

DETERMINACION DE LOS EFECTOS RELATIVOS DIRECTOS E INDIRECTOS DE  
LOS COMPONENTES SOBRE EL RENDIMIENTO DE TRIGO.<sup>1</sup>

PACCAPELO, H.A. y Héctor O. LORDA<sup>2</sup>

RESUMEN

Desde el punto de vista predictivo de la selección en un Programa de Mejoramiento Genético es importante conocer como al seleccionar un componente del rendimiento se modifica otro correlacionado con él; especialmente las correlaciones negativas pueden neutralizar el esfuerzo del mejorador. En trigo, se evaluó la contribución directa y relativa de caracteres supuestamente asociados al rendimiento de grano, a través de un modelo simplificado de causas-efectos. Se encontraron asociaciones positivas entre: macollos fértiles y rendimiento ( $r=0,49^{**}$ ); macollos fértiles y altura de planta ( $0,29^{**}$ ); número de granos en la espiga principal y rendimiento ( $0,25^{**}$ ); macollos fértiles y número de granos de la espiga principal ( $0,24^{**}$ ); espiguillas fértiles y granos por espiga ( $0,22^{*}$ ); espiguillas fértiles y rendimiento ( $0,19^{*}$ ); macollos fértiles y espiguillas fértiles ( $0,18^{*}$ ); espiguillas fértiles y altura de planta ( $0,14^{*}$ ) y altura de planta y rendimiento ( $0,12^{*}$ ).

Macollos fértiles vs. rendimiento presentó un efecto directo positivo y significativo ( $P=0,4452$ ) e independencia con el número de espiguillas fértiles y granos en la espiga principal y éstos entre sí; la determinación genética solo explica un 26,5% del rendimiento de una planta. Un modelo más complejo no arrojó mayores explicaciones. Se sugiere profundizar este estudio con la inclusión de caracteres más complejos.

---

1. Facultad de Agronomía de la UNLPam. CC159 (6300) Santa Rosa.  
2. Docentes de la Cátedra de Mejoramiento Genético de Plantas y Animales.

DETERMINATION OF DIRECT AND INDIRECT EFFECTS OF COMPONENTS ON  
WHEAT YIELD

SUMMARY

In predicted sight of selection in a Genetic Development Program is important to know how selection through just one - component modifies another correlated with it; mainly negative correlations that can neutralized the breeder's effort. Direct and indirect contribution of some characters have been evaluated on wheat with the assumption of their association to final grain yield. It was accomplished through a simplified cause-effects model. Possitive and significant associations have been found between: tillers fertile per plant and yield (0,49\*\*) tillers fertile per plant and height (0,29\*\*), grain per spike and yield (0,25\*\*); tillers fertile and grain per spike (0,24\*\*); spikelets per spike and grain per spike (0,22\*); spikelets per spike and yield (0,19\*); tillers fertile and spikelets per spike (0,18\*); spikelets per spike and height (0,14\*) and plant height and yield (0,12\*).

Tillers fertile and yield showed direct, possitive and significant effect ( $P=0,4452$ ). It resulted independent of spikelets per spike and grain per spike as much as between them. Genetic determination just explained 26,5% of total variation of individual yield in a single plant.

A model more complex do not contribute with aditional information. It sugested to go deep into this study, including - morphological characters.

## INTRODUCCION

Cuando se estudian características de productividad, asociadas con una baja heredabilidad, suele intentarse una selección indirecta a través de los componentes de rendimiento. Estos, por lo general, al estar menos influenciados por el ambiente tienen mayores heredabilidades. Cuando se analiza el rendimiento, se supone la existencia de algún grado de correlación entre sus componentes.

GRAFIUS (1956) tras estudiar los componentes de rendimiento encuentra una aproximación denominada cubo o volumen de rendimiento cuyos ejes representan los componentes primarios; el rendimiento estaría determinado por el producto de los tres componentes considerados. Un incremento en cualquiera de los tres determinará un aumento total, siempre y cuando no haya una disminución correspondiente en los otros dos componentes.

