

HEREDABILIDAD DEL INDICE DE COSECHA EN TRIGO (*Triticum aestivum* L.) Y SU RELACION CON TRES COMPONENTES DE RENDIMIENTO¹

ANTONIO BOLAÑOS A.², RODRIGO BRITTO M.²

Resumen. El presente trabajo se realizó en el Centro de Investigación Obonuco, Pasto, entre los años 1985 y 1987 con el objeto de determinar la heredabilidad en sentido amplio, ganancia genética, correlaciones fenotípicas y efectos genéticos que contribuyen a la expresión de cada uno de los siguientes caracteres: rendimiento biológico, rendimiento económico, índice de cosecha, número de macollas efectivas por planta, número de granos por espiga y peso de 1.000 granos en las generaciones P₁, P₂, F₁, F₂, BC₁, y BC₂ derivadas de seis cruces realizados entre cinco variedades o líneas de trigo ICA-Susatá, L-23 Nariño 85A, L-29 Nariño 85A, ICA-Yuriyá y Grano de Oro; las tres primeras consideradas como de altos rendimientos (progenitores femeninos) y las dos últimas como poco rendidoras (progenitores masculinos).

El peso de 1.000 gramos presentó el promedio más alto de heredabilidad (51,37%). El cruzamiento 1 (Susatá/yuriyá) dió las heredabilidades más altas para rendimiento biológico y económico, número de macollas efectivas y peso de 1.000 granos; y los cruzamientos 4 y 2 para índice de cosecha y número de granos por espiga, respectivamente.

Predominaron los efectos genéticos aditivos y dominantes para el peso de 1.000 gra-

nos, rendimiento biológico, número de macollas efectivas y número de granos por espiga. El rendimiento económico en cuatro de los seis cruzamientos mostró valores no significativos de efectos genéticos aditivos y dominantes y para índice de cosecha los efectos aditivos fueron los más importantes.

En general la ganancia genética fue baja para el número de macollas efectivas y el número de granos por espiga. El rendimiento biológico en el cruce 1 presentó la mayor ganancia genética además del rendimiento económico, peso de 1.000 granos y número de macollas efectivas.

El índice de cosecha está correlacionado positiva y significativamente con el rendimiento económico, número de macollas efectivas, número de granos por espiga y peso de 1.000 granos; la asociación entre el índice de cosecha y el rendimiento biológico no fue tan contundente y se encontró únicamente en el cruzamiento 5. En general las otras características están correlacionadas entre sí a excepción de la asociación entre el número de macollas efectivas y el peso de 1.000 granos que únicamente se presentó en los cruzamientos 1 y 6.

Abstract. This research was carried out at the experiment station Obonuco, Pasto, from 1985 to 1987 with the purpose to determine heritability in broad sense, genetic gain, phenotypic correlations and genetic effects of the following characteristics: biological yield, economic yield, harvest index, number of effective tillers per plant, kernels per spike number, and 1000-seed weight among generations P₁, P₂, F₁, F₂, BC₁, and BC₂, of six crosses executed among five lines or varieties: ICA-Susatá, L-23 Nariño 85A,

¹ Contribución del Departamento de Fisiología de Cultivos, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional - Bogotá. Resumen de la Tesis de Grado presentada por el autor principal para optar al título de Magister Scientiae. Facultad Agronomía U.N. Bogotá.

² Respectivamente: Jefe Grupo Satélite de Trigo. ICA-CI-Obonuco, Pasto y Jefe grupo Multidisciplinario de Trigo. ICA-CI-Tibaitatá, Apartado Aéreo 151123, Bogotá.

L-29 Nariño 85A, ICA Yuriyá and Grano de Oro.

The first three genotypes, females, have showed a high yielding potential while the last two varieties, males, had a low-yielding potential under Nariño conditions.

The 1000-seed weight was the characteristic which showed the highest heritability in broad sense with 51.37% . The cross 1 ICA Susatá/Yuriyá) gave the highest heritabilities for biological and economic yield, number of effective tillers and 1000-seed weight and the crosses 4 and 2 for harvest index and kernels per spike number, respectively.

Additive and dominant genetic effects were the most predominant for 100-seed weight, biological yield, number of effective tillers and kernels per spike number. Additive and dominant genetic effects for economic yield were not significant in four of the six crosses while the additive genetic effects were the most important for harvest index.

In general, the genetic gain was low for the number of effective tillers and the kernels per spike number. The biological yield along with economic yield, 1000-seed weight and number of effective tillers of the cross 1 exhibited the greatest genetic gain.

The harvest index was positive and significantly correlated with economic yield, number of effective tillers per plant, kernels per spike number and 1000-seed weight. However, the association between the harvest index and the biological yield was not so clear and it was only observed in the cross 5. The other characters were correlated among them with exception of the association between the number of effective tillers and the 1000-seed weight which was only valid in the crosses 1 and 6.

INTRODUCCION

El aumento de la producción total de trigo ha sido siempre preocupación constante de los productores colombianos ya que ésta sólo cubre el 10% de las necesidades del país. Esto puede lograrse con el incremento

del área sembrada o del rendimiento por unidad de superficie.

