

ANÁLISIS MULTIVARIADO PARA RENDIMIENTO, FACTORES DE CLIMA Y PRUEBAS DE CALIDAD PANADERA DE GRUPOS DE TRITICALES SEMBRADOS EN DIFERENTES FECHAS Y AÑOS EN EL SUR DE CHILE¹

Multivariate analysis for yield, climatic factors and bread quality tests of groups of triticales sown in different dates and years in the south of Chile

Cristián Hewstone M.²

SUMMARY

Grain yield, days to heading, the sum of five climatic variables from sowing to heading and results of eight tests related to grain and bread quality were obtained from groups of triticales sown at Carillanca Exp. Sta., in May and August during four years, and their relations studied by means of the analysis of main factor and component.

Principal factor analysis retained three or four factors in the study of sowing dates and differences among years. Four factors were retained in the study of differences among sowing dates. Final commonality estimates were high, specially in climatic variables and days to heading.

Principal factor analysis relates days to heading and the sum of the five climatic variables in one factor, whose eigenvalues are very high, representing 31 to 59% of the total. This factor was called Time and a principal component analysis of these variables indicates that, in general, only one factor represents much of the variance.

A second factor, called "protein content and quality", relates the variables grain hardness, protein percentage and sedimentation value and, in a less clear way, water absorption in farinograph and loaf volume.

The others variables, grain yield, test weight, bread weight and W value of farinogram concentrates in factors three and four, but seems to perform independently of each other.

Key words: triticale, multivariate analysis, yield, climatic variables, bread quality.

INTRODUCCION

En la zona sur de Chile se está cultivando una superficie creciente de triticales, como resultado de la creación o introducción de cultivares adaptados a estas condiciones (Hewstone, 1990).

Los resultados de ensayos de rendimiento de la Estación Experimental Carillanca muestran que los triticales presentan ventajas importantes sobre los trigos en los aspectos de rendimiento, resistencia a enfermedades y tolerancia a condiciones ambientales desfavorables (Hewstone, 1986).

Parece conveniente estudiar, en esta nueva especie, aquellas variables que pueden incidir en su buena adaptación, así como las que pueden influir en el uso de su grano y que pudieran estar relacionadas con el primer grupo.

En un estudio de esta naturaleza se puede aprovechar la ventaja que ofrece el hábito alternativo de los cultivares y de la mayoría de las líneas avanzadas de triticales creados en Carillanca, así como de las condiciones ambientales de esta Estación Experimental, que permiten diferenciar dos períodos de siembra para materiales con este hábito de desarrollo (Hewstone, 1985).

Algunas técnicas del análisis multivariado ofrecen varias ventajas para este tipo de estudios, permitiendo, por una parte, trabajar con grupos de variables y por otra determinar las influencias

¹Recepción originales: 9 de julio de 1991.

El autor agradece a la Srta. María Graciela Márquez B., Estadístico, por su cooperación en la ejecución y revisión de este trabajo.

²Estación Experimental Carillanca, Casilla 58-D, Temuco, Chile.

subyacentes que las relacionan (Cattell, 1965). Algunas, como el análisis factorial y el de componentes principales, tienen además la ventaja de que no es necesario determinar dependencias entre variables, pudiendo ser considerada cada una de ellas como una variable dependiente que es regresionada sobre un grupo de factores no observados, independientes, cada uno de ellos siendo, a su vez, una función de todas las variables originales (Cooper, 1983). También es importante la disminución en el número de factores que expliquen una estructura dada de variancia-covariancia, mediante técnicas como el análisis de componentes principales (Kramer, 1978).

El análisis factorial se ha utilizado para calificar caracteres en el proceso de selección para rendimiento en trigo (Walton, 1971, 1972) y otras especies (Seiler y Stafford, 1985), como asimismo, para estudiar interrelaciones entre el rendimiento y aspectos morfológicos en trigo (Ledent, 1982). Otro aspecto en que se ha utilizado este análisis, es en el estudio de parámetros de calidad panadera y sus variaciones a través de años (Briggs y Shebeski, 1972). El análisis de componentes principales, a su vez, ha sido utilizado para definir grupos de ambientes en base a datos de rendimiento, duración de períodos vegetativo y reproductivo y sobrevivencia a frío invernal en ensayos internacionales de trigos de invierno (Peterson y Pfeiffer, 1989).

Este estudio hace un análisis de factores y de componentes principales sobre un grupo de variables de clima y calidad panadera, así como rendimiento, de grupos de cultivares y líneas avanzadas de triticales sembrados en diferentes años y fechas en la Estación Experimental Carillanca.

MATERIALES Y METODOS

En este estudio se han utilizado los resultados de ensayos de rendimiento de cultivares y líneas avanzadas de triticales, sembrados en la Estación Experimental Carillanca en cuatro años, 1987 a 1990 y en dos fechas de siembra cada año, mayo y agosto.

El número de cultivares o líneas avanzadas con información completa de pruebas de calidad panadera ha sido de 21, con excepción de 1989 en que sólo se cuenta con 20. En algunos de los años se repite, en forma completa a parcial, el conjunto de cultivares, lo que ha permitido establecer comparaciones entre años, además de las de fechas de siembra dentro de cada año.

Como variables, se ha considerado el rendimiento, el número de días desde siembra a 50% de espigadura (estado 55 de la escala decimal de desarrollo), la suma de cinco variables climáticas para el período siembra-50% espigadura y ocho variables correspondientes a pruebas relacionadas con calidad de grano y calidad panadera, efectuadas en el Laboratorio de Farinología de la Estación Experimental La Platina, según métodos de la American Association of Cereal Chemists, normas oficiales de Chile o técnicas desarrolladas en el propio Laboratorio.

Con esta información se completaron ocho matrices para fechas de siembra con los datos de los 20 ó 21 cultivares para las 15 variables. Las diferencias entre las siembras de invierno y primavera, dentro de cada año, permitieron formar cuatro matrices. Por último, con aquellos grupos de cultivares que se repitieron en más de un año, se formaron seis matrices de diferencias entre años, dentro de iguales fechas de siembra, cuatro de ellas con nueve cultivares y dos con veintiuno.

Las 18 matrices totales se sometieron a análisis factorial mediante un paquete estadístico SAS/STAT, edición 6.03, 1988. La variable días siembra-espigadura y las cinco de clima fueron sometidas a análisis de componentes principales mediante el mismo paquete estadístico.

