Hatuey, Cascajal, Bayamo and Matanzas's Genetic Enterprise. The method may be useful when it is applied in the regional experiments for each farming to determine contrasting zones and its usefulness in the regional evaluation.

Additional index words: *Method, contrasting zones, regional evaluation*

Los mejoradores de plantas, a través de los años, han ido acumulando conocimientos sobre el comportamiento genotípico de los cultivos frente a diferentes condiciones ambientales como las ecológicas (climáticas, edáficas y bióticas) y la acción del hombre, las que han influido en la adaptación, distribución y producción de las plantas (Harding, Guikema y Paulsen, 1990; Mozafar, Schreiber y Vertti, 1993).

El comportamiento relativo de los genotipos en todos los ambientes ha preocupado a los mejoradores desde principios de siglo (Johansen, 1909; Engledow, 1925), lo cual ha tomado mayor auge en los últimos años (Seguí, Tomeu y Machado, 1988; Charmet, Balfourier y Bion, 1990; Gerardo, Machado y Seguí, 1991), ya que cuando la contribución del ambiente representa una elevada

proporción del valor fenotípico, el efecto de la selección se reduce y el progreso del mejoramiento es lento, disminuyendo la correlación entre el genotipo y el fenotipo (Comstock y Moll, 1963). Este fenómeno se conoce como interacción genotipo-ambiente ($G \times A$).

Es por ello que Fisher (1926) planteó el uso del diseño factorial en las investigaciones agrícolas como vía para la determinación de la interacción genotipo-ambiente; en este la variación puede descomponerse en los efectos genotípicos, ambientales y sus interrelaciones mediante el modelo segmental.

Después de estos valiosos aportes, se incrementó el uso de la técnica del análisis de varianza factorial en las diferentes investigaciones agrícolas, fundamentalmente para los estudios de interacción genotipo-ambiente (Comstock y Robinson, 1952; Finlay y Wilkinson, 1963; Eberhart y Russell, 1966; Jinks y Perkins, 1970).

No obstante, todos los métodos utilizados daban una información muy general sobre la contribución del ambiente, ya que no facilitaban la determinación del efecto de un ambiente en particular sobre las respuestas de los genotipos en estudio.

Las técnicas basadas en el análisis multivariado que han sido aplicadas por algunos investigadores en países desarrollados que poseen alta tecnología en computación, permiten utilizar métodos de clasificación y ordenación para agrupar los ambientes de acuerdo con las respuestas de los genotipos a estos, utilizando para ello grandes grupos de datos (Mungomery, Shorter y Byth, 1974; Shorter, Byth y Mungomery, 1977), pero más bien son un complemento de los análisis estadísticos tradicionales para este propósito.

En Cuba los mejoradores de plantas han llevado a cabo varias investigaciones de interacción genotipo-ambiente (Calvez, 1979; Estévez, 1981; Seguí, 1987) para determinar la

adaptabilidad de los cultivos agrícolas en los diferentes ambientes, teniendo en consideración fundamentalmente las localidades, con el fin de lograr una alta correlación entre el valor genotípico y el fenotípico. Con ese objetivo los investigadores seleccionan empíricamente un gran número de localidades que poseen diferentes condiciones ecológicas, ya que no disponen de ningún método que pueda establecer las que son verdaderamente contrastantes.

En las localidades seleccionadas por las condiciones del suelo, el clima y fundamentalmente por las precipitaciones históricas, se ha creado una red de estaciones y micro-estaciones para la evaluación regional de los diferentes cultivos. En el caso particular de los pastos, esa red abarca catorce localidades y en el cultivo de la caña su número es bastante elevado: su objetivo es obtener la información adecuada para la recomendación de cultivares en las zonas de explotación.

El objetivo de este trabajo fue establecer un método que permitiera delimitar las localidades verdaderamente contrastantes y disminuir su número.

MATERIALES Y METODOS

Los datos que sirvieron de base para describir y aplicar este método fueron tomados de los experimentos de evaluación regional llevados a cabo por el grupo de introducción y evaluación de gramíneas de la EEPF "Indio Hatuey". Para ello se seleccionaron ocho zonas que ecológicamente mostraran diferencias entre sí (tabla 1).

