

Estimación de los componentes de la interacción variedades por localidades en una serie de experimentos ¹.

Raúl Barnier B², Surendra P. Sinha ³.

INTRODUCCION

En un programa de mejoramiento y selección de variedades en diversos cultivos, con frecuencia se realizan ensayos con las mismas variedades en dos o más localidades y posteriormente se analizan estos resultados en forma combinada. El objetivo que se persigue al combinar una serie de experimentos en diversas localidades es el de determinar la capacidad de rendimiento de las nuevas variedades o selecciones para las condiciones ecológicas en que se recomendará su cultivo. Este tipo de experimentos puede ser repetido, además, en dos o más años con el fin de ampliar el ámbito de

inferencia en las conclusiones. Al investigador le interesa determinar qué variedades produjeron el mayor rendimiento. Sin embargo, una variedad no será seleccionada sólo porque produzca un alto rendimiento en una localidad determinada, sino que interesarán aquellas que junto con un alto rendimiento presenten la mayor adaptación posible a las diferentes localidades.

La mayor o menor consistencia que presenten los rendimientos de cada variedad en las localidades se expresa en la interacción variedades x localidades o variedades x localidades x años, si los ensayos fueron realizados en diferentes años. Por lo tanto, es de importancia evaluar en qué medida contribuye cada variedad a estas interacciones, para seleccionar aquellas que contribuyan en menor magnitud y presenten a la vez el mayor rendimiento.

Plaisted y Peterson (6) adaptaron un método estadístico desarrollado por Horner y Frey (4) para obtener estimadores de la varianza variedades x localidades o componentes de interacción para cada variedad. Posteriormente

¹ Los autores agradecen al Ing. Agr., señor Primo Accatino, quien proporcionó los datos del presente trabajo. Recepción manuscrito: 7 de julio de 1969.

² Ing. Agr. Jefe Proyecto Estadística. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Casilla 5427, Santiago, Chile. Profesor de Estadística y Diseño Experimental, Facultad de Agronomía, Universidad Católica de Valparaíso.

³ Ph. D. Profesor de Estadística y Diseño Experimental, Universidad de Chile, Facultad de Agronomía. Consultor Estadística, Instituto de Investigaciones Agropecuarias.

Plaisted (7) modificó este procedimiento logrando resultados similares.

Wricke, citado por Tyson y Bradner (8), desarrolló un método más directo para calcular los componentes de la suma de cuadrados para la interacción variedades x localidades de cada variedad, la que se designó como "ecovalencias" (ecovalencias). Tyson y Bradner (8) aplicaron este último procedimiento a una serie de experimentos en lino.

Cochran y Cox (1) y Kempthorne (5) presentan una discusión de los principales problemas que surgen en el análisis de una serie de experimentos: (a) heterogeneidad de las varianzas del error, (b) heterogeneidad en la interacción y (c) diferente número de repeticiones. Ambos autores sugieren el análisis de la interacción mediante contrastes para probar la heterogeneidad de los componentes de interacción, lo que permitiría recomendar o no el uso del cuadrado medio de la interacción para probar la homogeneidad de las medias de tratamientos, en el caso de un modelo aleatorio para localidades.

En este trabajo se aplicarán algunos de estos procedimientos a un grupo de experimentos en variedades de papas.

Graybill (3) y Ehrenfeld y Littauer (2) presentan algunos métodos para probar hipótesis de componentes de varianzas y contrastes en un análisis de varianzas.

MATERIAL Y METODOS

Se analizaron 4 ensayos con 12 variedades de papas del Proyecto Papas del Instituto de Investigaciones Agropecuarias, correspondiente a la temporada 1966/67. Estos ensayos incluyeron las siguientes localidades: La Serena, Pirque, La Platina y Graneros. Los rendimientos se expresaron en quintales métricos por hectárea. Se procedió a calcular un análisis combinado para todos los experimentos, de acuerdo con Cochran y Cox (1) y se examinaron los requisitos para este tipo de cálculo antes de proceder a las pruebas de hipótesis respectivas.