Por la gran ocupación de la tierra en la región Andina con los diferentes cultivos y explotaciones pecuarias, especialmente en la ganadería de leche, quizás la segunda es la mejor alternativa, que puede lograrse no sólo con el mejoramiento genético del rendimiento en sí o de sus componentes sino también a través del mejoramiento de otras características como sucedió con las variedades mexicanas que una reducción en la altura de la planta trajo consigo un mayor rendimiento y un mayor número de granos por espiga. (Borlaug, 1970).

Sin embargo, en los últimos años muchos investigadores han expresado que un mayor progreso en el rendimiento se obtendría a través del mejoramiento del índice de cosecha que según Donald y Hamblin (1967) es la relación del peso del grano "rendimiento económico" (Ye) con respecto al peso seco total "rendimiento biológico" (Yb). Pero, para poder aprender a manipular esta característica en un programa de mejoramiento, es importante conocer su genética y su expresión bajo condiciones locales, que ayuden a establecer los mejores métodos de selección.

Por tal motivo, se emprendió el presente estudio que tuvo como objetivos generales determinar la heredabilidad del rendimiento biológico (Yb), rendimiento económico (Ye), índice de cosecha (IC), número de macollas efectivas por planta, número de granos por espiga y peso de 1000 granos; los efectos genéticos que contribuyen a la expresión de estos caracteres y las correlaciones existentes entre ellos.

MATERIALES Y METODOS

La presente investigación se realizó en el Centro de Investigación Obonuco, del Instituto Colombiano Agropecuario, ICA, en el municipio de Pasto (Nariño), localizado a una altura de 2710 m.n.s.m., con una temperatura media de 13.5°C y una precipitación primedia anual de 840 m.m.

El material experimental se derivó de seis cruzamientos realizados entre cinco variedades o líneas de trigo, así:

Cruzamiento 1	ICA Susatá	x	ICA Yurigá
Cruzamiento 2	ICA Susatá	x	Grano de Oro
Cruzamiento 3	L-23 Nariño 85A	x	ICA Yuriyá
Cruzamiento 4	L-23 Nariño 85A	x	Grano de Oro
cruzamiento 5	L-29 Nariño 85A	x	ICA Yuriyá
Cruzamiento 6	L-29 Nariño 85A	x	Grano de Oro

Las variedades o líneas utilizadas como progenitores femeninos fueron consideradas como de altos rendimientos y los progenitores masculinos como de bajos rendimientos, distinguiéndose además Yuriyá por su precocidad y pobre macollamiento.

Los cruces se ejecutaron en el invernadero y en el campo en el primer semestre de 1985; una vez obtenida la semilla F1 se sembró en el invernadero en el segundo semestre del mismo año para obtener la semilla de la generación F2 y realizar los retrocruzamientos a cada uno de los progenitores. En el segundo semestre de 1986 las generaciones parentales (P1 y P2), F1, F2 y de los retrocruzamientos a cada uno de los padres (BC1, y BC2) fueron sembradas en el campo en un diseño de bloques al azar con tres repeticiones donde cada replicación estuvo integrada por dos surcos (40 plantas) de las generaciones P1, P2, F1, BC1 y BC2 y cinco surcos (100 plantas) de la generación F2. La Longitud de los surcos fue de tres metros, separados 30 cm entre sí y con una distancia entre plantas de 15 cm. En los extremos de cada surco y como surcos bordes, al igual que en los sitios libres observados después de 15 días de la siembra, se sembró la variedad Tiba 67 para establecer una competencia uniforme a todas las plantas.

La fertilización se realizó el mismo día de la siembra usando 200 Kg/ha del fertilizante compuesto 10-30-10; el control de malezas se efectuó con el herbicida Metribuzin (0.5 Kg/ha) en post-emergencia; además se realizó una desyerba manual. Se efectuaron tres aplicaciones con el insecticida fosfamidon 100 SCDW (800 cc/ha) y dos aplicaciones con el fungicida Propiconazol (500 cc/ha), para disminuir al máximo la incidencia de plagas y enfermedades.

Para la cosecha se tomaron todas las plantas en competencia en cada generación, para

medir las siguientes variables en base a planta individual:

- **Rendimiento biológico (Yb):** Peso en gramos de cada planta cosechada a ras del suelo y secada en el invernadero a temperatura ambiente hasta obtener un peso constante.
- **Rendimiento económico (Ye):** Peso en gramos de los granos.
- **Índice de cosecha (IC):** Relación entre el rendimiento económico y el rendimiento biológico en porcentaje (%).
- **Número de granos por espiga:** Número de granos en la espiga del tallo principal.
- **Peso de 1000 granos:** Tomados de la muestra total de cada planta y expresado en gramos.
- **Número de macollas efectivas:** Número de tallos con presencia de granos.

Análisis estadístico. Los datos de las tres repeticiones en conjunto fueron utilizados para calcular los promedios y varianzas.

La heredabilidad, en sentido amplio, fue calculada por el método de Mahmud y Kramer (1951), con la siguiente fórmula:

$$H = \frac{\delta^2 F_2 - \sqrt{\delta^2 P_1 - \delta^2 P_2}}{\delta^2 F_2} \times 100$$

Donde $\delta^2 P_1$ y $\delta^2 P_2$ = Varianza dentro de cada uno de los padres.