El estudio se realizó tomándose en consideración los rendimientos de MS de seis especies de gramíneas representadas por 14 cultivares, evaluados durante 1 año con una frecuencia de corte de 52 días en el período de lluvia y 42 en el de seca, en condiciones de secano y sin fertilización.

Tabla 1. Algunas características de las localidades en estudio.

	Indio Hatuey	Bayamo	La Sierrita	Sancti Spiritus	Barajagua	San Cristóbal	Cascajal	Genética de Matanzas
Tipo de suelo	Ferralítico Rojo hidratado	Oscuro plástico gleyzado	Pardo sin carbonatos	Ferralítico cuar-cítico amarillo rojizo lixiviado	Pardo grisáceo	Gley amari-lento cuarcítico	Ferralítico cuar-cítico amarillo rojizo lixiviado	Pardo con carbonatos
Drenaje	Bueno	Deficiente	Bueno	Deficiente	Bueno	Bueno	Bueno superfi-cial, deficiente interno	Moderado
Fertilidad	Media	Baja	-	Baja	Media	Baja	Alta	Buena
pH del suelo	6,7	7,0	Ligeramente ácido	Acido	4,6	Acido	5,3	7,0
Precipitación (mm)	1 377	1 380	1 221	1 200	1 477	1 300	1 399	1 343
Temperatura (°C)	24,1	26,0	25,2	24,2	26,5	25,3	25,3	25,3

Aspectos del modelo a tener en consideración para aplicar el "Método de determinación de las zonas contrastantes para la evaluación de variedades".

1. Las localidades deben ser seleccionadas aleatoriamente, tomando el mayor número posible y preferiblemente el impar.
2. El manejo de los cultivos debe ser el mismo en cada localidad.
3. Los cultivares seleccionados deben ser fenotípicamente diferentes en cada especie.
4. Debe utilizarse el mismo número de cultivares por localidad.
5. Deben estar presentes los mismos cultivares en cada localidad, para eliminar cualquier efecto debido al genotipo en el cuadrado medio (CM) de las localidades.
6. El carácter a estudiar debe seguir una distribución normal (por ejemplo: rendimiento de MS, producción de semillas, etc.)
7. Debe emplearse el mismo número de réplicas en cada localidad para mantener la homogeneidad de los análisis factoriales.
8. Se debe utilizar como mínimo 2 años de evaluación, debido a la marcada variación climática que pudiera presentarse en uno de los años.
9. En el caso de los cultivos que se cosechen en las dos épocas del año, debe tenerse en consideración la época como un factor en el análisis factorial.

Procedimiento. Se utilizó el diseño factorial planteado por Fisher (1926), con el fin de separar el efecto del factor localidad de los demás factores que pudieran influir.

Se tomó cada localidad como punto de referencia, haciendo el análisis factorial entre dos localidades, donde siempre estuvo incluida la que se tomó como punto de referencia y

otra. Por ejemplo: Indio Hatuey sirvió como punto de referencia y se realizaron los análisis tomando dos localidades y estando siempre incluido el efecto de Indio Hatuey. Después se estableció otra localidad como punto de referencia (Bayamo) y se realizaron todo el análisis factoriales con las demás menos Indio Hatuey, por estar ya efectuado ese análisis (Indio Hatuey y Bayamo); así se procedió para cada punto de referencia.

Se tomó como variable de decisión el cuadrado medio, que es un indicador que determina la dispersión de la información en cada localidad en relación con el punir de referencia.

Tomando como base las premisas del método, se procedió a determinar la dispersión promedio de todas las localidades con respecto al punte de referencia.

En la tabla 2 se muestran las variables de decisión de cada localidad con respecto a su punió de referencia.

La identidad fundamenta, que sirvió como base a este método fue:

$$V_i = \mu_r + \Phi_i + E_{ji}$$

donde:

V_i = Variabilidad general de una localidad.

μ_r = Variabilidad media en relación con el punto de referencia.

Φ_i = Efecto que corresponde a cada una de las localidades analizadas.

E_{ji} = Error aleatorio que no se tuvo en consideración por haberse eliminado en el análisis factorial al descomponerse la variación fenotípica en los efectos genotípicos, ambientales y sus interrelaciones mediante el modelo segmental.

De ahí que Φ_i sirvió de indicador de la variación relativa (IVR) entre localidades, que es equivalente al rango de variación de cada localidad con respecto al punto de referencia tomado en valor absoluto.