RESULTADOS Y DISCUSION

Promedios y desviaciones estándares. Los promedios y desviaciones estándares para las 15 variables en los 4 años y 8 fechas de siembra, se exponen en el Cuadro 1. Se aprecia que los días siembra-espigadura y las 5 variables de clima son mayores en las siembras de mayo que en las de agosto, alcanzando en algunos casos a tres veces este último valor. Los promedios de rendimiento son, en general, altos y las cifras mayores por año se encuentran indistintamente en ambas épocas de siembra. Situación semejante ocurre en peso del hectolitro. Las variables relacionadas con calidad presentan valores superiores en la siembra de agosto, no siendo esta una norma general. Considerando que las siembras se efectúan bajo condiciones de secano, llama la atención las bajas cifras que alcanza en algunos años la suma de la precipitación en las siembras de agosto, aunque ello no se refleja en los promedios de rendimiento.

Análisis de factores principales. El análisis de factores principales de las 18 matrices de variables con los valores propios por factor, se exponen en el Cuadro 2. La relación entre los factores es muy

CUADRO 1. Promedio y desviación estandar de las variables en los diferentes años y fechas de siembra**TABLE 1. Mean and standard deviation of the variables in different years and sowing dates**

Abreviatura variable	Variable	1987				1988			
		22 mayo		19 agosto		25 mayo		4 agosto	
		Promedio	D.S.	Promedio	D.S.	Promedio	D.S.	Promedio	D.S.
Desp	Días siembra-espigadura	171,9	6,6	103,2	4,2	170,0	3,9	112,7	3,8
Temp5	* Suma temp. base 5 °C	792,6	54,4	675,9	43,9	610,0	31,3	585,3	32,3
Rad	* Suma radiación cal/cm ² /día	34.907,5	2.393,7	32.753,8	1.865,6	37.351,2	1.389,5	33.049,1	1881,9
H Sol	* Suma horas de sol	668,5	44,2	592,2	33,5	772,6	24,6	615,8	36,6
H Frío	* Suma horas de frío bajo 7 °C	1.069,5	11,9	464,2	3,8	1443,8	6,5	603,6	6,9
Pp mm	* Suma de lluvia en mm	789,4	13,5	257,7	1,3	725,3	2,2	415,0	0,2
Rend	Rendimiento en K/ha	6.588,8	1.159,1	7.772,8	992,7	9.122,4	938,1	6339,6	986,1
Peso hl	Peso del hectólitro en K/hl	73,3	2,3	76,4	2,3	76,4	2,6	72,0	3,6
Dureza	Índice de dureza del grano	37,4	5,1	30,7	4,1	30,4	3,6	30,2	3,8
Prot	Porcentaje de proteína del grano	7,9	1,0	9,7	0,7	9,3	0,6	10,8	0,7
Sed	Valor del test de sedimentación	13,2	2,3	18,9	2,7	17,1	3,2	21,0	3,0
W	Valor W del farinograma	33,2	3,6	34,8	6,6	33,0	6,7	40,0	10,4
Abs	% Absorción agua en farinogrado	58,4	2,3	59,0	1,7	60,0	1,7	59,6	1,7
Pan g	Peso del pan en gramos	136,3	2,7	137,4	1,4	138,5	2,0	138,3	1,8
Vol	Volumen del pan en cc	436,0	44,3	497,6	38,3	540,0	64,6	563,8	46,6

*Para el período siembra-espigadura.

Abreviatura variable	Variable	1989				1990			
		31 mayo		11 agosto		25 mayo		21 agosto	
		Promedio	D.S.	Promedio	D.S.	Promedio	D.S.	Promedio	D.S.
Desp	Días siembra-espigadura	158,8	4,3	100,3	4,0	161,8	6,0	97,8	3,5
Temp5	* Suma temp. base 5 °C	642,3	32,8	528,7	35,2	627,7	34,7	561,9	31,7
Rad	* Suma radiación cal/cm ² /día	32.052,5	1.475,5	30.020,9	1.816,3	28.146,3	1.731,4	26.341,3	1.426,6
H Sol	* Suma horas de sol	678,9	25,7	599,0	32,0	591,8	34,6	537,7	30,0
H Frío	* Suma horas de frío bajo 7 °C	1529,2	15,7	892,1	7,5	1.746,6	33,6	656,3	4,3
Pp mm	* Suma de lluvia en mm	836,3	7,3	306,5	0,7	860,8	19,4	394,8	3,8
Rend	Rendimiento en K/ha	6445,1	621,9	7.787,2	545,2	7.595,4	509,6	6.538,5	721,2
Peso hl	Peso del hectólitro en K/hl	75,7	2,4	77,0	2,7	75,7	2,2	75,5	2,5
Dureza	Índice de dureza del grano	32,6	5,2	31,8	5,9	31,8	4,6	28,0	2,1
Prot	Porcentaje de proteína del grano	8,2	0,9	9,3	0,8	9,0	0,6	10,0	0,6
Sed	Valor del test de sedimentación	11,9	2,3	14,4	2,6	12,0	2,7	17,7	4,1
W	Valor W del farinograma	21,5	6,2	21,0	9,3	32,7	8,7	34,4	8,3
Abs	% Absorción agua en farinogrado	60,5	3,7	60,8	5,2	60,8	3,2	58,1	2,4
Pan g	Peso del pan en gramos	133,7	3,1	134,8	3,1	130,0	3,3	134,5	3,2
Vol	Volumen del pan en cc	426,9	49,5	450,5	52,6	354,8	24,6	416,9	45,0

*Para el período siembra-espigadura.

semejante en los 18 casos, con un factor principal importante, que cubre sobre el 38% de la variancia y corrientemente sobrepasa el 50% de ella, alcanzando un 59% en un caso. Le sigue un segundo factor, con 12 a 25% de la variancia y un tercero con un nivel cercano al 10%.

Dos criterios se utilizaron para determinar el número de factores retenidos en cada análisis. El primero consistió en que a lo menos dos de las variables presentaran sus mayores números-pesos en el último factor seleccionado. El segundo criterio fue retener los factores con valores propios de la matriz de

CUADRO 2. Valores propios de la matriz de correlación reducida, con indicación del porcentaje de la variancia explicada por cada factor. Sólo se muestran 6 factores y la línea separa los factores retenidos.