$\delta^2 F_2$ = Varianza entre plantas de la generación F2.

Para determinar los efectos genéticos se utilizó el método de Hayman (1958), donde los valores promedios esperados para cada generación, son los siguientes

$$\begin{aligned}
 P_1 &= m + d - 1/2h + i - j + 1/4 L \\
 P_2 &= m - d - 1/2h + i + j + 1/4 L \\
 F_1 &= m + 1/2h + 1/4 L \\
 F_2 &= m \\
 BC_1 &= m + 1/2d + 1/4i \\
 BC_2 &= m - 1/2d + 1/4i
 \end{aligned}$$

donde, m = el promedio esperado de F₂; d mide los efectos genéticos aditivos y h los efectos dominantes, mientras que cuando hay epistásis, i mide interacciones entre efectos aditivos (dd); j entre efectos aditivos y dominantes (dh) y L entre efectos dominantes (hh).

En el modelo de tres parámetros genéticos de Hayman, la constante m y los efectos genéticos principales d y h son estimados por:

$$\hat{m}^* = \frac{2E_2 E_B (P_1 + P_2 - 2F_1) + (E_p + 2E_1) [E_B F_2 + E_2 (B_1 + B_2)]}{2E^2}$$

$$\hat{d}^* = \frac{2E_B (P_1 - P_2) + E_p (B_1 - B_2)}{E_p + 4 E_B}$$

$$\begin{aligned}
 &2E_2 E_B (2F_1 - P_1 - P_2) + E_1 E_B (2F_2 - P_1 \\
 &- P_2) + 2E_1 E_2 (B_1 + B_2 - P_1 - P_2) + \\
 &E_p E_B (F_1 - F_2) +
 \end{aligned}$$

$$\hat{h} = \frac{E_p E_2 (2F_1 - B_1 - B_2)}{E^2}$$

Donde:

$$2E^2 = (E_p + 2E_1) (2E_2 + E_b) + 8 E_2 E_B$$

P₁, P₂, F₁, F₂, B₁ Y B₂: promedios de generaciones.

E_p, E₁, E₂, Y E_b: errores estándar de los respectivos promedios generacionales progenitores, F₁, F₂ y retrocruzamientos.

Los promedios esperados de las generaciones estimados por m, d y h (modelo de tres parámetros, en el cual epístasis es omitida) son comparados con los valores observados por medio de la prueba de Ji cuadrado, con tres grados libres. Cuando en el modelo anterior el ajuste es satisfactorio (no significativo X²), el efecto de epístasis no es significativo y el modelo de seis parámetros no es necesario.

Las correlaciones fenotípicas entre todos los caracteres se determinaron de acuerdo a la fórmula propuesta por W eber y Moorthy (1952):

$$r_{xy \text{ Fenotípica}} = \frac{\text{Cov. } xy \text{ } F_2}{\sqrt{\delta^2 x_{F_2} \cdot \delta^2 y_{F_2}}}$$

Donde cov. xy F₂ = Covarianza entre los caracteres x, y en la generación F₂; δ²x F₂, δ²y F₂ = Varianza total de la generación F₂ observada en los caracteres x, y respectivamente.

La ganancia genética fue calculada de acuerdo al método utilizado por Allard (1967) con la siguiente fórmula

$$G_s = K \cdot \delta A \cdot H$$

Donde K = diferencial de selección (5% 2.06).

δ A = Desviación estándar fenotípica de la generación F₂.

H = Heredabilidad en sentido amplio.

RESULTADOS Y DISCUSION

Varianzas y heredabilidad. En general, no todas las características presentaron la misma tendencia en todos los cruzamientos en cuanto a la magnitud de las varianzas (Cuadros 1 y 2) de las generaciones parentales P₁ y P₂ y de la generación F₁ con respecto a las varianzas de la generación F₂. En efecto, aunque se esperarfa que las varianzas de las generaciones P₁, P₂ y F₁ fueran inferiores a las de la F₂, esto no fue cierto para el rendimiento biológico en los cruzamientos 3, y 4 y 5; para rendimiento económico en los cruza-

Cuadro 1. Varianzas de generaciones para rendimiento biológico (Yb), rendimiento económico (Ye) e Índice de cosecha (IC) por planta de seis cruzamientos de trigo. CI Obonuco, 1987.

Cruzamiento	P1	P2	F1	F2	BC1	BC2
Rendimiento biológico (Yb)						
1	1.116.453	468.535	1.381.081	2.119.271	1.367.398	1.073.730
2	1.116.453	1.762.953	1.565.279	2.179.932	2.016.574	1.575.493
3	1.419.660	468.535	1.436.647	1.361.341	2.062.575	871.108
4	1.419.660	1.762.953	2.086.391	1.954.661	1.153.487	1.592.349
5	814.456	468.535	1.091.599	974.856	1.032.115	882.886
6	814.456	1.762.953	1.590.430	1.812.059	1.061.346	1.820.742
Rendimiento económico (Ye)						
1	185.586	135.906	234.929	271.421	240.207	86.676
2	185.568	143.270	334.650	240.200	266.932	137.625
3	359.601	135.906	252.551	246.436	300.791	143.776
4	359.601	143.270	312.081	289.220	190.972	216.813
5	182.762	135.906	209.230	168.054	169.301	172.559
6	182.762	143.270	197.985	221.367	128.367	196.564
Índice de cosecha (IC)						
1	76.946	49.949	51.553	71.590	51.409	47.229
2	76.946	15.957	75.042	46.106	79.502	34.559
3	76.637	49.949	37.622	80.900	92.380	31.791
4	76.637	15.957	32.016	170.772	55.383	55.043
5	105.341	49.949	37.401	56.783	86.623	67.759
6	105.341	15.957	27.028	65.948	39.947	33.367