Tabla 2. Variable de decisión (CM del factor localidad), tomada de los veintiocho análisis factoriales.

Punto de referencia	Vi (variabilidad general de cada una de las localidades)								μ_r Dispersión promedio
	IH	By	LS	S Sp	Br	SC	C	GM	
Indio Hatuey (IH)	-	488,4	211,1	416,8	50,6	7,6	1 732,9	513,3	488,7
Bayamo (By)	488,4	-	13,6	9,8	1,26	186,4	11,5	75,6	112,3
La Sierrita (LS)	211,1	13,6	-	75,5	7,4	61,8	135,9	138,6	91,9
Sancti Spíritus (S Sp)	416,8	9,8	75,5	-	3,54	134,0	180,0	13,23	118,9
Barajagua (Br)	50,6	1,26	7,4	3,54	-	67,5	190,5	152,0	67,5
San Cristóbal (SC)	7,6	186,4	61,8	134,0	308,6	-	964,5	497,6	308,6
Cascajal (C)	1 732,9	11,5	135,9	180,0	190,5	964,5	-	171,2	483,8
Genética de Matanzas (GM)	513,3	75,6	138,6	13,23	152,0	497,6	171,2	-	223,08

Por su parte, μ_r es un indicador de la variabilidad media correspondiente al punto de referencia, que se obtiene promediando las variables de decisión.

$$IVR = \Phi_i = V_i - \mu_r$$

En la tabla 3 se muestran los IVR de cada localidad, que fueron calculados con la utilización de la fórmula planteada.

Para determinar las zonas contrastantes se conformó un intervalo de aceptación o rechazo. Los límites del intervalo fueron los siguientes:

$$LI = \Phi D_3 \quad LS = \Phi D_4$$

LI = Límite inferior

LS = Límite superior

Φ = Se tomó de la tabla 3

Los valores D_3 y D_4 se obtuvieron de Eilon (1969), correspondientes a los gráficos de control de rango (R). Es una tabla de doble entrada donde n es el número de localidades que se toma en consideración para el contraste.

Los rangos de aceptación o rechazo calculados para cada localidad como punto de referencia se muestran en la tabla 4.

Se analizaron los valores de Φ de cada localidad con respecto a los límites del intervalo calculado para su punto de referencia. Si los valores de Φ estaban incluidos en ese intervalo (comparando la tabla 3 con la tabla 4), las localidades correspondientes no fueron contrastantes. Todos los valores de Φ que estaban fuera del intervalo pertenecían a las localidades contrastantes (los valores subrayados).

En la figura 1 se muestra un ejemplo donde se tomó a Indio Hatuey como punto de referencia.

Según esta figura, las localidades contrastantes fueron Bayamo (By), Empresa genética de Matanzas (GM) y Cascajal (C), tomando como punto de referencia Indio Hatuey

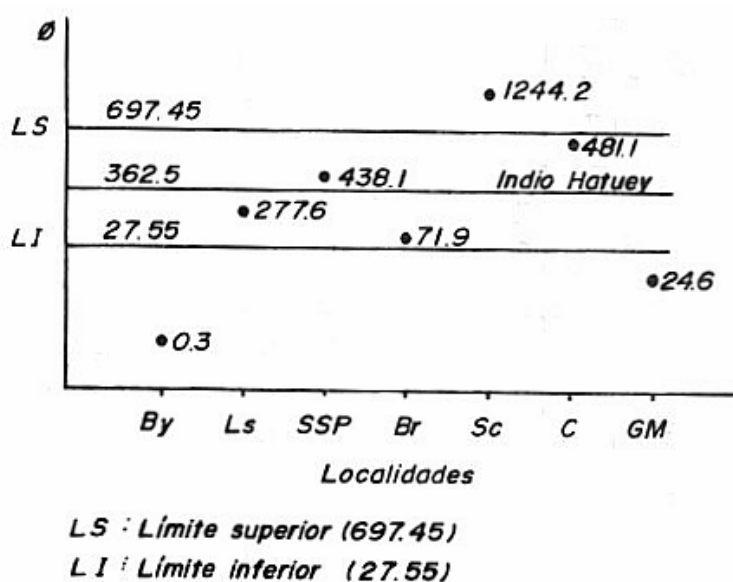


Fig. 1. Distribución de las localidades cuando se toma como punto de referencia Indio Hatuey (362,5).