TABLE 2. Eigenvalues of the reduced correlation matrix, with indication of the percentage of the variance explained by each factor. Only 6 factors are shown and the line separates retained factors

Fechas de siembra												
Factor	22 mayo 1987		25 mayo 1988		31 mayo 1989		25 mayo 1990					
	Valor	%	Valor	%	Valor	%	Valor	%				
1	7,2676	56,7	7,1910	53,7	7,7519	58,0	7,5935	54,3				
2	2,3679	18,5	1,6209	12,1	2,3199	17,3	2,4173	17,3				
3	1,2970	10,1	1,3633	10,2	1,3750	10,3	1,4593	10,4				
4	0,7575	5,9	0,9386	7,0	0,8660	6,5	0,9478	6,8				
5	0,5950	4,6	0,8977	6,7	0,4597	3,4	0,5588	4,0				
6	0,3993	3,1	0,6894	5,1	0,3530	2,6	0,4290	3,1				
Factor	19 agosto 1987		4 agosto 1988		11 agosto 1989		21 agosto 1990					
	Valor	%	Valor	%	Valor	%	Valor	%				
1	6,4177	47,9	6,2925	47,1	8,4062	59,4	8,0451	59,6				
2	2,5602	19,1	2,2794	17,0	1,8618	13,2	1,9662	14,6				
3	1,0863	8,1	1,6978	12,7	1,3362	9,5	1,2851	9,5				
4	0,9300	6,9	1,1600	8,7	0,8642	6,1	0,8970	6,6				
5	0,8951	6,7	0,9283	6,9	0,6285	4,4	0,5931	4,4				
6	0,6798	5,1	0,4341	3,3	0,5396	3,8	0,3987	3,0				
Diferencias entre fechas de siembra dentro de años												
Factor	Mayo-agosto 1987		Mayo-agosto 1988		Mayo-agosto 1989		Mayo-agosto 1990					
	Valor	%	Valor	%	Valor	%	Valor	%				
1	6,0671	45,0	5,2063	39,1	5,0926	38,4	5,4094	41,3				
2	2,2100	16,4	2,4569	18,4	2,4967	18,1	3,0589	23,3				
3	1,7119	12,8	1,8011	13,5	1,9875	15,0	1,3645	10,4				
4	1,2212	9,1	1,1837	8,9	1,3575	0,2	0,9364	7,1				
5	0,9138	6,8	0,8991	6,7	1,2775	9,6	0,8533	6,5				
6	0,5569	4,1	0,6487	4,9	0,6145	4,6	0,7168	5,5				
Diferencias entre años dentro de fechas de siembra												
Factor	Mayo 88- mayo 89		Mayo 88- mayo 90		Mayo 89- mayo 90		Agosto 88- agosto 89		Agosto 88- agosto 90		Agosto 89- agosto 90	
	Valor	%	Valor	%	Valor	%	Valor	%	Valor	%	Valor	%
1	4,7273	31,5	5,7215	38,1	5,1796	41,7	7,0736	47,2	6,7528	45,0	4,9710	37,6
2	3,0412	20,3	2,8845	19,2	3,1625	25,5	2,9702	19,8	3,0320	20,2	3,3149	25,1
3	2,5093	16,7	2,2053	14,7	1,3337	10,7	2,0894	13,9	1,9789	13,2	1,9169	4,5
4	1,7601	11,7	1,9128	12,8	1,0452	8,4	1,2733	8,5	1,2064	8,0	1,6958	12,8
5	1,1821	7,9	0,9856	6,6	0,5789	4,7	0,8351	5,6	0,9647	6,4	0,7307	5,5
6	1,1230	7,5	0,7921	5,3	0,5615	4,5	0,4664	3,3	0,5836	3,9	0,3331	2,5

correlación reducida superiores a 1, el que no se cumplió en cuatro casos en que se incluyó el valor inmediatamente inferior, en atención al primer criterio. Cabe hacer notar, que la variancia mínima explicada por los factores retenidos alcanzó 77,9% de la variancia total y en 12 casos superó al 82% de ella.

Fueron retenidos cuatro factores en 11 de los 18 casos y tres factores en 7. En todos los años se

retuvo el mismo número de factores en ambas fechas de siembra y todas las diferencias entre fechas coinciden en retener 4 factores. Las diferencias entre años, dentro de fechas de siembra retienen 3 ó 4 factores, sin un patrón determinado.

Comunalidades estimadas. Las comunalidades finales, estimadas para el número de factores retenidos, se exponen en el Cuadro 3. En general,

CUADRO 3. Análisis de factores principales: comunalidades finales estimadas para las variables en las distintas épocas y diferencias entre épocas y años

TABLE 3. Principal factor analysis: final communality estimates of the variables for sowing seasons and differences between seasons any years