Una vez calculada la interacción variedades x localidades y probada la significación, se procedió a calcular los componentes de la interacción para cada variedad por los siguientes tres métodos:

a) Método de Plaisted y Peterson, que consistió en los siguientes pasos:

- 1) Calcular un análisis combinado, tomando todos los pares de variedades que es posible formar, lo que da un total de $n(n-1)/2$ análisis. Para este caso de 12 variedades ($n = 12$) se obtienen 66 análisis. En cada análisis se igualan los cuadrados medios del error combinado y de la interacción a la esperanza de los cuadrados medios respectivos y se despeja el valor de $s^2 V_{xL}$ mediante la ecuación:

$$s^2 V_{xL} = (CM V_{xL} - CME)/r \quad (1)$$

donde $s^2 V_{xL}$ es el estimador de la varianza de la interacción variedades x localidades.

CMV_{xL} es el cuadrado medio de la interacción variedades por localidades.

CME es el cuadrado medio del error combinado.

- 2) El promedio de todos los valores de $s^2 V_{xL}$ en que interviene una variedad, con todas las demás, es el estimador de la interacción variedades x localidades para esa variedad. Este cálculo se repite para las demás variedades.
- 3) Cuando se tienen diferentes repeticiones en cada localidad se usa el valor:

$$r' = \frac{1}{h-1} \left(\sum r_i - \frac{\sum r_i^2}{\sum r_i} \right) \quad (2)$$

donde h es el número de localidades, y r_i es el número de repeticiones en la localidad i ésimas.

b) Método de Plaisted. Consistió en los siguientes pasos:

- 1) Se repite el análisis combinado total, eliminando sucesivamente una variedad diferente cada vez. Se obtienen tantos análisis combinados como variedades hay en el experimento.

- 2) Se igualan los cuadrados medios del error combinado y de la interacción con la esperanza de los cuadrados medios respectivos y se despeja $s^2 V_{xL}$, mediante la ecuación (1). En este caso, se estiman los componentes para cada variedad mediante los residuos. Es decir, a un residuo mayor corresponde un menor componente para la variedad eliminada en ese cálculo.

c) Método de Wricke. Consistió en los siguientes pasos:

- 1) Si se representa por X_{ij} el total de cada variedad en una localidad (sumadas las repeticiones) donde $i = 1, 2, \dots, t$ variedades $j = 1, 2, \dots, h$ localidades,

X_i es el total de la variedad i ésimas (sumadas todas las localidades). $X_{.j}$ es el total de la localidad j ésimas (sumadas todas las variedades). $X_{..}$ es el total general.

El componente de interacción (ecovalencia) se obtiene por la fórmula (para la variedad i ésimas).

$$\left(X_{ij} - \frac{X_i}{t} \right)^2 + \dots + \left(X_{ih} - \frac{X_i}{t} \right)^2 - \left(X_i - \frac{X_{..}}{t} \right)^2 / h \quad (3)$$

Los tres procedimientos fueron programados en FORTRAN IV, y procesados en computador IBM 360-40 de la Universidad de Chile.

Los componentes de la interacción variedades x localidades calculados por los procedimientos anteriores pueden ser obtenidos, ade-

Cuadro 1 — Promedios por localidades de 4 Ensayos de Variedades de papas. En qq/ha.

Variedades	LOCALIDADES			
	Pirque 1	Graneros 2	La Serena 3	La Platina 4
1. Patrones	277,78	387,61	73,50	176,29
2. Ultimus	385,25	431,18	152,20	427,10
3. Desiréc	415,01	492,78	182,87	447,93
4. Arka	340,61	426,67	155,09	410,27
5. Pimperl	326,55	392,12	140,63	223,57
6. Furore	336,47	298,97	101,27	269,24
7. Irene	247,19	435,69	83,33	185,10
8. Bintje	395,17	449,21	141,20	369,41
9. Radosa	372,85	247,89	114,01	298,89
10. Urgenta	238,92	235,87	93,75	278,86
11. Multa	300,10	384,61	148,73	393,44
12. Spartaan	348,05	407,14	164,35	333,51
Promedios	332,00	382,48	129,24	317,80
S _x	37,35	37,20	14,16	34,38
C. V.	11,25	9,72	10,96	10,82
N° Rep.	3	4	4	4
S _x (log x)	0,1097	0,1047	0,1275	0,1189

más, mediante contrastes ortogonales calculados a partir de la tabla de doble entrada de variedades y localidades. Este procedimiento permite una interpretación más clara del análisis y la aplicación de pruebas de significación más directas. Puesto que los resultados obtenidos por este último procedimiento son similares a los métodos anteriores, los autores sugieren su uso como un método optativo y el procedimiento de cálculo se da a continuación:

El método propuesto consiste en calcular una serie de contrastes de interacción con los totales de cada tratamiento en cada localidad. Los multiplicadores que se usarán, designados como k_{ij} se obtienen por el producto de ciertos contrastes entre variedades por otros contrastes entre localidades, designados como k_i y k_j , respectivamente. La suma de cuadrados de cada contraste para interacción será calculada como es habitual:

$$SCC = \frac{(\sum k_{ij} x_{ij})^2}{r \sum k_{ij}^2} \quad (4)$$

donde $k_{ij} = k_i k_j$

Los contrastes escogidos para variedades k_i dependen de cuál de los métodos anteriores se desea sustituir. Los contrastes entre localidades k_j escogidos serán los de efecto lineal, cuadrático, cúbico, etc. El número de contrastes de localidades será igual al número de grados libres para localidades. Para el producto de cada pareja de contrastes de localidades y variedades se calculará la suma de cuadrados componentes de interacción respectiva.

El método 3 usa la comparación de la variedad considerada en cada caso con el resto de las variedades, es decir, t contrastes. Los coeficientes usados para la variedad (1), por ejemplo, será $k = t-1, -1, \dots, -1$.

Estos k_i se multiplican por el efecto lineal de localidades, $k_j = -3, -1, 1, 3$. El producto de estos coeficientes permite calcular, mediante la fórmula (4), la suma de cuadrados para la variedad (1) lineal. En la misma forma se calculará para cuadrático, cúbico, etc. Su suma es el total del componente para la variedad (1). En la misma forma se procede para los componentes de las restantes variedades.

El método 1 usa como contrastes de variedades las comparaciones entre parejas de variedades, y para localidades los mismos que el método 3.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los promedios obtenidos por variedad en cada localidad se presentan en el Cuadro 1.

En el análisis de varianza combinado, Cuadro 2, se puede apreciar que existió poca diferencia entre las localidades aunque en La Serena los rendimientos fueron menores, debido a que en esta localidad la siembra fue de invierno. También se presenta el caso en que no hay homogeneidad en los errores experimentales, lo que indicó que los datos originales debieron ser transformados para hacer homogéneas las varianzas. En este caso se probó una transformación logarítmica de los datos originales, procedimiento que fue seguido y dio po-

Cuadro 2 — Análisis de varianza combinado para 4 Ensayos de variedades de papas.

F. V.	Grados libres	C. M.	E (CM)
Repeticiones/ localidades	11	917,79	
Varietades	11	45868,66**	
Localidades	3	583503,11**	
Varietades x localidades	33	9926,24** s ² + ks ²	V x L
Error	121	1008,03	

** Significativo al 1 por ciento.
s² V x L = 2388.

ca diferencia en los componentes, por lo cual se omitieron los detalles; en cambio, se obtuvieron varianzas homogéneas como se indica en el Cuadro 1. El análisis de varianza combinado indicó efectos significativos para variedades, localidades e interacción.

Los objetivos principales perseguidos en el análisis de una serie de experimentos de este tipo pueden resumirse en los siguientes puntos:

- Probar las diferencias entre variedades en cada localidad.
- Probar la interacción variedades x localidades.
- Probar la homogeneidad de los componentes de interacción.
- Probar las diferencias de variedades promediadas a través de localidades.

El caso a) no presenta mayores dificultades y, en este caso, es sólo una prueba de rutina. Al probar la interacción, se presentan dificultades en el caso de no haber homogeneidad en los errores experimentales en las diferentes localidades.

La prueba c) puede ser realizada por los procedimientos indicados en este trabajo. Las pruebas de hipótesis pueden ser realizadas en forma más directa sobre los valores obtenidos en el método (3), equivalentes a contrastes de interacción ortogonales.