Desde el punto de vista predictivo de la selección es importante saber cómo al seleccionar por una característica se modifica otra que está correlacionada con ella. Estas correlaciones, especialmente las negativas, pueden neutralizar los esfuerzos del mejorador.

Las correlaciones simples, ampliamente utilizadas en la investigación de los componentes de rendimiento, no siempre resultan suficientemente informativas acerca de la relación funcional entre componentes de diferente jerarquía y el producto final (MARIOTTI, 1986).

LI (1964) propone la metodología de partición del coeficiente de correlación en efectos directos e indirectos del componente sobre las variaciones del carácter complejo dependiente. Al efecto directo se lo conoce como coeficiente de sendero ("path-coefficient").

McNEAL (1978) correlaciona seis características de la planta con el rendimiento por planta en las generaciones  $F_2$  y  $F_3$  de un cruzamiento de trigos y observa que sólo el número de granos por planta estuvo altamente asociado con el rendimiento en ambas generaciones.

JOHNSON et al (1966, cit por McNEAL 1978) enfatiza que el incremento en el nivel del rendimiento es progresivamente más difícil de obtener y que la evaluación de componentes de rendi

miento sería una mejor base de evaluación de las progenies que el mismo rendimiento. Asimismo KNOTT y TALUKDAR (1971) y LEB-SOCK y AMAYA (1969) citado por McNEAL (1978) sugieren que el incremento en rendimiento se podría lograr seleccionando por el peso de los granos. McNEAL (1978) concluye que la selección por un componente de rendimiento puede incrementarlo pero un apreciable incremento sólo resultará de un mejoramiento con comitante de todos los componentes del rendimiento; por ello - deben de considerarse simultáneamente a través de por ejemplo un índice de selección.

ADAMS (1967) explica las diferencias anuales en la selección por macollaje mediante el modelo de expresión oscilatoria de los componentes de rendimiento en respuesta al estrés ambiental. ROSSI y col. (1986) observan una tendencia a la asociación negativa entre componentes primarios del rendimiento tal como lo observara ADAMS (1967).

La falta de información bibliográfica respecto a la herencia de los caracteres y del ambiente en los cuales se realizan los trabajos de selección impiden sacar conclusiones de los componentes de rendimiento.

En este trabajo se pretende determinar los efectos directos e indirectos de los componentes de rendimiento sobre éste en una colección de trigo pan (Triticum aestivum L.) difundidos en la subregión triguera V sur.

## MATERIAL Y METODOS

El ensayo se condujo en el campo experimental de la Facultad de Agronomía de la U.N.L.Pam en la campaña 1987 en parcelas de 1,32 m<sup>2</sup> y con una densidad de 72 plantas por metro cuadrado. Se sembró el 11 de junio y en la disposición de un diseño estadístico de bloques al azar con tres repeticiones. Las variedades que integran el experimento fueron Klein Criollo, Buck Puará, Victoria INTA, Buck Napostá, Buck Pangaré, Las Rosas INTA, Bordenave Puán, Cooperación Cabildo, Cooperación Bahía y Cooperación Nanhíhue.

A la madurez, 20 plantas de los tres surcos centrales de cada parcela, se evaluaron en las siguientes características: número de macollos fértiles por planta (MF), longitud de la espiga principal (LE), número de espiguillas fértiles en la espiga principal (EF), número de granos en la espiga principal (GE),

altura de la planta (AP), peso de un grano (PG) y rendimiento de granos por planta (Y). De esta manera se dispusieron de 60 e datos por cada genotipo.

Se estableció el coeficiente de correlación simple ( $r$ ) entre todos los caracteres enunciados y en base a los datos conjuntos de todos los cultivares participantes (600 datos). Asimismo, se formuló la ecuación de correlación múltiple para la estimación de Y.

En base a los resultados de la matriz de correlación se determinó un modelo de relaciones causales tomando en cuenta la significación estadística entre pares de caracteres.