Cuadro 2. Varianza de generaciones para número de macollas efectivas, número de granos por espiga y peso de 1000 granos de seis cruzamientos de trigo. CI Obonuco, 1987.

Cruzamientos	P1	P2	F1	F2	BC1	BC2
Número de macollas efectivas por planta						
1	12.820	10.098	11.291	21.674	14.243	9.098
2	12.820	38.970	19.797	22.848	16.279	18.603
3	25.332	10.089	10.977	17.256	22.388	10.156
4	25.332	38.970	22.000	19.048	17.143	31.851
5	11.186	10.098	14.484	12.914	13.053	15.753
6	11.186	38.970	17.592	23.025	14.048	18.028
Número de granos por espiga						
1	262.885	165.179	240.125	226.714	252.305	165.021
2	262.885	92.671	179.683	211.683	225.999	153.074
3	290.895	165.179	173.830	218.137	201.581	158.651
4	290.895	92.671	260.597	179.412	198.761	142.411
5	299.267	165.179	202.259	254.345	247.770	116.371
6	299.267	92.671	199.095	196.101	271.828	168.464
Número de 1000 granos						
1	20.183	11.776	35.467	41.681	28.250	21.083
2	20.183	12.700	28.110	38.523	39.609	28.306
3	25.610	11.776	39.879	33.876	38.427	25.886
4	25.610	12.700	21.243	31.872	29.769	16.523
5	76.147	11.776	36.030	52.772	44.953	19.253
6	76.147	12.700	29.654	27.230	49.314	15.371

mientos 2, 3, 4 y 5; para índice de cosecha de cruzamientos 1, 2, 5 y 6; para el número de macollas efectivas en los cruzamientos 2, 3, 4, y 5 y 6; para número de granos por espiga en todos los cruzamientos y para peso de 1000 granos en los cruzamientos 3, 5 y 6, donde la varianza de la F₂ fue inferior a la varianza de la F₁ o a la varianza de uno de los progenitores; indicando en cada caso, una gran influencia del ambiente sobre la característica en mención.

Según lo anterior, la variable más seriamente afectada por el ambiente fue el número de granos por espiga, seguido por el número de macollas efectivas, el índice de cosecha y el rendimiento económico.

La varianza de los retrocruzamientos BC₁ y BC₂ en cada característica y cruzamiento fueron diferentes, notándose que la varianza del BC₁, en las variables índice de cosecha, número de granos por espiga y peso de 1000 granos, en todos los seis cruzamientos, fue siempre mayor que la del BC₂.

Los estimativos de heredabilidad en sentido amplio difirieron considerablemente de cruzamiento a cruzamiento dentro de cada característica (Cuadro 3), con la excepción

del peso de 1000 granos, excluyendo el valor negativo, cuyas cifras fueron muy similares. Tal variable fue la que presentó el promedio más alto de heredabilidad con 51.37%

Para el cálculo de estos promedios se excluyeron los valores negativos que dieron las heredabilidades del número de granos por espiga, el número de macollas efectivas, el índice de cosecha y el peso de 1000 granos en los cruces respectivos. Los valores negativos se calcularon por complemento tal como lo hicieron Weber y Morthy (1952) para rendimiento de semilla (-78%) en un cruce de soya, y Britto y Cassalet (1975) para número de granos por espiga (-7.85%) en un cruce de trigo. Una heredabilidad errática, por la mayor varianza ambiental, también fue obtenida por Johnson et al (1966) para número de granos por espiga en trigo; precisamente, fue este el carácter, en el presente estudio, con el valor promedio más bajo con 14.10%

El cruzamiento 1 (Susata/Yuriyá) dió las heredabilidades más altas para el rendimiento biológico, el rendimiento económico, número de macollas efectivas y peso de 1000 granos, o sea en cuatro de las seis características mientras que en las otras dos restantes, índices de cosecha y número de granos por

Cuadro 3. Estimativos de heredabilidad en sentido amplio (HSA) y ganancia genética (Gs), para seis caracteres en seis cruzamientos de trigo. CI Obonuco, 1987.