Epocas y Diferencias	Nº de Variedades	Desp	Temp5	Rad	H Sol	H Frío	Pp mm	Rend	
Mayo 1987	21	0,9944	0,9919	0,9921	0,9872	0,9741	0,9412	0,7118	
Mayo 1988	20	0,9678	0,9713	0,9849	0,9844	0,9705	0,8004	0,7814	
Mayo 1989	21	0,9791	0,9712	0,9682	0,9329	0,9129	0,8790	0,8205	
Mayo 1990	21	0,9905	0,9713	0,9840	0,9659	0,9666	0,9171	0,3011	
Agosto 1987	21	0,9885	0,9845	0,9851	0,9837	0,9107	0,6526	0,6041	
Agosto 1988	20	0,9900	0,9877	0,9825	0,9770	0,9650	0,7448	0,7065	
Agosto 1989	21	0,9744	0,9714	0,9753	0,9693	0,9063	0,8786	0,5895	
Agosto 1990	21	0,9855	0,9919	0,9905	0,9789	0,9270	0,8493	0,2696	
Mayo 87-agosto 87	21	0,9905	0,8755	0,9328	0,9357	0,8734	0,8450	0,6345	
Mayo 88-agosto 88	20	0,8782	0,9263	0,9697	0,9349	0,7718	0,7783	0,8013	
Mayo 89-agosto 89	21	0,9821	0,9637	0,9334	0,9112	0,8363	0,8306	0,4416	
Mayo 90-agosto 90	21	0,9897	0,9428	0,9676	0,9340	0,8439	0,7446	0,6363	
Mayo 88-mayo 89	9	0,9177	0,7910	0,9505	0,9111	0,8199	0,6169	0,5026	
Mayo 88-mayo 90	9	0,9616	0,9253	0,9355	0,8965	0,9339	0,8249	0,8606	
Mayo 89-mayo 90	21	0,9785	0,5970	0,8963	0,8814	0,9146	0,6405	0,5001	
Agosto 88-agosto 89	9	0,9861	0,9785	0,9738	0,8723	0,9366	0,6779	0,8736	
Agosto 88-agosto 90	9	0,9863	0,9785	0,9676	0,9316	0,9276	0,8493	0,7337	
Agosto 89-agosto 90	21	0,9806	0,9347	0,9950	0,9650	0,6410	0,7701	0,8042	
Epocas y Diferencias	Nº de Variedades	Peso hl	Dureza	Prot	Sed	W	Abs	Pan g	Vol
Mayo 1987	21	0,6289	0,6683	0,6956	0,6530	0,3275	0,7172	0,8278	0,5785
Mayo 1988	20	0,6059	0,4849	0,7064	0,5774	0,6758	0,2225	0,6132	0,7666
Mayo 1989	21	0,1816	0,7765	0,8639	0,7769	0,9153	0,4451	0,4201	0,6030
Mayo 1990	21	0,3282	0,8227	0,7341	0,6595	0,5566	0,7538	0,6945	0,8236
Agosto 1987	21	0,7110	0,5215	0,7529	0,8775	0,5412	0,7256	0,3981	0,3564
Agosto 1988	20	0,7234	0,5416	0,9212	0,5204	0,6669	0,5845	0,6170	0,5005
Agosto 1989	21	0,6740	0,8599	0,6967	0,3238	0,8554	0,8159	0,4974	0,6159
Agosto 1990	21	0,7804	0,7024	0,7818	0,7796	0,7125	0,5942	0,3863	0,5659
Mayo 87-agosto 87	21	0,5748	0,4614	0,7104	0,8762	0,7393	0,4061	0,5406	0,8210
Mayo 88-agosto 88	20	0,7389	0,6309	0,5474	0,4202	0,6167	0,6374	0,5467	0,4486
Mayo 89-agosto 89	21	0,5589	0,7646	0,8919	0,5666	0,4194	0,7951	0,3306	0,7078
Mayo 90-agosto 90	21	0,3884	0,8388	0,7167	0,8486	0,3572	0,4196	0,5557	0,5848
Mayo 88-mayo 89	9	0,9220	0,7375	0,8783	0,6227	0,8807	0,8711	0,8805	0,7351
Mayo 88-mayo 90	9	0,6049	0,5850	0,8377	0,9331	0,6519	0,9489	0,9256	0,8981
Mayo 89-mayo 90	21	0,5184	0,8686	0,6952	0,6195	0,1269	0,3152	0,6511	0,4718
Agosto 88-agosto 89	9	0,6176	0,8052	0,5784	0,8110	0,8819	0,6005	0,8310	0,7082
Agosto 88-agosto 90	9	0,2016	0,4995	0,7651	0,8456	0,8352	0,6489	0,8020	0,7904
Agosto 89-agosto 90	21	0,7491	0,8326	0,6986	0,7957	0,6029	0,7034	0,5339	0,8913

ellas son altas o muy altas, sobresaliendo en este sentido, así como por la constancia de las cifras, las variables días a espigadura (Desp), temperatura base 5 °C (Temp5), radiación (Rad), horas de sol (H Sol) y horas de frío (H Frío).

Mayor variación, aunque todavía con valores altos, se encuentra en la variable lluvia o precipitación (Pp mm). Valores algo menores, pero todavía bastante estables, se encuentran en las variables dureza (Dureza), proteína (Prot) y sedimentación (Sed), presentando los restantes mayor variabilidad, con algunos valores muy bajos. La suma de las comunalidades en los diferentes análisis alcanza entre un 77,9 y un 91,2% de la comunalidad estimada *a priori*, con una media de 83,1%, para los 18 análisis.

Las bajas comunalidades encontradas en algunas variables y análisis implican, como contraparte, una alta unicidad, que no es posible distribuir en sus componentes de especificidad y error, pero cuyo conocimiento ayudaría a entender mejor los aspectos estudiados. La presencia de baja comunalidades en la variable rendimiento en ambas fechas de siembra en 1990, pareciera indicar la acción de variables ajenas a las aquí consideradas, especialmente si se las compara con las correspondientes a 1989, cuyos cultivares son los mismos.

Las bajas comunalidades encontradas ocasionalmente en algunas variables de calidad, parecen no tener relaciones o patrones fijos que puedan explicarlas.

Rotación de factores. El análisis estadístico de factores principales utilizado, permite trabajar dos tipos de rotaciones, con el fin de facilitar la interpretación de las variables. La rotación VARIMAX mantiene la independencia de los factores, mientras la PROMAX considera algún nivel de correlación entre ellos. En los 18 análisis efectuados, la suma de la variancia, explicada por los factores retenidos, fue mayor con la rotación PROMAX que con la VARIMAX, con un promedio 11,4% superior. Sin embargo, la composición de variables por factor, calificada por sus números peso, se mantiene igual entre ambos sistemas de rotación, lo que pudiera atribuirse al bajo nivel de correlación determinado entre factores según el método PROMAX, como se aprecia en el Cuadro 4. Por tal razón, y considerando la complejidad adicional que implica la correlación interfactores en un análisis de factores principales, se ha preferido utilizar la información del método VARIMAX en el estudio particular de los factores.

CUADRO 4. Análisis de factores principales: máxima correlación interfactores en método Promax de rotación.

TABLE 4. Principal factor analysis: highest interfactor correlation in rotation method Promax

Análisis	Correlación máxima
Mayo 1987	0,40624
Mayo 1988	-0,35598
Mayo 1989	-0,31485
Mayo 1990	-0,30594
Agosto 1987	-0,52596
Agosto 1988	0,33349
Agosto 1989	0,38162
Agosto 1990	-0,22476
Mayo 87 - agosto 87	0,31197
Mayo 88 - agosto 88	0,22030
Mayo 89 - agosto 89	-0,33520
Mayo 90 - agosto 90	-0,33180
Mayo 88 - mayo 89	-0,17012
Mayo 88 - mayo 90	0,22062
Mayo 89 - mayo 90	0,19199
Agosto 88 - agosto 89	0,14715
Agosto 88 - agosto 90	-0,32384
Agosto 89 - agosto 90	0,13755

Factor 1. En el Cuadro 5, se exponen aquellas variables cuya mayor carga factorial está representada en el factor 1. Se aprecia que la variable días de siembra a espigadura, así como las sumas de temperatura sobre 5 °C, Rad y H Sol, en todos los análisis, integran el factor 1 y con números peso usualmente cercanos a 1. Una condición similar se aprecia para la variable sumas de H Frío bajo 7 °C, que en sólo dos análisis no integra este factor. Un caso más acentuado lo presenta la suma de lluvias, con 6 análisis no integrando el primer factor.