Se analizaron los efectos relativos directos e indirectos de las causas postuladas a través de la metodología del coeficiente de sendero (Li, 1950). En el modelo se consideró aquellas variables que tuvieron una correlación significativa con el rendimiento, esto es: MF, EF y GE.

## RESULTADOS Y DISCUSION

En el CUADRO 1 se muestran las correlaciones simples entre los pares de caracteres medidos y en base a su significación estadística se determinó el modelo causa-efecto mostrado en la FIGURA 1, con aquellos coeficientes que superaron la significancia del 0.05.

El procedimiento utilizado permite descomponer la correlación fenotípica entre un componente (p.e=MF) y el rendimiento de granos (Y) en un efecto directo ( $P_{MF}$ ) y en efectos indirectos (vía EF y GE). El efecto directo puede interpretarse como una correlación parcial entre MF e Y una vez excluidos los efectos de EF y GE.

La partición de efectos directos e indirectos de los componentes sobre el producto final puede efectuarse a partir de la resolución de un sistema de ecuaciones que tendrá tantas incógnitas como componentes investigadas (CUADRO 2). Se cuantifican los valores de las incógnitas:  $P_1 = 0,445$ ;  $P_2 = 0,1250$  y  $P_3 = 0,082$ , en donde se derivan los efectos directos e indirectos incluidos en el cuadro. Asimismo, se indica la fórmula que permite hallar el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) indicativo del porcentaje de incidencia de los componentes en el rendimiento por planta, según el método abreviado propuesto por Snedecor

22

(1948). El valor obtenido de 0,265 (26,5%) aportado por el sistema considerado no constituye una determinación satisfactoria e indica independencia entre los componentes. La falta de descripción del rendimiento por medio del  $R^2$  en un 100% determina que debe incluirse un componente  $R_e$  para considerar los efectos residuales no previstos en el sistema. Debe considerarse que éstos factores residuales son, además, independientes de los considerados en el sistema, por lo que se pueden estimar como  $P_{R_e}^2 = 1 - R^2$  (Mariotti, 1986). Se encontró que los efectos residuales (73,5%) explican en gran medida los rendimientos. Se consideran efectos residuales tanto aquellos factores desconocidos como los medidos, o no considerados al formular el modelo.

El análisis de los datos indica que el número de macollos fértiles es el componente que hace un aporte evidente y de significación ( $P_1 = 0,4452$ ) en cambio los otros dos no contribuyen al rendimiento por planta ( $P_2 = 0,125$  y  $P_3 = 0,082$ ) Hsu y Walton (1971) y Rossi y col (1986) obtienen resultados en los que éste componente es el de mayor contribución aunque otros no coinciden en ésta afirmación (Mc Neal y col 1978). Se debe considerar que las relaciones alométricas entre los componentes establecen una cierta plasticidad que les permite variaciones en diferentes ambientes de expresión (Mariotti, 1986). Graffius (1956) llama "matriz de coacción" a esa plasticidad y considera que la misma tiene una expresión inversamente proporcional a la proximidad ontogénica de los componentes involucrados. Las coacciones se diluyen en los componentes que se alejan en el tiempo o en el espacio para su expresión.

Un modelo más complejo (FIGURA 2), donde intervienen todas las características medidas, permite llegar a las mismas conclusiones. El CUADRO 3 describe los valores de los efectos directos e indirectos correspondientes.

## CONCLUSIONES

Tanto el modelo simplificado como aquel que incorpora todos los caracteres medidos, permiten concluir que: A) existiría independencia entre macollos fértiles, espiguillas fértiles y el número de granos en la espiga principal (modelo I) así co-

mo entre éstos y longitud de la espiga, altura de planta y peso de granos (modelo II). Su contribución sólo explica una mínima parte de los rendimientos por planta ( $R^2=26,5\%$ ) B) El elevado efecto del componente residual ( $R_e$ ) indicaría la falta de componentes importantes en el sistema, que deberían incorporarse al estudio.