		CRUZAMIENTO						PROMEDIO 1/
		1	2	3	4	5	6	
Rendimiento biológico (Yb)	HSA (%)	65.87	35.64	40.09	19.63	36.63	33.87	38.53
	Gs (g)	62.47	34.28	30.47	17.36	23.56	29.7	
Rendimiento económico (Ye)	HSA (%)	41.49	32.12	10.29	21.52	6.22	26.79	23.07
	Gs (g)	14.08	10.25	3.33	7.54	1.66	8.20	
Índice de cosecha (IC)	HSA (%)	13.40	24.00	23.52	79.52	-27.74	37.83	35.65
	Gs (g)	2.33	3.36	4.36	21.41	-	6.33	
Número de macollas efectivas	HSA (%)	47.50	2.17	7.31	-64.95	17.70	9.32	16.80
	Gs (No.)	4.55	0.21	0.62	-	1.31	0.92	
Número de granos por espiga	HSA (%)	8.08	26.26	-0.49	8.48	12.58	15.08	14.10
	Gs (No.)	2.51	7.87	-	2.34	4.13	4.35	
Peso de 1000 granos	HSA (%)	63.01	58.44	48.74	43.41	43.25	-14.20	51.37
	Gs (g)	8.38	7.47	5.84	5.05	6.47		

1/ Se excluye el cruzamiento con heredabilidad negativa.

espiga, los cruzamientos 4 y 2 presentaron los mayores valores con 79.52 y 26.26% respectivamente.

De acuerdo con lo establecido por Stansfield (1971) para los valores de heredabilidad alta, mayor de 0.5; media, de 0.2 a 0.5 y baja para los valores inferiores a 0.2, las distintas variables, excluyendo los valores negativos, a través de todos los cruzamientos variaron en su grado de heredabilidad, así:

CARACTER	HEREDABILIDAD
Rendimiento biológico	Baja a alta
Rendimiento económico	Baja a mediana
Índice de cosecha	Baja a alta
Número de macollas efectivas	Baja a mediana
Número de granos por espiga	Baja a mediana
Peso de 1000 granos	Mediana a alta

Individualmente, solo tres características presentaron una alta heredabilidad rendimiento biológico y peso de 1000 granos del cruce 1 e índice de cosecha del cruce 4 siendo a la vez el peso de 1000 granos la única variable que en promedio dió una alta heredabilidad con 51.37% . Sin embargo estas calificaciones de heredabilidad son equiparables a las encontradas por otros autores (Bhatt, 1976; Khalifa y Al-saheal, 1984; Sharma y Singh, 1984; Sun et al, 1972; Verma et al, 1984) para estas mismas características en trigo.

Efectos genéticos. Los estimativos de los tres parámetros, m, d y h, y la prueba de ajuste de X^2 para la bondad del modelo se dan en la Tabla 4. Los valores de X^2 para las diferencias entre los promedios generacionales observados y esperados fueron no significativos para ninguna de las características en los seis cruzamientos, indicando que el modelo de aditividad-dominancia es adecuado para el análisis de la variación presente.

Para la mayoría de los cruzamientos los estimativos de d y h fueron significativamente diferentes de cero (0), con las excepciones más destacadas de los valores de d y h del rendimiento biológico en el cruzamiento

6, del número de macollas efectivas en el cruzamiento 3 y del rendimiento económico en los cruzamientos 1, 4, 5 y 6.

En el peso de 1000 granos, rendimiento biológico, número de macollas efectivas y número de granos por espiga ambos efectos, aditivo y dominante, estuvieron en general comprometidos en el comportamiento de estas características ya que en cinco, cuatro, tres y tres de los seis cruzamientos, respectivamente, fueron significativos los valores de d y h. No hubo consistencia en la magnitud relativa de estos parámetros porque en algunos de estos cruzamientos el valor de d fue mayor que el de h mientras que en otros fue lo contrario.

Sin embargo, dentro de esto conviene destacar el mayor valor negativo de h en los cruzamientos 5 y 6 para número de granos por espiga lo que conduciría a suponer que los genes que producen menor número de granos son, en general, dominantes a los alelos para mayor número de granos. Pero, de otra parte es bueno mencionar que los efectos aditivos fueron los predominantes en los tres cruces restantes, 2, 3 y 4, para mayor número de granos por espiga.

El rendimiento económico fue la característica que mostró el mayor número de cruzamientos, cuatro, con valores no significativos de d y h; los efectos genéticos dominantes fueron importantes en el cruce 2 mientras que los aditivos los fueron en el cruce 3. Para el otro carácter, índice de cosecha, los efectos aditivos fueron los que explicaron la mayoría de la variación, al presentar cuatro cruzamientos valores significativos de d y muy superiores a los valores de h.

Los resultados de los efectos aditivos y dominantes que contribuyeron grandemente a la herencia de tres de las cuatro características antes mencionadas concordaron con los obtenidos por varios autores para peso de 1000 granos (Chapman y McNeal, 1971; Ketata et al, 1976; Sun et al, 1972; Verma et al, 1984), para número de macollas efectivas (Muñoz, 1973; Nikitenko y Gorodov, 1981), y para rendimiento biológico (Khalifa y Al-saheal, 1984); no obstante, otros autores han encontrado efectos genéticos dominantes en avena (Rosielle, 1975; Rosielle y Frey, 1977)

Cuadro 4. Estimativos del promedio y de los efectos genéticos y valores de χ^2 para ajuste al modelo de tres parámetros de seis características en seis cruzamientos de trigo. CI Obonuco, 1987.