Tabla 3. Índice de variación relativa de cada localidad con respecto al punto de referencia (valor absoluto).

Punto de referencia	ϕ_i de las localidades estudiadas (IVR)								ϕ
	IH	By	LS	S Sp	Br	SC	C	GM	
Indio Hatuey (IH)	-	0,3	277,6	71,9	438,1	481,1	1 244,2	24,6	362,5
Bayamo (By)	376,1	-	98,7	102,5	111,0	74,1	100,8	36,7	128,5
La Sierrita (LS)	119,2	78,3	-	16,4	84,5	30,1	44,0	46,7	59,8
Sancti Spíritus (S Sp)	297,9	109,1	43,4	-	115,5	15,1	61,1	105,6	106,8
Barajagua (Br)	16,9	96,2	60,1	63,9	-	0,0	123,0	84,5	74,1
San Cristóbal (SC)	301,0	122,2	246,8	174,6	0,0	-	655,9	189,0	281,5
Cascajal (C)	1 249,1	472,3	347,9	303,8	293,3	480,7	-	312,6	494,2
Genética de Matanzas (GM)	290,2	147,4	84,4	209,8	71,0	274,5	51,5	-	161,2

Tabla 4. Límites del intervalo de aceptación o rechazo.

Localidad	Intervalos		
	LI = ϕD_3	LS = ϕD_4	
Indio Hatuey	27,55	697,45	Valor de $D_3 = 0,076$
Bayamo	9,77	247,35	Valor de $D_4 = 1,924$
La Sierrita	4,55	115,23	
Sancti Spíritus	8,12	205,5	
Barajagua	5,63	142,57	
San Cristóbal	21,4	541,76	
Cascajal	37,56	950,92	
Genética de Matanzas	12,26	310,26	

Después de determinadas las localidades contrastantes para cada punto de referencia, se conformó una matriz cuadrada (número de filas = número de columnas), lo que se indica en la tabla 5. De esta forma se determinó en el conjunto de todas las localidades las más contrastantes.

Según se puede observar en la tabla 5, las localidades contrastantes fueron Indio Hatuey, Bayamo, Cascajal y la empresa Genética de Matanzas, entre las que se destacaron Indio Hatuey y Cascajal.

Tabla 5. Matriz cuadrada donde se enmarcan con una cruz las localidades contrastantes.

Punto de referencia	IH	By	LS	S SP	Br	SC	C	GM
Indio Hatuey (IH)	-	◆					◆	◆
Bayamo (By)	◆	-						
La Sierrita (LS)	◆		-					
Sancti Spíritus (S SP)	◆			-				
Barajagua (Br)					-			
San Cristóbal (SC)						-	◆	
Cascajal (C)	◆						-	
Genética de Matanzas (GM)								-

Se concluye que:

- El método propuesto permite delimitar sobre una base estadística matemática las zonas contrastantes, es decir, aquellas en las cuales se logra todo el rango de rendimiento

posible entre las zonas evaluadas, independientemente de las particularidades del suelo y el clima.

- Los resultados obtenidos en las condiciones de este trabajo permiten reducir al 50% las

localidades seleccionadas para los ensayos regionales (de ocho a cuatro localidades), lo que significa una reducción en igual proporción de los costos en esta fase de la investigación.

- Una vez determinadas las zonas contrastantes y habiendo aplicado el análisis de interacción genotipo-ambiente, mediante la línea de regresión de cada cultivar, es posible predecir los rendimientos en cualquier otra zona (Breese, 1969) siempre que se conozca el índice ambiental de las mismas.

Se recomienda que para los pastos este análisis se realice en todas aquellas zonas designadas para llevar a efecto los ensayos regionales de acuerdo con el esquema de extensión, ya que de esta forma se tendría una información más clara y precisa para la determinación de las zonas contrastantes, y de hecho se reduciría el número de lugares necesarios para la valoración de las nuevas introducciones en la evaluación regional. Se hace extensivo el método para todos los cultivos, teniendo en consideración el número de ensayos que actualmente se realiza en algunos de ellos, en especial en la caña de azúcar.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Dr. Rolando Hernández, al Ing. Justo Gerardo y en especial al Dr. Juvenal Menéndez, por haber facilitado sus datos para la realización de este trabajo; de la misma forma a los técnicos Acela Tamayo, Marlenis Prieto, Belkis Suárez, Guillermo de la Paz, Orlando Rodríguez, Jorge Hernández y a los Ing. Meinaldo Martínez y Reinaldo Roche, que ayudaron a la recopilación de los datos y su organización para la realización de los análisis.

