

# DISCRIMINACIÓN ISOTÓPICA DE CARBONO COMO CRITERIO DE SELECCIÓN INDIRECTA PARA RENDIMIENTO DE GRANO EN TRIGO EN AMBIENTES DE SECANO

Carlos G. Martínez-Rueda<sup>1</sup>, Cándido López-Castañeda<sup>2</sup>, Gaspar Estrada-Campuzano<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México, Campus Universitario "El Cerrillo", Toluca, Estado de México, C.P. 50200, \*cgmartinezr@uaemex.mx

<sup>2</sup> Programa de Genética, IREGEP, Colegio de Postgraduados, Km 36.5 Carretera México- Texcoco, Montecillo, Texcoco, Estado de México. C.P. 56230



## INTRODUCCIÓN

La sequía es uno de los principales problemas que afectan a los cultivos secano en México; la obtención de variedades que produzcan mayor rendimiento por unidad de agua disponible en el suelo, sólo podrá lograrse incrementando la eficiencia en el uso del agua [EUA=materia seca (g)/evapotranspiración (mm)], la eficiencia transpiratoria (ET=CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O) o la discriminación isotópica de Carbono [ $\Delta$  (‰)=4.4+23.6(c<sub>i</sub>/c<sub>a</sub>)], (Farquhar y Richards 1984), en la medida que a mayor ET mayor EUA del cultivo y consecuentemente mayor rendimiento de grano.  $\Delta$  es una medida integradora de la ET estimada como la variación proporcional entre la concentración intercelular (c<sub>i</sub>) y atmosférica (c<sub>a</sub>) de CO<sub>2</sub>, (c<sub>i</sub> / c<sub>a</sub>); de tal manera que  $\Delta$  determinado en biomasa o grano, reflejará la variación en c<sub>i</sub>/c<sub>a</sub> integrada durante el periodo de crecimiento.  $\Delta$  es un carácter altamente heredable que interacciona poco con el ambiente, por lo que se ha sugerido como un criterio de selección indirecta que puede incrementar la ganancia de selección para mayor rendimiento de grano en ambientes con baja disponibilidad de humedad (Rebetzke *et al.*, 2002).

## OBJETIVOS

1) Estudiar la variación genética y la interacción Genotipo x Ambiente en  $\Delta$  y rendimiento de grano en dos grupos de líneas avanzadas de trigo harinero, seleccionadas en ambientes contrastantes de humedad, 2) Estimar la eficiencia de la selección indirecta para rendimiento de grano y algunos de sus componentes principales, utilizando a  $\Delta$  como criterio de selección.

## MATERIALES Y MÉTODOS

- Siembra: 23 y 29 de junio de 2001 en Montecillo y Tecámac (2245,2463 msnm), México.
- Material genético: 25 líneas M<sub>6</sub> seleccionadas en condiciones no limitantes de humedad (LSCNH) y 25 líneas M<sub>6</sub> obtenidas en ambientes con deficiencias hídricas (LSCLH) [derivadas por mutación inducida (<sup>60</sup>Co) de Salamanca S-75]
- Diseño y unidad experimental: Bloques completos al azar con dos repeticiones y dos surcos de 3 m de longitud separados a 0.25 m.
- Densidad de siembra y dosis de fertilización: 100 kg ha<sup>-1</sup> y 80-40-00.
- Composición isotópica de Carbono [ $\Delta$  (‰)=( $\delta_a - \delta_p$ )/(1 +  $\delta_p$ )], donde  $\delta_a$  es la composición isotópica del aire en el que crecen los cultivos y  $\delta_p$  es la composición isotópica del material vegetal (<sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C) (Farquhar, 1990).

Estimación de heredabilidad en sentido amplio:

$$h^2 = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_g^2 + \frac{\sigma_{ge}^2}{e} + \frac{\sigma_e^2}{re}} = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_p^2}$$

Eficiencia relativa de la respuesta a la selección indirecta para el carácter X tomando como criterio de selección indirecta a  $\Delta$ .

$$ERS_{\Delta, X} = \frac{RCx}{Rx} = r_{x\Delta} \left( \frac{h_\Delta}{h_x} \right)$$

## RESULTADOS

### Variación genética e interacción genotipo x ambiente

Se presentaron diferencias significativas (P<0.05) entre ambientes para todos los caracteres estudiados y entre todos los genotipos (P<0,05) para  $\Delta$ , CG y RG. En el ambiente más seco (Tecámac; 237 mm) se presentó variación significativa entre las líneas dentro de cada grup. En el ambiente más favorable (Montecillo; 296 mm) solo se detectó variación significativa entre las líneas para CG y RG. La interacción genotipo x ambiente únicamente resultó significativa (P<0.01) para RG e IC (Cuadro 1).