Parámetro	Cruzamiento 1	Cruzamiento 2	Cruzamiento 3	Cruzamiento 4	Cruzamiento 5	Cruzamiento 6
RENDIMIENTO BIOLÓGICO						
m	82.00**	98.34**	77.56**	86.63**	76.13**	89.03**
d	10.49**	-4.73**	6.07**	-10.40**	9.29**	-5.03ns
h	9.94*	27.56**	14.58**	11.82**	5.30 ns	7.02 ns
χ^2	1.13	2.90	0.96	0.69	0.86	2.32
RENDIMIENTO ECONÓMICO						
m	27.08**	29.10**	29.23**	28.30**	25.84**	26.10**
d	1.72 ns	1.35 ns	3.55**	2.09 ns	1.34 ns	1.43 ns
h	2.92 ns	10.87**	2.47 ns	2.90 ns	0.16 ns	2.77 ns
χ^2	0.75	10.20	0.32	1.32	0.63	0.25
ÍNDICE DE COSECHA						
m	32.48**	29.43**	36.99**	31.49**	33.16**	28.70
d	-2.36**	2.40**	0.90 ns	6.24**	-2.68**	3.01**
h	-0.16 ns	3.53**	-2.19*	1.57 ns	-1.50 ns	0.60 ns
χ^2	0.92	0.20	0.11	0.95	0.27	0.11
NÚMERO DE MACOLLAS EFECTIVAS						
m	12.20**	14.36**	12.60**	14.33**	11.87**	13.44**
d	-0.94**	-2.91**	0.21 ns	-2.48**	-1.30**	-2.03**
h	1.33**	3.23**	-0.33 ns	-0.73 ns	1.13**	0.54 ns
χ^2	0.24	0.26	0.07	0.25	0.27	0.42
NÚMERO DE GRANOS POR ESPIGA						
m	56.61**	51.83**	57.11**	53.65**	51.14**	47.22**
d	12.50**	13.02**	9.06**	6.66**	12.31**	12.41**
h	-4.46*	-3.03 ns	3.07 ns	0.80 ns	-13.02**	-15.27**
χ^2	0.06	4.15	0.12	0.21	0.10	1.73
PESO DE 1000 GRAMOS						
m	51.25**	51.40**	51.27**	49.60**	54.35**	55.36**
d	2.80**	2.92**	0.65 ns	1.69**	3.50**	4.27**
h	1.60*	2.29**	5.55**	3.74**	8.35**	5.44**
χ^2	0.04	0.11	0.12	0.33	0.30	0.17

*, **: Significativamente de cero al nivel del 5 y 10%, respectivamente.

ns : No significativamente diferente de cero.

y aditivos en trigo (Sharma et al, 1984) para la última característica. Para números de granos por espiga los resultados no fueron consistentes con los obtenidos por otros autores (Ketata et al, 1976; Verma et al, 1984) quienes reportaron efectos genéticos de tipo dominante.

Efectos genéticos aditivos, para el rendimiento económico como en el cruzamiento 3, fueron mencionados también por Levedeva y Smal'ko (1981) y Sharma et al.(1984), y efectos dominantes, como en el cruzamiento 2, por Khalifa y Al-Saheal (1984). Así mismo, los resultados obtenidos, efectos aditivos, para índice de cosecha coincidieron con los reportados por otros autores en trigo (Bhatt, 1976; Sharma et al, 1984) y en avena (Rosielle y Frey, 1977).

Ganancia genética. El Cuadro 3 contiene la ganancia genética esperada en base a la heredabilidad en sentido amplio. Como era de suponerse en los caracteres con baja heredabilidad, el progreso a alcanzar en las generaciones futuras fue muy bajo especialmente para el número de macollas efectivas y el número de granos por espiga, donde únicamente el cruce 1 para el número de macollas efectivas y el cruce 2 para número de granos por espiga mostraron ganancias genéticas de cierta consideración con 4.55 macollas y 7.87 granos por espiga, respectivamente.

La característica que presentó la mayor ganancia genética fue el rendimiento biológico en el cruzamiento 1 con 62.47 gramos, siendo a la vez este cruzamiento el que dió los valores más altos también para rendimiento económico, peso de 1000 granos y número de macollas efectivas. Para índice de cosecha el cruzamiento 4 presentó la mayor ganancia genética con 21.41%

A pesar de lo anterior, en general, el rango de variación de los valores de la ganancia genética estuvo dentro de lo obtenido por otros investigadores para rendimiento biológico (Sun et al, 1972), rendimiento económico (Ketata et al, 1976; Muñoz, 1973; Verma et al, 1984), índice de cosecha (Bhatt, 1976; Verma et al, 1984), número de macollas efectivas (Britto y Cassalet, 1975; Ketata et al, 1976; Verma et al, 1984), número

de granos por espiga (Britto y Cassalet, 1975; Ketata et al, 1976; Lebsock y Amaya 1969; Verma et al, 1984) y peso de 1000 granos (Ketata et al, 1976; Lebsock y Amaya, 1969; Muñoz, 1973; Verma et al, 1984).

Correlaciones fenotípicas. El Cuadro 5 contiene las correlaciones fenotípicas entre los seis caracteres para cada uno de los cruzamientos.