Estas dos últimas variables de clima, a diferencia de las anteriores, agregan sumandos cada vez más espaciados a medida que avanza la primavera, con lo cual se tienden a agrupar las variedades en torno a un menor número de valores. Este efecto se puede acentuar cuando se calculan diferencias entre matrices, especialmente si el número de variedades es bajo, como en los casos de diferencias entre años, que incluyen al año 1988, con sólo nueve variedades. Una situación similar se da en las diferencias entre épocas para la variable suma de lluvias en los años 1988 y 1989 y en las diferencias entre años ya mencionadas.

CUADRO 5. Análisis de factores principales: cargas factoriales de las variables incluidas en el factor 1. Rotación Varimax

TABLE 5. Principal factor analysis: factor loadings of the variables included in factor 1. Varimax rotation

Epoocas y Diferencias		Desp	Temp5	Rad	H Sol	H Frío	Pp mm	Rend
Mayo 1987		0,96011	0,95705	0,96688	0,96444	0,97268	0,96167	
Mayo 1988		0,95379	0,94674	0,97186	0,96786	0,97644	0,74854	
Mayo 1989		0,96023	0,94875	0,96325	0,95207	0,95377	0,86002	
Mayo 1990		0,98743	0,97972	0,98147	0,95947	0,95630	0,95062	-0,44019
Agosto 1987		0,97747	0,97519	0,97983	0,97896	0,89872	0,67002	
Agosto 1988		0,98528	0,98114	0,97535	0,96523	0,95936	0,51721	
Agosto 1989		0,96231	0,95985	0,96543	0,96271	0,91703	0,89627	-0,46038
Agosto 1990		0,97583	0,97118	0,96766	0,95682	0,94465	0,89075	
Mayo 87-agosto 87		0,98045	0,89537	0,90610	0,90345	0,91966	0,85246	
Mayo 88-agosto 88		0,92772	0,95407	0,87665	0,80378	0,84150		
Mayo 89-agosto 89		0,97075	0,97043	0,95938	0,94178	0,76594		
Mayo 90-agosto 90		0,98241	0,91973	0,96585	0,95722	0,71966	0,72668	
Mayo 88-mayo 89		0,95106	0,86416	0,96918	0,94840			
Mayo 88-mayo 90		0,96727	0,75081	0,87055	0,90515	0,87095	0,71589	
Mayo 89-mayo 90		0,98439	0,73902	0,94091	0,93797	0,93948	0,72593	
Agosto 88-agosto 89		0,99103	0,97905	0,98520	0,90226			-0,80047
Agosto 88-agosto 90		0,94335	0,91975	0,81438	0,69027	0,85954		
Agosto 89-agosto 90		0,97910	0,96502	0,98315	0,97855	0,67066		

Epoocas y Diferencias		Peso hi	Dureza	Prot	Sed	W	Abs	Pan g	Vol
Mayo 1987							-0,61940		
Mayo 1988							0,33389		0,61072
Mayo 1989		-0,41394	0,79507				-0,5381		
Mayo 1990		-0,48897				0,55352			
Agosto 1987									
Agosto 1988									0,56557
Agosto 1989							-0,72946		0,68476
Agosto 1990					0,80865	0,75705			0,57705
Mayo 87-agosto 87									
Mayo 88-agosto 88			0,64599		-0,59705				
Mayo 89-agosto 89								-0,41274	
Mayo 90-agosto 90									
Mayo 88-mayo 89					0,58560				0,68049
Mayo 88-mayo 90			-0,66889		0,66557				
Mayo 89-mayo 90									
Agosto 88-agosto 89			-0,71229	0,59758		-0,71246	0,59883		
Agosto 88-agosto 90							0,77947		
Agosto 89-agosto 90									

El agrupamiento de todas estas variables en un sólo factor, casi como un bloque, puede estar condicionado por la forma en que se extraen los datos. En efecto, al obtenerse los días desde siembra a espigadura, para cualquier variedad, automáticamente quedan determinadas las sumas para los factores climáticos, formando verdaderos bloques de información que sólo se rompen en forma

ocasional cuando se establecen diferencias entre matrices y sólo para aquellos factores como horas de frío y lluvia que tiene la particularidad señalada anteriormente. Esta situación se comprueba con un análisis de componentes principales para las seis variables y los 18 casos, cuyos resultados se exponen en el Cuadro 6. Se aprecia que en todas las siembras de mayo y en 2 de agosto, el primer

CUADRO 6. Análisis de componentes principales de las variables de clima y días a espigadura, valores propios de la matriz de correlaciones para los tres primeros factores y porcentaje de la variancia acumulada

TABLE 6. Principal component analysis of the 5 climatic variables and days to heading. Eigenvalues of the correlation matrix for three factors and percentage of cumulative variance

Análisis	Factor 1	% Acumulado	Factor 2	% Acumulado	Factor 3	% Acumulado
Mayo 1987	5,88921	98,154	0,07883	99,467	0,02566	99,895
Mayo 1988	5,56022	92,670	0,36344	98,728	0,06870	99,873
Mayo 1989	5,60879	93,480	0,21841	97,120	0,13940	99,443
Mayo 1990	5,79671	96,612	0,12746	98,736	0,07121	99,923
Agosto 1987	5,35547	89,258	0,49222	97,461	0,14751	99,920
Agosto 1988	5,11996	85,333	0,84141	99,356	0,03378	99,919
Agosto 1989	5,76508	96,085	0,17654	99,027	0,05711	99,979
Agosto 1990	5,69527	94,021	0,22531	98,676	0,07175	99,872
Mayo 87-agosto 87	5,13428	85,571	0,72336	97,627	0,11390	99,526
Mayo 88-agosto 88	4,32571	72,095	1,27958	93,421	0,31665	98,699
Mayo 89-agosto 89	4,42632	73,772	1,34975	96,268	0,18249	99,309
Mayo 90-agosto 90	4,84857	80,810	0,99174	97,338	0,14542	99,762
Mayo 88-mayo 89	3,80490	63,415	1,52560	88,842	0,61107	99,026
Mayo 88-mayo 90	4,44329	74,055	1,25423	94,959	0,27796	99,591
Mayo 89-mayo 90	4,72020	78,670	0,75224	91,207	0,40246	97,915
Ago. 88-agosto 89	4,03326	67,221	1,04651	84,663	0,79817	97,966
Ago. 88-agosto 90	5,02295	83,716	0,66599	94,816	0,25864	99,126
Ago. 89-agosto 90	4,33686	72,281	1,35460	94,858	0,23471	98,770

