

Determinantes ecofisiológicos del rendimiento en tres cultivares de trigo en función y fraccionamiento del nitrógeno*

Ecophysiological determinants of yield in three wheat cultivars based on fractionations of nitrogen

Tania Lilibeth Villafañá Arroyo¹, Edgar Jesús Morales Rosales¹, Gaspar Estrada Campuzano^{1§} y Carlos Gustavo Martínez Rueda¹

¹Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México, Campus Universitario "El Cerrillo" Toluca, México. Tel. (722) 2 96 55 29. Ext. 142. (taniavillafana@yahoo.com.mx; ejmoralesr@uaemex.mx; cgmartinezr@uaemex.mx). [§]Autor para correspondencia: gestradac@uaemex.mx.

Resumen

El objetivo de la presente investigación fue evaluar la biomasa, rendimiento de grano, índice de cosecha (IC) y eficiencia en el uso de la radiación (EUR) en tres cultivares de trigo bajo dos niveles de nitrógeno en tres momentos de aplicación (estrategias). El experimento se estableció durante el ciclo agrícola primavera-verano 2011 en Toluca, México. Se evaluaron los cultivares de trigo: Salamanca S-75, Romoga F-96 y Tollocan F-2005 con dos niveles de N (100 y 200 kg N ha⁻¹) utilizando tres estrategias de aplicación: 1 (50% de N en la siembra y 50% en amacollamiento); 2 (50% de N en la siembra y 50% en espiguilla terminal); 3 (50% de N en la siembra y 50% en hoja bandera). Los datos fueron analizados en un diseño experimental de parcelas divididas. Entre los cultivares, Tollocan F-2005 mostró mayor biomasa, rendimiento e IC. Con 200 kg N ha⁻¹ se incrementaron los valores de biomasa, rendimiento y EUR. Se observó una respuesta positiva en las estrategias 2 y 3; sin embargo, el efecto de la estrategia depende del cultivar y dosis de fertilización. Tollocan F-2005 alcanzó el máximo rendimiento de grano (695.61 g m⁻²) cuando se suministraron 200 kg N ha⁻¹ aplicando 50% en la siembra y 50% en hoja bandera.

Palabras clave: *Triticum aestivum* L., estrategia de aplicación, índice de cosecha, eficiencia en el uso de la radiación.

Abstract

The objective of this research was to evaluate biomass, grain yield, harvest index (HI) and efficiency of radiation (EUR) in 3 wheat cultivars under two nitrogen levels in three application times (strategies). The experiment was established during the season spring-summer 2011 in Toluca, Mexico. Wheat cultivars were evaluated: Salamanca S-75, Romoga F-96 and Tollocan F-2005 with two levels of N (100 and 200 g N ha⁻¹) application using three strategies: 1 (50% of N at planting and 50% at tillering), 2 (50% N at planting and 50% at terminal spikelet), 3 (50% of N at planting and 50 % flag leaf). Data were analyzed in a split-plot experimental design. Among the cultivars, Tollocan F-2005 showed higher biomass yield and HI. With 200 kg N ha⁻¹ biomass values, increased performance and a positive U.S. response strategies 2 and 3 was observed; However the effect or strategy depends on cultivar and fertilization. Tollocan F-2005 peaked grain yield (695.61 gm⁻²) when they traron supply 200 kg N ha⁻¹ applying 50% at planting and 50% at flag leaf.

Keywords: *Triticum aestivum* L., implementation strategy, harvest index, efficiency of radiation.

* Recibido: agosto de 2013
Aceptado: enero de 2014

Introducción

El crecimiento de las plantas depende de su habilidad para capturar y utilizar la radiación solar, CO₂, agua y nutrientes minerales, de este modo, existe una relación estrecha entre la cantidad de radiación interceptada por el cultivo y su crecimiento (Bonhomme, 2000). La radiación interceptada acumulada (RIA) y la eficiencia en el uso de la radiación (EUR) son los principales determinantes del crecimiento y de la producción de biomasa (Fletcher *et al.*, 2011), mientras que la EUR, representa la cantidad de materia seca por unidad de radiación interceptada en el cultivo, de tal forma que la pendiente de la relación lineal entre ambas variables se conoce como EUR y cuyas unidades son g MJ⁻¹ (Hunt *et al.*, 1990). Por otro lado, el rendimiento de grano en los cereales, es el resultado final del crecimiento y los procesos de desarrollo que ocurren en toda la estación de crecimiento (Slafer, 2003).

Durante los últimos años, el rendimiento mundial de trigo se ha incrementado considerablemente, pasando de 222 millones de toneladas en 1961 a 653 en 2010 (FAO, 2012). En México, el rendimiento de los cultivares de trigo de reciente liberación se ha incrementado significativamente en los últimos años, reportándose a principios de los 60's una media nacional de 1.7 t ha⁻¹ y en el 2010 de 5.4 t ha⁻¹ (FAO, 2012).