## BIBLIOGRAFIA

- ADAMS, M.W. 1967. Basis of yield component compensation in crop plants with special reference to the field bean, *Phaseolus vulgaris*, Crop Sci. 7:505-510.
- GRAFIUS, J.E. 1956. Components of yield in oats: A geometrical interpretación. Agron.Jour. 48:419-423.
- LI, C.C. 1964. The concept of path-coefficient and its impacts on population genetics. Biometrics, 12, 190-210.
- MARIOTTI, J.A. 1986. Fundamentos de Genética Biométrica. Aplicaciones al mejoramiento genético Vegetal. Monografía 32. Secretaría Gral. de la O.E.A., Washington D.C., 152 p.
- MCNEAL C.C. y col. 1978. Selection for yield components in wheat. Crop Sci. 18, 795-799.
- ROSSI, D.; GIMBATTI, C. y M. KOMOROVSKI, 1986. Efectos directos e indirectos de los componentes de rendimiento en trigo pan. Primer Congreso Nacional de Trigo. AIANBA, Pergamino. Capítulo I: 213-221.
- SNEDECOR G.W. 1948. Método de Estadística. Tr. A.E.Marino.Acme Agency, Buenos Aires, R.A. (557 p.).

CUADRO 1: Matriz de correlación simple entre diversos caracteres de la planta de trigo.

	MF	LE	EF	GE	AP	PG	Y
MF		-0,02	0,18*	0,24*	0,29**	0,04	0,49**
LE			0,02	0,05	0,05	-0,01	-0,004
EF				0,22*	0,14*	0,00	0,19*
GE					-0,01	-0,03	0,15**
AP						0,04	0,12*
PG							0,02

Significación estadística: 5% (\*) = 0,1946

1% (\*\*) = 0,2540

MF = número de macollos fértiles por planta

LE = longitud de la espiga principal

EF = número de espiguillas fértiles en la espiga principal

GE = número de granos en la espiga principal.

AP = altura de la planta

PG = peso de un grano

Y = rendimiento de grano por planta.



CUADRO 2. Sistema de ecuaciones y efectos directos e indirectos en la determinación del rendimiento en trigo.

Ecuaciones

$$MF = 0,49 = P_1 + 0,24 P_2 + 0,18 P_3$$

$$EF = 0,25 = 0,24P_1 + P_2 + 0,22 P_3$$

$$GE = 0,19 = 0,18P_1 + 0,22 P_2 + P_3$$

Efectos sobre el rendimiento.

	<u>MF</u>	<u>EF</u>	<u>GE</u>
Directos	0,4452	0,0824	0,1250
Indirectos			
via MF		0,0801	0,1068
via EF	0,0148		0,0181
via GE	0,0300	0,0275	
$r_G$	0,4900	0,1999	0,2499

Determinación del sistema

$$R^2 = r_{MF} \times P_{MF} Y + r_{EF} Y \times P_{EF} + r_{GE} y \times P_{GE}$$

$$R^2 = (0,49 \times 0,4452) + (0,19 \times 0,0824) + (0,25 \times 0,1250) = 0,2650$$

$$P_{ReY}^2 = 1 - R^2 = 1 - 0,2650 = 0,7350$$

## CUADRO 3.

Efectos directos e indirectos en la de  
terminación del rendimiento de trigo.  
(modelo II)

=====	
MF vs. Y	
Efecto directo	0,451200
Efecto indirecto vía LE	0,000035
Efecto indirecto vía EF	0,015264
Efecto indirecto vía GE	0,029544
Efecto indirecto vía AP	-0,006293
Efecto indirecto vía PG	0,000260
<hr/>	
r	0,490016
LE vs. Y	
Efecto directo	-0,001700
Efecto indirecto vía MF	-0,009024
Efecto indirecto vía EF	0,001696
Efecto indirecto vía GE	0,006155
Efecto indirecto vía AP	-0,001085
Efecto indirecto vía PG	-0,000065
<hr/>	
r	-0,004088
EF vs. Y	
Efecto directo	0,084800
Efecto indirecto vía LE	-0,000034
Efecto indirecto vía MF	0,081216
Efecto indirecto vía GE	0,027082
Efecto indirecto vía AP	0,003038
Efecto indirecto vía PG	0
<hr/>	
r	0,190026
GE vs. Y	
Efecto directo	0,123100
Efecto indirecto vía EF	0,018656
Efecto indirecto vía LE	-0,000085
Efecto indirecto vía MF	0,108288
Efecto indirecto vía AP	-0,003038
Efecto indirecto vía PG	0,000325
<hr/>	
r	0,247246