factor explica sobre el 92% de la variancia. En agosto de 1987 la correlaciones de la variable Pp mm con las restantes (información no mostrada), son moderadas y en agosto de 1988, más bajas que las anteriores. En los análisis de diferencias entre épocas, esta misma variable presenta correlaciones negativas y bajas con las restantes en 1988 y también en 1989. En esta última temporada, las correlaciones de la variable H Frío son moderadas. En los análisis de diferencias entre años, las variables Pp mm y H Frío presentan correlaciones bajas, algunas negativas en la diferencia mayo 88-mayo 89, al igual que en la diferencia agosto 88-agosto 89. Los restantes valores bajos se explican de forma similar por fluctuaciones de las correlaciones de una o ambas variables con las restantes. De esta manera, prácticamente toda la variancia de este grupo de variables se puede explicar por uno o, a lo sumo, dos componentes principales.

Naturalmente que este análisis hace dudar de la conveniencia de emplear de esta manera a este grupo de variables en el análisis de factores principales. En efecto, si bien todas ellas corresponden a un factor subyacente, esta dependencia puede estar originada por el período para el cual se extraen los datos de las variables. Evidentemente

el factor principal que las relaciona es el tiempo y así podría denominarse al factor. Hasta qué punto se confunde con la variable días de siembra a Desp, cuyos datos determinan la magnitud de las variables de clima, es una interrogante que debe dilucidarse, ya sea estudiando la reducción del número de variables, viendo su efecto en genotipos aislados o seleccionando otros períodos de desarrollo de los cultivares.

Volviendo al análisis del factor 1 en el Cuadro 5, la relación del grupo de variables analizadas anteriormente con las restantes parece más efecto del azar que de una condición definida. Posiblemente habría que estudiar con más detención la incorporación de la variable volumen de pan (Vol) en este factor que aunque aparece en pocos casos, las siembras de agosto forman un grupo más consistente, aunque en las dos últimas temporadas se trata del mismo grupo de cultivares y pudiera haber cierto efecto del grupo de genotipos. Las otras variables o presentan cargas factoriales de distintos signos o aparecen muy pocas veces. Parece interesante el caso de la variable rendimiento, que *a priori* se pensaría que integraría el mismo factor que las variables climáticas, y, sin embargo, sólo aparece en tres ocasiones con signos negativos y en dos de ellas con bajas cargas

factoriales. Esto pudiera deberse, por una parte, a que el largo del período vegetativo no tiene relación directa con el rendimiento en los grupos de variedades estudiadas, a que la sumatoria de las variables climáticas cubre un período demasiado largo y sus variaciones no afectan el rendimiento o, por último, a que hay condiciones extrañas a las variables consideradas y que se relacionan más que éstas con el rendimiento.

En apoyo de la primera hipótesis está el que en dos de los años el rendimiento mayor se encuentra

en la siembra de agosto. La segunda ya ha sido discutida al tratar las variables climáticas y la tercera, pudiera estar relacionada con las condiciones de humedad de suelo en la Estación Experimental Carillanca, que mantiene altos contenidos de humedad corrientemente hasta cerca de la espi-gadura. Estudios con genotipos individuales pudieran dar más claridad al respecto.

Factor 2. Los resultados de las cargas factoriales de las variables incluidas en el factor 2 se exponen en el Cuadro 7. Las variables que aparecen con

CUADRO 7. Análisis de factores principales: cargas factoriales de las variables incluidas en el factor 2. Rotación Varimax

TABLE 7. Principal factor analysis: factor 1 of the variables included in factor 2. Varimax rotation

Epocas y Diferencias	H Frio	Pp mm	Rend	Peso hl	Dureza	
Mayo 1987					-0,79691	
Mayo 1988						
Mayo 1989			0,87672			
Mayo 1990					-0,79648	
Agosto 1987					-0,60237	
Agosto 1988			-0,47324	-0,74478		
Agosto 1989					0,82704	
Agosto 1990					0,82405	
Mayo 87-agosto 87						
Mayo 88-agosto 88		-0,8589				
Mayo 89-agosto 89					-0,76404	
Mayo 90-agosto 90				0,56028	-0,77787	
Mayo 88-mayo 89	0,73006	0,57894	0,64227		0,77182	
Mayo 88-mayo 90						
Mayo 89-mayo 90					-0,86984	
Agosto 88-agosto 89		0,78700				
Agosto 88-agosto 90		0,73759		0,36361	-0,66495	
Agosto 89-agosto 90		0,79189			-0,90821	
Epocas y Diferencias	Prot	Sed	W	Abs	Pan g	Vol
Mayo 1987	0,78954	0,74637				
Mayo 1988	0,55249	0,69592			0,75252	
Mayo 1989	0,72827		-0,71445			
Mayo 1990				0,72952	0,81276	
Agosto 1987	0,83631	0,70758				0,47671
Agosto 1988	0,90100	0,55343				
Agosto 1989	-0,70015		0,69568			
Agosto 1990	0,77687			0,54046		
Mayo 87-agosto 87	0,72065	0,89929		0,44566		0,61509
Mayo 88-agosto 88			0,73828			
Mayo 89-agosto 89	0,92240	0,66930				0,64543
Mayo 90-agosto 90		0,83499		0,63753		
Mayo 88-mayo 89				-0,80865		
Mayo 88-mayo 90			0,72281			0,92000
Mayo 89-mayo 90		0,78225		0,54795	0,75578	0,58412
Ago. 88-agosto 89		0,70207				0,78116
Ago. 88-agosto 90	-0,69526				0,88339	0,88421
Ago. 89-agosto 90	0,58680	0,81127		0,73326		