Este aumento significativo en el rendimiento de grano, se debe en parte a la utilización de nuevas variedades y mejores técnicas de manejo, aunado a una mayor comprensión de los componentes fisiológicos que determinan el crecimiento y rendimiento de trigo. Las prácticas de manejo, que impactan la producción de materia seca y rendimiento de grano, así como la disponibilidad de nitrógeno influyen en la tasa de crecimiento de este cereal y son herramientas que permiten analizar el comportamiento de distintos cultivares, estrategias de manejo, niveles de fertilización y condiciones ambientales (Otegui *et al.*, 1995; D'Andrea *et al.*, 2008).

Se ha demostrado que la aplicación fraccionada de nitrógeno (N) induce una mayor recuperación del nutriente por la planta y permite obtener rendimientos más altos comparados con la aplicación en un solo instante. Sin embargo, la proporción del fraccionamiento se debe determinar localmente teniendo en cuenta el estado inicial de fertilidad del suelo, por tal motivo es necesario realizar análisis de suelo para determinar la cantidad de N disponible al momento de la siembra. En general, bajo condiciones de temporal una pequeña dosis de nitrógeno (no superior a 50

Introduction

The growth of plants depend on its ability to capture and use solar radiation, CO₂, water and mineral nutrients, thus there is a close relationship between the amount of radiation intercepted by the crop and its growth (Bonhomme, 2000). accumulated intercepted radiation (RIA) and the efficiency of radiation (EUR) are the main determinants growth and biomass production (Fletcher *et al.*, 2011), while the U.S., represents the amount of dry matter per unit of radiation intercepted by the crop, so that the slope of the linear relationship between the two variables are known as EUR and with units g MJ⁻¹ (Hunt *et al.*, 1990). On the other hand, grain yield in cereals, is the end result of growth and developmental processes that occur throughout the growing season growth (Slafer, 2003).

In recent years, world wheat yield has increased significantly from 222 million tons in 1961 to 653 in 2010 (FAO, 2012). In Mexico, the yield of wheat cultivars recent release has increased significantly in recent years, reporting in the early 60's a national average of 1.7 t ha⁻¹ in 2010 and 5.4 t ha⁻¹ (FAO, 2012).

This significant increase in grain yield is due in part to the use of new varieties and better management technical, coupled with a greater understanding of physiological components to determine the growth and yield of wheat. The management practices that impact the dry matter production and grain yield and nitrogen availability influences on the growth and rate this cereal and are tools that allow analyze the behavior of different cultivars, management strategies, fertilizer levels and environmental conditions (Otegui *et al.*, 1995; D'Andrea *et al.*, 2008).

It has been shown that fractionated by application of nitrogen (N) induces a higher nutrient recovery by the plant and allows higher yields compared to the application in a single instant. However, the proportion of the division should be determined locally given the initial state of soil fertility, for this reason it is necessary soil tests to determine the amount of N available at the time of planting. In general, under rainfed conditions one small doses of nitrogen (not exceeding 50 kg N ha⁻¹) should be used in planting and gives additional fertilizer may be applied at the end of tillering or early stalk formation (López *et al.*, 2012). Based on the above, the present study aimed to understand the impact

kg N ha⁻¹) debería ser utilizada en la siembra y el fertilizante adicional podría aplicarse al final del amacollamiento o al inicio del encañe (López *et al.*, 2012). En base a lo anterior, el presente trabajo tuvo como objetivo conocer el impacto que puede tener la dosis de N y la etapa de aplicación sobre la biomasa, rendimiento de grano, índice de cosecha (IC) y eficiencia en el uso de la radiación (EUR).

Materiales y métodos

Sitio experimental

El experimento se estableció durante el ciclo agrícola primavera-verano 2011 en el campo experimental de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM), Toluca, México (19° 15' 33" latitud norte, 99° 39' 38" latitud oeste y 2 640 msnm). El tipo de suelo es Vertisol pélico en proceso de formación con una textura franco-arcillosa (USDA, 2000). El clima predominante en la región es C (w₂)(w)b(i) que corresponde al templado subhúmedo con lluvias en verano y oscilación menor a 5°C y temperatura media anual menor a 12.8 °C con precipitación media anual de 900 mm (García, 1988).