CUADRO 3 (Continuación)

=====

AP vs Y	
Efecto directo	-0,021700
Efecto indirecto vía PG	0,000260
Efecto indirecto vía GE	0,017234
Efecto indirecto vía EF	0,011872
Efecto indirecto vía LE	-0,001085
Efecto indirecto vía MF	0,130848
<hr/>	
r	0,137429

PG vs Y	
Efecto directo	0,006500
Efecto indirecto vía AP	0,000868
Efecto indirecto vía GE	0,006155
Efecto indirecto vía EF	0
Efecto indirecto vía LE	0,000017
Efecto indirecto vía MF	0,018048
<hr/>	
r	0,029852

Determinación del sistema

$$R^2 = r_{MF} \times P_{MF} + r_{LE} \times P_{LE} + r_{EF} \times P_{EF} + r_{GE} \times P_{GE} + r_{AP} \times P_{AP} + r_{PG} \times P_{PG} =$$

$$R^2 = 0,2655$$

$$P_{RY}^2 = 0,7345$$

=====

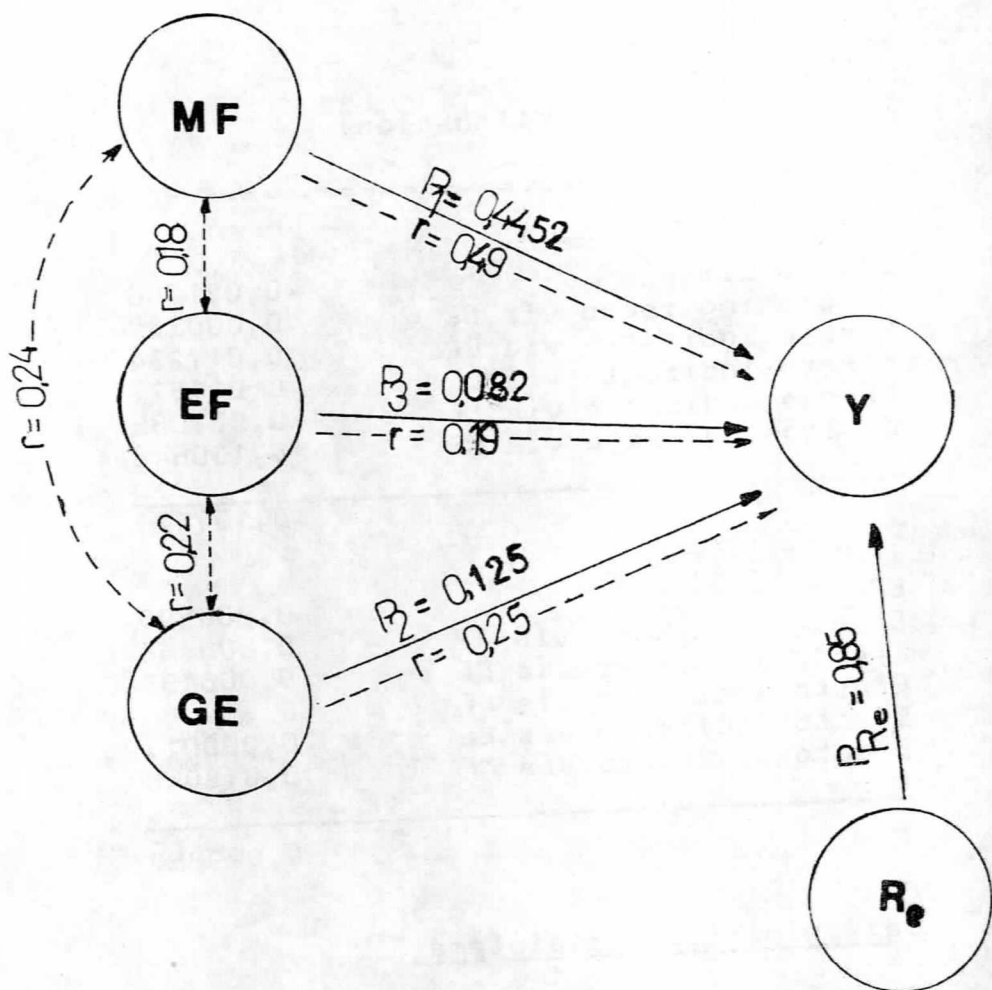


FIGURA 1 = Efectos directos y correlaciones entre algunos componentes y el rendimiento individual en trigo.

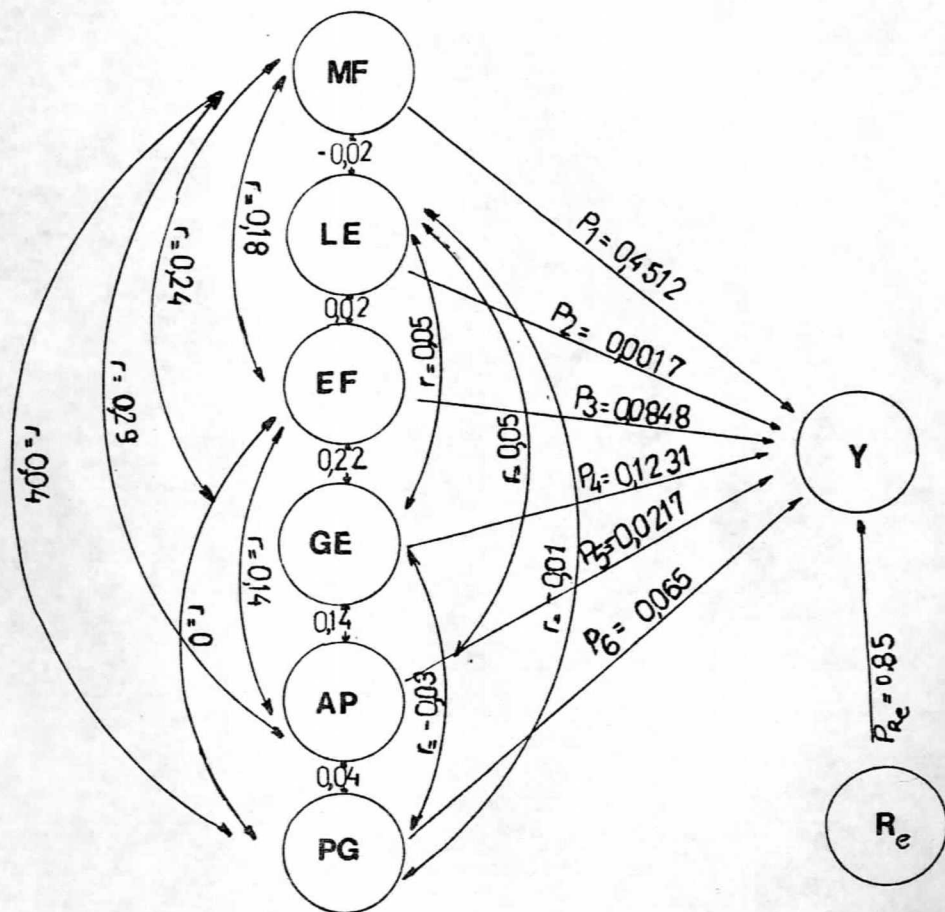


FIGURA 2- Efectos directos e indirectos entre caracteres de la planta de trigo en su relación con el rendimiento de grano.