mayor frecuencia son: Dureza, Prot y Sed y, en un nivel algo inferior, absorción (Abs) y volumen (Vol). Las tres primeras, coinciden entre sí en el mismo análisis en más del 50% de los casos. Dureza, corrientemente, presenta signos opuestos al de las otras, mayoritariamente negativo, debiendo recordarse que esta variable se obtiene por extracción en un perlador, de manera que a mayor índice, menor dureza. La asociación entre estas tres variables se refuerza con la información entregada en el Cuadro 5, para el primer factor, y en un caso en el Cuadro 8, con las cargas factoriales incluidas en el factor 3. En consecuencia, parece corresponder al segundo factor este trío de variables y su asociación podría estar condicionada por el contenido y calidad de proteínas, que pudiera constituirse en su nombre. Por la frecuencia con que aparecen y la asociación que manifiestan con una o más de estas variables, podrían pasar a constituir este segundo factor las variables Abs y Vol, que también presentan asociaciones en los cuadros 5 y 8. Las restantes variables aparecen más bien en forma ocasional y no se pueden incluir como componentes del factor. Llama también la atención la independencia entre este segundo factor y el primero, de cuyas variables climáticas se podría suponer alguna influencia.

Factor 3. Los resultados de las cargas factoriales incluidas en el factor 3 se exponen en el Cuadro 8. Tres variables aparecen frecuentemente representadas: rendimiento (Rend), peso del hectolitro (Peso hl) y peso del pan (Pan g). Las dos primeras, coinciden en 7 oportunidades de 8 posibles. La variable Pan g, sin embargo, se presenta en casi el 50% de los casos no coincidiendo con las otras, situación también encontrada en los cuadros 5 y 7, lo que parece dejarla aislada de las otras.

Las variables Rend y Peso hl presentan distintos signos en la mayoría de los casos, pero en dos de ellos el mismo, en un caso del Cuadro 5 y en un caso en el Cuadro 9, que presenta los resultados para el cuarto factor. Esto pone en duda la existencia de un factor común que las relacione. Corroborada esta impresión la aparición independiente de ambas variables en el estudio del factor 2, Cuadro 7, así como la dispersión que presentan en todos los factores. Es posible que esta situación pudiera estar influenciada en cierta medida por el comportamiento de la variedad Calbuco-INIA en relación a las restantes, ya que se distingue de éstas por su rendimiento muy alto, que no siempre se ha manifestado en los experimentos estudiados, y por su bajo peso del hectolitro, ocasionado por su grano grande, algo chupado, típico de triticale, a diferencia de las restantes, cuyo grano es de forma semejante al de trigo.

Factor 4. En el Cuadro 9 se presentan las cargas factoriales de las variables incluidas en el factor 4. La variable valor W del farinograma (W), predomina en número de inclusiones, pero no parece tener relación fija con alguna de las otras y tampoco parece presentarla en los cuadros correspondientes a otros factores. Con excepción de la relación mencionada para Rend y Peso hl y las de Abs y Vol mencionadas en el análisis del factor 2, la aparición de las restantes parece más un efecto del azar que de tendencias definidas.

Se tendría así un primer factor, Tiempo que relaciona las variables días siembra-espigadura (Desp), temperatura base 5 °C (Temp 5), suma Rad, H sol, H frío y Pp mm y cuyos beneficios, en cuanto a su uso quedan cuestionados por la forma en que se obtienen los datos para estas variables, lo que las hace funcionar como un bloque, así como por la independencia que mantiene en relación a variables como rendimiento. Un segundo factor, contenido y calidad de proteínas, relaciona las variables Dureza, Prot y Sed y, con alguna menor seguridad, a las variables Abs y Vol.

En el tercer factor aparecen las variables Rend, Peso hl y Pan g que, dadas las asociaciones que presentan entre sí y los signos cambiantes de ellas, parecen responder más bien a factores independientes, al igual que la variable W, que es la que menos asociaciones presenta. Esta independencia podría estar influida por la presencia de genotipos distintos, que reaccionan de diferente manera a los análisis de calidad panadera.

CONCLUSIONES

- Las quince variables estudiadas se relacionan con no más de cuatro factores principales.
- El número de factores retenidos es el mismo para la siembra de mayo y de agosto en cada año.
- Las diferencias entre fechas de siembra dentro de año, presentan cuatro factores retenidos y las diferencias entre años dentro de fechas se agrupan en tres o cuatro.
- La comunalidad de las variables es, en general, muy alta, especialmente en las climáticas y días de siembra a espigadura.
- Las rotaciones VARIMAX y PROMAX agrupan a las mismas variables en cada factor, determinándose bajas correlaciones entre éstos en el último método.

CUADRO 8. Análisis de factores principales: cargas factoriales de las variables incluidas en el factor 3. Rotación Varimax

TABLE 8. Principal factor Analysis: factor loadings of the variables included in factor 3. Varimax rotation

Epocas y Diferencias	H Frio	Rend	Peso hl	Dureza	Prot
Mayo 1987		-0,63805	0,64442		
Mayo 1988		-0,54529	0,76679		
Mayo 1989					
Mayo 1990					0,84215
Agosto 1987		0,52167	-0,60090		
Agosto 1988				0,68927	
Agosto 1989					
Agosto 1990		0,38669	0,88248		
Mayo 87-agosto 87				0,63967	
Mayo 88-agosto 88		0,86514	0,73207		-0,66292
Mayo 89-agosto 89			0,69569		
Mayo 90-agosto 90					0,76768
Mayo 88-mayo 89			0,94272		
Mayo 88-mayo 90		-0,87167	0,75068		
Mayo 89-mayo 90		0,68868	-0,50062		0,60201
Ago. 88-agosto 89	0,86657		0,75380		
Ago. 88-agosto 90		0,83809			
Ago. 89-agosto 90			0,81243		

Epocas y Diferencias	Sed	W	Abs	Pan g	Vol
Mayo 1987		0,54540			
Mayo 1988					
Mayo 1989	0,77979			0,63071	0,72332
Mayo 1990	0,76828				0,81828
Agosto 1987			0,76489		
Agosto 1988		0,65262	-0,73140		
Agosto 1989	0,56908			-0,67408	
Agosto 1990				-0,61930	
Mayo 87-agosto 87		0,74195		-0,58285	
Mayo 88-agosto 88			0,68305		
Mayo 89-agosto 89				-0,74489	
Mayo 90-agosto 90					
Mayo 88-mayo 89				0,87895	
Mayo 88-mayo 90				0,85053	
Mayo 89-mayo 90		-0,27238			
Agosto 88-agosto 89				0,77045	
Agosto 88-agosto 90	0,72533	0,88329			
Agosto 89-agosto 90		-0,61771		-0,57482	

- El primer factor, al que se le ha denominado Tiempo, engloba a las cinco variables climáticas y a la de días de siembra a espigadura, con valores propios muy altos, corrientemente superiores al 45% de la variancia.