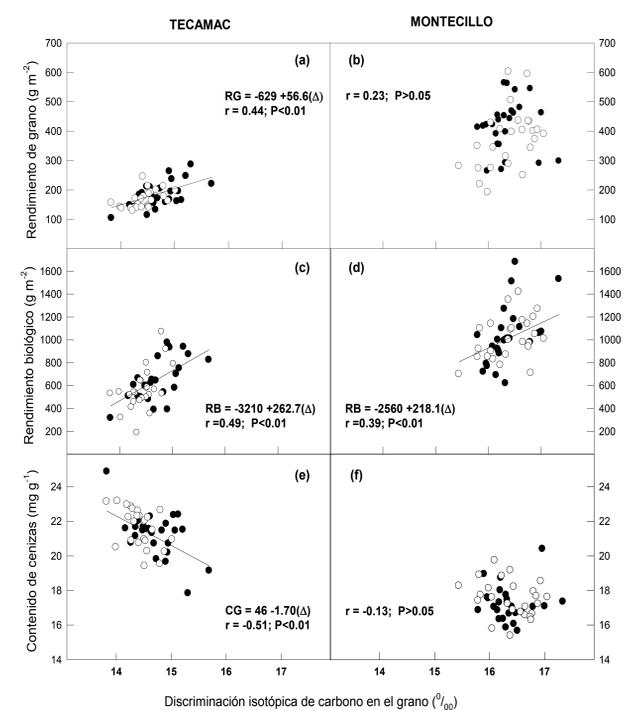
**Cuadro 1. Valores medios y análisis de varianza para discriminación de carbono ( $\Delta$ ), contenido de cenizas en el grano (CG), rendimiento de grano (RG), rendimiento biológico (RB) e (Índice de cosecha) de dos grupos de líneas M<sub>6</sub> de trigo evaluadas en dos ambientes de temporal en el Estado de México.**

Ambiente/Grupo	$\Delta$ ‰	CG mg g <sup>-1</sup>	RG g m <sup>-2</sup>	RB	IC
<b>Tecámac</b>					
LSCLH <sup>†</sup>	14.44 (13.83-15.02) <sup>‡</sup>	21.64 (19.41-23.18)	166 (123-244)	568 (188-1070)	0.28 (0.13-0.49)
LSCNLH <sup>†</sup>	14.73 (13.83-15.69)	21.23 (17.83-24.86)	183 (104-286)	655 (315-975)	0.28 (0.16-0.45)
Media general	<b>14.59</b>	<b>21.30</b>	<b>182</b>	<b>622</b>	<b>0.29</b>
Contrastes:					
LSCLH vs LSCNLH	**	ns	**	*	ns
Líneas / Grupos					
	*	**	**	*	**
<b>Montecillo</b>					
LSCLH	16.40 (15.40-17.34)	17.52 (15.38-19.74)	373 (191-602)	1014 (700-1420)	0.37 (0.19-0.49)
LSCNLH	16.29 (14.33-15.23)	17.22 (15.66-20.40)	418 (263-564)	1012 (620-1680)	0.36 (0.26-0.46)
Media general	<b>16.37</b>	<b>17.25</b>	<b>400</b>	<b>1009</b>	<b>0.37</b>
Contrastes					
LSCLH vs LSCNLH	ns	ns	*	ns	ns
Líneas / Grupos					
	ns	**	**	ns	ns
Fuente de Variación					
	Valores de F				
Ambientes	62.89*	414.62**	374.80**	14.17*	29.93**
Genotipos	1.54*	3.87**	1.81*	1.46	1.11
Grupos <sup>†</sup>	0.39	136.84**	7.10	0.67	11.77
Líneas / Grupos	0.34	39.36*	2.30	1.28	2.27
Gen. x Amb.	1.22	0.97	4.44**	1.09	1.78**
Grupos x Amb	5.47	0.09	3.26*	1.27	0.76
(Gen/Grupos)xAmb.	1.07	1.00	4.48	1.08	1.82**