El índice de cosecha presentó correlación positiva, con rendimiento económico, número de macollas efectivas, número de granos por espiga y peso de 1000 granos con valores de 0.48 a 0.57, 0.25 a 0.33, 0.15 a 0.34 y 0.25 a 0.47, respectivamente en la mayoría de los cruzamientos; a excepción, del cruzamiento 4 (L-23/Grano de Oro) con número de macollas efectivas, número de granos por espiga y peso de 1000 granos, del cruzamiento 2 (Susata/Grano de Oro) con números de granos por espiga y del cruzamiento 6 (L-29/Grano de Oro) con peso de 1000 granos. No obstante, la asociación entre el índice de cosecha y el rendimiento biológico no fué tan contundente y sólo se observó en el cruce 5 (L-29/Yuriyá) con un valor bajo de 0.22.

La relación positiva entre el índice de cosecha y el rendimiento económico ha sido ya mencionada por otros autores tanto en trigo (Allan, 1983; Desai y Bhatia, 1978; Nass, 1973; Sharma y Singh, 1983; Singh y Stoskopf, 1971; Sun et al, 1972) como en cebada (Singh y Stoskopf, 1971) y avena (Rosielle, 1975; Rosielle y Frey, 1975; Takeda y Frey, 1976), lo mismo que con el número de granos por espiga y peso de 1000 granos en trigo (Nass, 1973) confirmando los resultados anteriores.

El rendimiento biológico presentó correlación positiva con el rendimiento económico con valores de 0.79 a 0.91 en los seis cruzamientos; de igual forma con el número de macollas efectivas, número de granos por espiga y peso de 1000 granos con valores de 0.45 a 0.79, 0.36 a 0.57 y 0.19 a 0.37 respectivamente.

Correlación positiva para número de macollas efectivas y número de granos por espiga fue encontrada para todos los cruzamientos.

Cuadro 5. Correlaciones fenotípicas entre seis caracteres en seis cruzamientos de trigo. CI Obonuco, 1987.

	Cruzamiento	Rendimiento económico (Ye)	Índice de cosecha (IC)	No. Macollas efectivas	No. granos/ Peso de 1000 espiga	granos
Rendimiento biológico (Yb)	1	0.85**	0.62	0.67**	0.42**	0.37**
	2	0.88**	0.06	0.55**	0.57**	0.24**
	3	0.87**	0.10	0.45**	0.55**	0.32**
	4	0.79**	-0.06	0.73**	0.57**	0.19**
	5	0.91**	0.22**	0.73**	0.44**	0.22**
	6	0.86**	0.11	0.79**	0.36**	0.29**
Rendimiento económico (Ye)	1		0.52**	0.73**	0.47**	0.57**
	2		0.48**	0.78**	0.51**	0.33**
	3		0.51**	0.48**	0.53**	0.42**
	4		0.50**	0.69**	0.59**	0.21**
	5		0.57**	0.74**	0.45**	0.27**
	6		0.55**	0.79**	0.46**	0.28**
Índice de cosecha (IC)	1			0.32**	0.21**	0.49**
	2			0.33**	0.07	0.31**
	3			0.25**	9.15**	0.32**
	4			0.11	0.03	0.05
	5			0.33**	0.23**	0.25**
	6			0.31**	0.34**	0.04
Número de macollas efectivas	1				0.28**	0.21**
	2				0.16**	0.09
	3				0.23**	0.09
	4				0.27**	0.07
	5				0.08	0.05
	6				0.27**	0.16*
Número de granos por espiga	1					0.33**
	2					0.28**
	2					0.28**
	3					0.37**
	4					0.04
	5					-0.09
6					-0.05	

* : Significativo al nivel del 5%

** : Significativo al nivel del 1%

tos, a excepción del cruzamiento 5 (L-29/Yuriyá), con valores de 0.16 a 0.28. Con el peso de 1000 granos esta característica sólo mostró correlación positiva en los cruzamientos 1 (Susatá/Yuriyá) y 6 (L-29/Grano de Oro) con valores de 0.21 y 0.16, respectivamente. Correlaciones positivas entre números de granos por espiga y peso de 1000 granos fueron encontradas en tres de los seis cruzamientos Cruzamiento 1 (Susatá/Yuriyá), 2 (Susatá/Grano de Oro) y 3 (L-23/Yuriyá) con valores de 0.33, 0.28 y 0.37 respectivamente.

CONCLUSIONES

La heredabilidad en sentido amplio, del índice de cosecha no mostró la misma tendencia sino que varió con los cruzamientos de baja a alta, siendo el cruzamiento 4, L-23/Grano de Oro, el que presentó el porcentaje más alto (79.52%). Uno de los progenitores de este cruzamiento, L-23/Nar 85, fue también el que mostró el mayor promedio para esta característica (39.30%).

Los efectos genéticos aditivos predominaron para el índice de cosecha con valores muy superiores a los efectos genéticos dominantes. El cruzamiento 4 fue a la vez el que presentó el mayor valor para estos efectos genéticos aditivos (6.24) y la ganancia genética esperada (21.41%).

Según lo anterior, el cruzamiento 4 sería el único donde la selección por índice de cosecha podría practicarse en generaciones tempranas mientras que en los otros debería esperarse a generaciones más avanzadas.