- Un análisis de componentes principales efectuado a las variables indicadas en el punto anterior, destaca usualmente la presencia de un solo factor, generalmente con sobre el 80% de la variancia.

- El segundo factor principal engloba a las variables dureza de grano (Dureza), porcentaje de proteína (Prot) y sedimentación (Sed) y se le ha denominado contenido y calidad de proteína. Las variables absorción de agua en farinografo (Abs) y volumen de pan (Vol), se asocian a este segundo factor, aunque no tan claramente como las anteriores.

- En el tercer y cuarto factor aparecen las variables rendimiento (Rend), peso del hectolitro (Peso hl),

CUADRO 9. Análisis de factores principales: cargas factoriales de las variables incluidas en el factor 4. Rotación Varimax

TABLE 9. Principal factor analysis: factor loadings of the variables included in factor 4. Varimax rotation

Epoas y Diferencias	Pp mm	Rend	Peso hl	Dureza	Prot	W	Abs	Pan g	Vol
Mayo 1987								0,77582	
Mayo 1988				0,62921		0,76841			
Agosto 1987						0,68553		-0,62945	
Agosto 1988			0,83069					0,72440	
Mayo - agosto 87		0,79348	0,71504						
Mayo - agosto 88							0,77559	0,60007	0,65779
Mayo - agosto 89	-0,69844	0,58125				0,60373			
Mayo - agosto 90		0,67253				0,56073			-0,53877
Mayo 88-mayo 89					0,77645	0,89906			
Mayo 88-mayo 90					-0,91166		0,96345		
Ago. 89-agosto 90		-0,83525							0,89266

peso del pan en gramos (Pan g) y valor W del farinograma (W), pero cuyo nivel de asociación en un solo factor común, es dudoso, pareciendo estar influenciadas más bien por factores independientes entre sí.

- La independencia de la variable rendimiento y de algunas pruebas de calidad panadera, en relación

al primer factor, que agrupa a las variables climáticas, podría deberse al período que cubre la información climática, a la composición de los grupos de cultivares en relación a potencial de rendimiento y período vegetativo, o al efecto de otras variables ambientales no consideradas en el estudio.

RESUMEN

Se utilizó información de rendimiento de grano, largo del período vegetativo desde siembra a espigadura, la suma de cinco variables de clima para este período y resultados de ocho pruebas de calidad panadera para estudiar sus relaciones, mediante análisis de factores y de componentes principales, en grupos de cultivares sembrados en la Estación Experimental Carillanca del INIA en mayo y agosto, durante cuatro años.

El método de estimación de análisis de factores principales retuvo tres o cuatro factores en el estudio de las fechas de siembra y en las diferencias entre años. Cuatro factores fueron retenidos en el estudio de las diferencias entre fechas. Las comunales finales estimadas son muy altas, especialmente en las variables de clima y días desde siembra a espigadura.

El método de análisis de factores principales agrupa a las variables largo del período vegetativo y las cinco climáticas en un primer factor, cuyos valores propios son muy altos y representan entre un 31 y 59% del total.

A este factor se le ha denominado Tiempo y, sometidos sus datos a un análisis de componentes principales, generalmente un sólo factor representa la mayor parte de la variancia.

Un segundo factor, denominado "contenido y calidad de proteínas", relaciona las variables dureza del grano, porcentaje de proteína y valor de sedimentación y, en forma menos clara, a absorción de agua en el farinografo y volumen del pan.

Las restantes variables, rendimiento, peso del hectolitro, peso del pan y valor W del farinograma, se concentran principalmente en los factores 3 y 4, pero corrientemente no forman parte del mismo grupo y, consecuentemente, no parece apropiado agruparlas en un sólo factor.

Palabras claves: triticales, análisis multivariado, rendimiento, variables climáticas, calidad panadera.

LITERATURA CITADA

- BRIGGS, K.G and SHEBESKI, L.H. 1972. An application of factor analysis to some breadmaking quality data. *Crop Science* Vol. 2: 44-46.
- CATTELL, R.B. 1965. Factor analysis: an introduction to essentials .I. The purpose and underlying models. *Biometrics*, march 1965: 190-215.
- COOPER, J.C.B. 1983. Factor analysis: an overview. *The American Statistician*, Vol. 37 (2): 141-147.
- HEWSTONE M., CRISTIAN. 1990. Triticale Investigation in Chile 2nd. International Triticale Symposium, Passo Fundo, Brasil, Octubre 1-5, 1990. Abstracts: 76.
- HEWSTONE M., CRISTIAN. 1986. Avances en el mejoramiento de triticales para la zona sur de Chile. *Simiente* 56 (3-4): 139-145.
- HEWSTONE M., CRISTIAN. 1985. Análisis relacionados con el hábito de desarrollo alternativo en variedades de trigo de la Est. Exp. Carillanca. *Agricultura Técnica (Chile)* 45: 129-134.
- KRAMER, C. Y. 1978. An overview of multivariate analysis. *J. Dairy Sci.* 61: 848-854.
- LEDENT, J.F. 1982. Morphology and yield in winter wheat grown in high yielding conditions. *Crop Science* 22: 1.115-1.120.
- PETERSON, C.J. and PFEIFFER, W.H. 1989. International winter wheat evaluation: relationships among test sites based on cultivar performance. *Crop Sci.* 29: 276-282.
- SEILER, G.J. and STAFFORD, R.E. 1985. Factor analysis of components of yield in guar. *Crop Sci.* 25: 905-908.
- WALTON, P. D. 1972. Factor analysis of yield in spring wheat (*Triticum aestivum* L.). *Crop Sci.* 12: 731-733.
- WALTON, P.D. 1971. The use of factor analysis in determining characters for yield selection in wheat. *Euphytica* 20: 416-421.