Las diferencias significativas entre variedades promediadas a través de localidades pueden ser probadas mediante F, usando como denominador el cuadrado medio de la interacción variedades x localidades, considerando el modelo aleatorio para localidades, o bien, el cuadrado medio del error combinado, en el caso de localidades fijas.

En la selección de las localidades pueden presentarse las siguientes alternativas: (a) las localidades son muy diferentes entre sí, de tal manera que las variedades cambian su respuesta en forma significativa. En este caso, el modelo es fijo para localidades; (b) las localidades han sido seleccionadas dentro de ciertos

límites de condiciones ambientales, de tal manera que sólo cambia en forma fundamental la escala de respuesta, y las diferencias entre variedades se prueban en la población de localidades representadas en el estudio; (c) las localidades son de los dos tipos. En este caso sería recomendable efectuar análisis parciales con los dos tipos de localidades, o bien considerar un modelo aleatorio para el conjunto.

Los resultados para los tres métodos descritos se presentan en el Cuadro 3, junto con los promedios a través de localidades y los promedios ponderados para cada variedad. Los tres métodos dan los mismos resultados en cuanto al orden en que cada variedad contribuye a la interacción variedades x localidades. Sin embargo, la magnitud de esta contribución es muy diferente entre los métodos 1 y 2, comparados con el método 3. De acuerdo con estos resultados, las variedades de mayor consistencia fueron Spartaan, Bintje y Desirée. En cambio, las variedades Patrones, Radosa e Irene contribuyeron en mayor magnitud a la interacción. Se observa además que en general las variedades de mayor rendimiento fueron más consistentes en las diferentes localidades. Sin embargo, las variedades de mayor rendimiento y una componente de interacción alta tienen una interpretación difícil en cuanto a las recomendaciones que pueden hacerse en relación con otras variedades que presenten un rendimiento un poco menor y un componente más bajo. Por esta razón se propone el análisis de pares de variedades mediante la siguiente fórmula, para expresar un promedio ponderado por los componentes de interacción:

$$\bar{X}_p = \frac{\frac{\bar{X}_1}{S_1^2} + \frac{\bar{X}_2}{S_2^2}}{\frac{1}{S_1^2} + \frac{1}{S_2^2}} \quad (5)$$

\bar{X}_p , promedio ponderado

\bar{X}_1 , promedio de la variedad (1)

\bar{X}_2 , promedio de la variedad (2)

S_1^2 , componente de interacción de la variedad (1)

S_2^2 , componente de interacción de la variedad (2)

La fórmula (5) se aplicó para todos los pares de variedades y para cada variedad se promediaron estos valores en forma simple. Los resultados de este cálculo se presentan en el Cuadro 3.

El propósito del análisis descrito es el de obtener un valor representativo de la adaptabilidad de las variedades ensayadas, ponderando los promedios de las variedades a través de todas las localidades, en forma inversa a la componente localidades x variedades respectivas.

Por el procedimiento propuesto, se puede

Cuadro 3 — Componentes de la interacción variedades por localidades, por 3 procedimientos.

Variedad	Rendimiento Promedio (4 local.)	Componentes de la interacción variedades x localidades				Promedio ponderado.
		Método 1	Método 2	Método 3	Rango *	
1.	228,80	3233	2220	43395	10	280,13
2.	348,93	1817	2503	15607	6	327,20
3.	384,65	1701	2526	12547	3	349,49
4.	333,16	1785	2509	14320	5	320,00
5.	270,72	2454	2375	30098	8	290,63
6.	251,49	1774	2511	14214	4	277,24
7.	237,83	4659	1934	73493	12	286,82
8.	338,75	1421	2582	7185	2	328,64
9.	258,41	3972	2072	59389	11	289,62
10.	211,85	2676	2331	32432	9	270,97
11.	306,72	2098	2447	21715	7	304,82
12.	313,26	1074	2651	917	1	313,20
Promedios	287,606	2388,7	2388,7			

* Indica la ubicación en cuanto al componente de interacción.

observar que las variedades Desirée, Ultimus, Bintje, Arka, Spartaan y Multa, que ocupan los 6 primeros lugares en rendimientos, continúan como las mejores en sus promedios ponderados. Sólo la variedad Bintje sobrepasa a Ultimus en este último valor debido a su menor componente de interacción.