En general, el índice de cosecha estuvo relacionado positiva y significativamente con el rendimiento económico, número de macollas efectivas, número de granos por espiga y peso de 1000 granos en la mayoría de los cruzamientos excepto en el cruzamiento 4 que no presentó ninguna correlación con los tres componentes del rendimiento económico antes mencionados.

LITERATURA CITADA

- Allan, R.E., 1983. Harvest indexes of Backcross derived wheat lines differing in culm height. *Crop Sci.* 23: 1029-1032.
- Allard, R.W. 1967. Principios de la mejora genética de las plantas. Traducción del Inglés por J.L. Montoya. Barcelona, Omega. 498 p.
- Bhatt, G.M. 1976. Variation of harvest index in several wheat Crosses. *Euphytica* 25: 41-50.
- Borlaug, N.E. 1972. La revolución verde., Paz y Humanidad. Serie reimpresos y traducciones CIMMYT No. 3. México. 36 p.
- Britto, R. y C. Cassalet. 1975. Herencia y heredabilidad de la altura de planta y su correlación con otras características en trigo (*Triticum vulgare L.*). *Revista ICA* 10: 255-268.
- Chapman, S.R. y F.H. McNeal. Gene action for yield components and plant height in a spring wheat cross. *Crop Sci.* 11: 384-386.
- Desai, R.M. y C.R. Bhatia. 1978. Nitrogen uptake and Nitrogen Harvest index in durum wheat cultivars varyng in their grain protein concentrarion. *Euphytica* 27: 561-566.
- Donald, C.M., y J. Hamblin, 1976. The biological yield and harvest index of cereals as agronomic and plant breeding criteria. *Adv. in Agron.* 28: 361-405.
- Hayman, B.I. 1958. The separation of epistatic from additive and dominance variation in generation means. *Heredity* 12: 371-390.
- Ketata, H.; L.H. Edwards y E.L. Smith. 1976. Inheritance of eight agronomic characters in a winter wheat cross. *Crop Sci.* 16: 19-22.
- Khalifa, M.A. y Y.A. Al-Saheal, 1984. Inheritance of harvest index in wheat. *Cer. Res. Comm.* 12: 159-166.
- Levedeva, V.S. y A.A. Smal'ko, 1981. Method of diallel analysis in breeding spring barley for yield. *Wheat, Barley and Tricale Absts.* 1: 2701.
- Lebsock, K.L. y A. Amaya. 1969. Variation and covariation of agronomic traits in durum wheat, *Crop Sci.* 9: 37-375.
- Mahmued, I. y H.H. Kramer, 1951. Segregation for yield, height and maturity following a soybean cross. *Agron. J.* 43: 605-609.
- Muñoz, D. 1973. Heredabilidad, interrelaciones y efectos genéticos de precocidad y otros caracteres agronómicos de cuatro variedades de trigo (*Triticum vulgare L.*). Teis M.Sc. Universidad Nacional - ICA. Bogotá, Colombia. 90 p.
- Nass, H.G. 1973. Determination of characters for yield selection in spring wheat. *Can. J. Plant Sci.* 53: 755-762.
- Nikitenko, G.F y V.T. Gorodov, 1981. Results of a breeding and genetical study of parental material of spring barley in diallel crosses. *Wheat, Barley and Triticale Absts.* 2: 514.
- Rosielle, A.A. 1975. Inheritance, heritability and correlation studies on harvest index and related traits in oats (*Avena sativa L.*). Unpublishec Ph.D Thesis; Iowa State University. Ames, Iowa, 86 p.
- Rosielle, A.A. y K.J. Frey, 1975. Estimates of selection parameters associated with harvest index in oat lines derived from a bulk population. *Euphytica* 24: 121-131.
- Rosielle, A.A. 1977. Inheritance of harvest index and related traits in oats. *Crop Sci.* 17: 23-28.
- Sharma, S.K. y R.K. Singh, 1983. Path analysis of harvest index and its related characters in wheat. *Haryana Agric. Univ. J. Res.* 13: 218-226.
- Sharma, S.K.; R.K. Singh y M. Sing, 1984. Stability of genetic parameters for harvest index and its components in wheat (*Triticum aestivum L.*) *Haryana Agric. Univ. J. Res.* 14: 128-131.

23. Singh, I.D.; y N.C. Stoskopf. 1971. Harvest index in cereals. Agron. J. 63: 224-226.
24. Stansfield, W.D. 1971. Teoría y problemas de genética. Traducción del Inglés por S. Armendaris S. y E.B. de Ranen. México, McGraw-Hill. 298 p.
25. Sun, P. L. F.; H. L. Shands y R. A. Forsberg. 1972. Inheritance of kernel weight in six spring wheat crosses. Crop Sci. 12: 1-5.
26. Takeda, K. y K.J. Frey, 1976. Contributions of vegetative growth rate and harvest index to grain yield of progenies from *Avena sativa* x *A. sterilis* crosses. Crop Sci. 16: 817-821.
27. Verma, P.K.; O.P. Luthra; R.S. Paroda, y G.D. Sharma. 1984. Genetics of yield and its component characters in durum wheat. Cereal res. Comm. 12: 179-185.
28. Weber, C.R. y B.R. Moorthy. 1952. Heritable and nonheritable relationships and variability of oil content and agronomic characters in the F2 generation of soybean crosses. Agron.