También deseamos agradecerle al Ing. Rey Machado su exhaustiva labor en la revisión de este trabajo y al Dr. Félix Blanco por su ayuda técnica, iniciativa y estímulos en su realización.

REFERENCIAS

- BREESE, E.L. 1969. The measurement and significance of genotype environment interactions in grasses. *Heredity*, Lond. 24:27
- COMSTACK, R.E. & ROBINSON, H.F. 1952. Genetics parameters, their estimation and significance. Proc. VI Int. Grassl. Congr., USA. p. 284
- COMSTACK, R.E. & MOLL, R.H. 1963. Genotypes environment interaction. NAS-NRC.Pub.982:164
- CHARMET, G.; BALFOURIER, F. & BION, A. 1990. Agronomic evaluation of a collection of french perennial ryegrass populations: multivariate classification using genotype x environment interactions. *Agronomie*. 10:807
- EBERHART, S.A. & RUSSELL, W.A. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci* 6:36
- ELION, S. 1969. Industrial Engineering Table. Editora Revolucionaria, La Habana. p. 216
- ENGLEDOW, F.L. 1925. Report of the Proc. The Imperial Botanical Conference. p. 31
- ESTEVEZ, ANA. 1981. Estudio de la interacción genotipo ambiente y métodos de estabilidad en experimentos de variedades de papa (*Solanum tuberosus* L.). Tesis presentada en opción al grado de Candidato a Dr. en Ciencias Agropecuarias. INCA. La Habana. Cuba
- FINLAY, K.W. & WILKINSON, G.N. 1963 The analysis of adaptation in a plant breeding programme. *Aust. J. Agric. Res.* 14:742
- FISHER, R.A. 1926. The arrangement of fields experiments. *J. Agric. Sci.* 33:503
- GALVEZ, G. 1979. Estudio de la interacción genotipo-ambiente en rendimiento de variedades de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) en dos localidades del

- occidente de Cuba. Comportamiento de los métodos de estabilidad. **Cultivos tropicales**. 1:1
- GERARDO, J.; MACHADO, HILDA & SEGUI, ESPERANZA. 1991. Evaluación y discriminación de zonas para la selección de variedades. **Pastos y Forrajes**. 14:107
- HARDING, S.A.; GUIKEMA, J.A. & PAULSEN, A. 1990. Photosynthetic decline from high temperature stress during maturation of wheat. Interactive with senescence processes. **Plant. Physiol.** 92:648
- JINKS, J.L. & PERKINS, JEAN H. 1970. Environmental and genotype-environmental components of variability. VII. Simultaneous productive across environments and generations. **Heredity**. 25:174
- JOHANSEN, W.L. 1909. Elemente der exaction. Erbilich Keisialebre. Gustav Fisher Jane
- MOZAFAR, A.; SCHREIBER. P. & VERTTI, J.J. 1993 Photoperiod ad root zone temperature: Interacting effects on growth and mineral nutrients of maize. **Plant and Soil**. 153:71
- MUNGOMERY, V.E.; SHORTER, R & BYTH, D.E. 1974. Genotype x environment interaction and environmental adaptation. I. Pattern analysis applied to soya bean population. **Aust. J. Agric. Res.** 25:59
- SEGUI, ESPERANZA. 1987. Estudios genéticos para la selección de hierba de guinea en Cuba (*Panicum maximum* Jacq.). Tesis presentada en opción al grado de Candidato a Dr. en Ciencias. ISCAH. La Habana, Cuba. 104 p.
- SEGUI, ESPERANZA; TOMEU, ANGELA & MACHADO, HILDA. 1988. Efecto de los factores ambientales en la variabilidad presente en una población de *Panicum maximum* Jacq. y su influencia en la selección. **Pastos y Forrajes**. 11:221
- SHORTER, R.; BYTH, D.E. & MUNGOMERY, V.E. 1977. Genotype x environment interactions and adaptation. II. Assessmerent of environmental contributions. **Ausf. J. Agric. Res.** 28:223

Recibido el 20 de enero de 1994