CONCLUSIONES

Dada la importancia que representa el estudio de variedades en localidades tanto desde el punto de vista agronómico como también por la mayor inversión en experimentación que requiere, el análisis de la información obtenida deberá ser cuidadosa y completa para lograr los objetivos deseados. No siempre las conclusiones son suficientemente claras a través del análisis usual. Por lo tanto, mediante algunos de los procedimientos indicados, se logrará suficiente información respecto al comportamiento de las variedades, lo que dará apoyo a las recomendaciones futuras. Sin embargo, la seguridad de esta recomendación estará supeditada a las localidades incluidas en el ensayo.

Es conveniente que se establezcan en forma

clara las suposiciones hechas en el modelo en lo referente a localidades, si son fijas o aleatorias, el error experimental en cada localidad, etc.

Los métodos propuestos son igualmente eficientes en la estimación de los componentes de interacción de cada variedad. Sin embargo, no es posible una prueba de hipótesis sobre estos componentes en todos los casos, excepto en el método de contrastes ortogonales. Además difieren en la complicación y extensión del análisis.

El procedimiento que se propone para combinar el promedio observado a través de todas las localidades y el componente de interacción de cada variedad tiene por objeto lograr un índice que revele la importancia que tiene la mayor o menor consistencia de una variedad en sus rendimientos promedios. Una inspección de los promedios ponderados permitirá ajustar los promedios varietales de manera más informativa. En el ejemplo se incluyeron todas las comparaciones entre variedades. Sin embargo, se sugiere este método tomando en cuenta solamente el grupo de variedades de mayor rendimiento.

RESUMEN

Se presentan varias soluciones para el análisis de la interacción variedades por localidades en una serie de experimentos. Se propone un método equivalente a los procedimientos citados en la literatura sobre este tema, basado en contrastes ortogonales a partir de los totales para cada variedad y cada localidad.

Los métodos descritos se aplicaron a un experimento en papas, que incluyó 12 variedades y 4 localidades.

Se propone un procedimiento para combinar los promedios observados a través

de todas las localidades y los componentes de interacción para ajustar los promedios observados de acuerdo a su mayor o menor consistencia.

SUMMARY

Various solutions for the analysis of the interaction variety x locality in a series of experiments are presented. A method is proposed which is equivalent to the cited procedures in the literature in this subject, based on orthogonal contrasts obtained from totals for each variety and locality.

The methods described were applied to an experiment in Potato which included 12 varieties and 4 localities.

A procedure is proposed for combining the observed means throughout all the localities and the components of interaction to adjust the observed means according to their higher or lower consistency.

LITERATURA CITADA

1. COCHRAN, W. G. and COX, G. M. *Experimental Design*. New York. John Wiley and Sons. 1957. 611 p.
2. EHRENFELD, S. and LITTAUER, S. B. *Introduction to Statistical Method*. New York. Mc. Graw-Hill. 1964. 533 p.
3. GRAYBILL, F. A. *An introduction to linear statistical models*. New York. Mc. Graw-Hill. 1957 Vol. I. 463 p.
4. HORNER, T. W. and FREY, K. J. Methods for determining natural areas for oat varietal recommendations. *Agron. Jour.* 49: 313-315. 1957.
5. KEMPTHORNE, O. *Design and analysis of experiments*. N. York. John Wiley and Sons. 1952. 631 p.
6. PLAISTED, R. L. and PETERSON, L. C. A technique for evaluating the ability of selections to yield consistently in different locations and seasons. *Am. Pot. J.* 36: 381-385. 1959.
7. PLAISTED, R. L. A shorter method for evaluating the ability of selections to yield consistently over locations. *Am. Pot. J.* 37: 166-172. 1960.
8. TYSON, H. and BRADNER, N. R. The interaction of variety and environment in flax trials. *Can. J. Pl. Sci.* 47: 441-445. 1967.