\*P<0.05; \*\*P<0.01; ns = no significativo; <sup>†</sup> promedios estimados a partir de 25 líneas; <sup>‡</sup> rango de valores observados dentro de cada grupo

### Relaciones entre $\Delta$ con RG y CG.

$\Delta$  se correlacionó positiva y significativamente con RG (r = 0.44; P<0.01) únicamente en el ambiente más seco (Tecámac) y con RB (r = 0.49, 0.39; P<0.01) en los dos ambientes. El contenido de cenizas en el grano (CG) se correlacionó negativa y significativamente con  $\Delta$  únicamente en Tecámac (r = -0.51; P<0.01). En la Figura 1 se aprecia que en general el grupo de LSCNLH mostraron mayor variabilidad en  $\Delta$  y RG, obteniendo los mayores promedios en ambos caracteres cuando la evaluación se hizo en el ambiente menos favorable (Tecámac).



**Figura 1. Relación entre discriminación isotópica de carbono y rendimiento de grano (a,b), rendimiento biológico (c,d) y contenido de cenizas en el grano (e,f) en 25 líneas de trigo seleccionadas en condiciones no limitantes de humedad (e) evaluadas en dos localidades del Estado de México, 2001.**

### Parámetros genéticos y eficiencia relativa de la selección indirecta

Las heredabilidades más altas se obtuvieron para  $\Delta$  ( $h^2 = 0.65$ ) y CG ( $h^2 = 0.49$ ) debido a una mayor expresión de la varianza genética ( $\sigma_g^2$ ) y menor varianza de interacción GXA ( $\sigma_{GA}^2$ ) en ambos caracteres (Cuadro 2). Las correlaciones genéticas entre  $\Delta$  con RG, RB y CG fueron altas y significativas (P<0.01), obteniéndose así mayores ganancias predichas mediante la selección indirecta basada en  $\Delta$  como criterio secundario de selección ( $ERS_{\Delta, X} > 100$ ) que la selección directa para RG, RB e IC (Cuadro 2)

**Cuadro 2. Componentes de varianza genética ( $\sigma_g^2$ ), de interacción genotipo x ambiente ( $\sigma_{GA}^2$ ) y del error ( $\sigma_e^2$ ); heredabilidad ( $h^2$ ); correlaciones genotípicas ( $r_g$ ) y eficiencia relativa de la selección indirecta para discriminación isotópica de carbono ( $ERS_{\Delta, X}$ ) en 50 líneas M<sub>6</sub> de trigo.**

Carácter	$\sigma_g^2$	$\sigma_{GA}^2$	$\sigma_e^2$	$h^2$	$r_{g, \Delta, X}$	$ERS_{\Delta, X}$
$\Delta$	0.504	0.041	0.999	0.65		
CG	0.043	0.004	0.142	0.49	-0.37*	32 %
RG	1767.936	3576.995	1903.172	0.44	0.92**	112 %
RB	7609.073	2652.030	61617.660	0.31	0.82**	118 %
IC	0.001	0.002	0.005	0.23	0.79**	133 %

\*P<0.05; \*\*P<0.01;

## CONCLUSIONES

La variabilidad genética inducida por mutagénesis y las dos estrategias utilizadas durante el proceso de selección de los grupos de líneas avanzadas originaron cambios significativos en  $\Delta$ , RG y RB. En trigo harinero, bajo condiciones secano y con mayor déficit de humedad,  $\Delta$  se correlaciona positivamente con RG y RB, y negativamente con CG. Se confirma que  $\Delta$  presenta mayor heredabilidad, baja interacción GXA y una alta correlación genética con RG, lo cual sugiere que  $\Delta$  puede utilizarse eficientemente como criterio de selección indirecta para elevar el rendimiento de grano de trigo en condiciones de secano.

## LITERATURA CITADA

- Farquhar G. D. and R. A. Richards 1984. Isotopic composition of plant carbon correlates with water-use efficiency of wheat genotypes. Australian Journal of Plant Physiology 11:539-552.  
 Rebetzke, G. J., A. G. Condon, R. A. Richards, and G. D. Farquhar. 2002. Selection for reduced carbon isotope discrimination increases aerial biomass and grain yield of rainfed bread wheat. Crop Science 42:739-745.