Factores de estudio y diseño experimental

Se evaluaron los cultivares (cvs.) de trigo: Salamanca S-75 (liberación antigua; 1975), Romo F-96 (liberación intermedia; 1996) y Tolloca F-2005 (liberación reciente; 2005), con dos niveles de nitrógeno (N): 100 y 200 kg N ha⁻¹, utilizando como fuente de N urea (46%), aplicado en forma fraccionada en tres diferentes momentos del cultivo (estrategias). La aplicación fraccionada del nutrimento en algunas de las etapas fenológicas constituyó una estrategia. En el Cuadro 1 se presenta las dosis de nitrógeno para cada una de las estrategias evaluadas, las cuales fueron evaluadas en ambos genotipos. El experimento fue conducido en un diseño de parcelas divididas con distribución en bloques completos al azar con tres repeticiones, siendo asignadas las variedades a las parcelas principales, mientras que los tratamientos (combinación de dosis de nitrógeno x estrategia) fueron asignados a las parcelas chicas. Cada unidad experimental constó de 6 hileras de 3 m de largo y 0.2 m de separación (3.6 m²) con una densidad de 350 semillas m⁻². La parcela experimental útil estuvo conformada por los cuatro surcos centrales.

it can have the dose of N and the implementation stage on biomass, grain yield, harvest index (CI) and efficiency the use of radiation (EUR).

Materials and methods

Experimental site

The experiment was established during the season spring-summer 2011 in the experimental field of the Faculty of Agricultural Sciences at the Autonomous University of the State of Mexico (UAEM), Toluca, Mexico (19° 15' 33" north latitude, 99° 39' 38" west longitude and 2 640 m). The soil type is Vertisol in formation with a clay loam (USDA, 2000). The climate in the region is C(w₂)(w)b(i) corresponding to temperate sub-humid with summer rains and less flickering at 5 °C and mean annual temperature less than 12.8 °C with average annual rainfall of 900 mm (García, 1988).

Factors study and experimental design

We evaluated cultivars (cvs.) of wheat: Salamanca S-75 (old release; 1975), Romo F-96 (intermediate release, 1996) and Tolloca F-2005 (recent release, 2005) , with two levels of nitrogen (N): 100 and 200 kg N ha⁻¹, using urea as N source (46%), applied in installments in three different times of culture (strategies). The split application of the nutrient in some phenological stages was a strategy. Table 1 shows the doses of nitrogen for each of the evaluated strategies that were evaluated in both genotypes is presented. The experiment was conducted in split plot design with distribution in randomized complete block design with three replications , being assigned the varieties to the main plots, while treatments (dose combination of nitrogen x strategy) were assigned to the subplots . Each experimental unit consisted of 6 rows of 3 m long and 0.2 m apart (3.6 m²) with a density of 350 seeds m⁻². The useful experimental plot consisted of four central rows.

We recorded the phenological stages of emergence (Eme.), tillering (Amac.), terminal spikelet (ET), flag leaf (HB), anthesis (Ant.) and physiological maturity (MF) which were recorded when 50% of the plants in the plot had reached the indicated stage, using the scale of

Cuadro 1. Descripción de la estrategia, etapa de aplicación y fertilizante total para tres genotipos de trigo.
Table 1. Description of strategy, implementation phase and all three genotypes fertilizer for wheat.

Estrategia	S*	Etapa de aplicación			Fertilizante total kg N ha ⁻¹	
		Amac.	ET	HB	Dosis alta	Dosis baja
1	50%	50%			200	100
2	50%		50%		200	100
3	50%			50%	200	100

*S= siembra; Amac.= amacollamiento; ET= espiguilla terminal; HB= hoja bandera.

Variables evaluadas

Se registraron las etapas fenológicas emergencia (Eme.), amacollamiento (Amac.), espiguilla terminal (ET), hoja bandera (HB), antesis (Ant.) y madurez fisiológica (MF) las cuales fueron registradas cuando 50% de las plantas en la parcela habían alcanzado la etapa indicada, utilizando la escala de Zadoks *et al.* (1974). La ET se identificó por microscopía (microscopio estereoscópico Leica MZ6, Leica Microsystems, Germany) mediante observaciones de los ápices de las plantas cosechadas al azar dos veces por semana en cada unidad experimental (Estrada-Campuzano *et al.*, 2012). La cosecha se realizó cuando los cultivares alcanzaron la MF; cosechando las plantas que ocuparon 1m de cada uno de los dos surcos centrales de cada unidad experimental. Las plantas fueron secadas en una estufa de aire forzado a 70 °C durante 72 h, hasta alcanzar peso constante.

La radiación incidente (I₀) y transmitida (I_t) en cada una de las parcelas se registró periódicamente desde la emergencia del cultivo hasta madurez fisiológica, utilizando para ello un ceptómetro lineal (Cavadevices Inc, Argentina) en días despejados y cuando el sol se encontraba en el cenit (12:00 pm ± 1h). Para registrar el porcentaje de radiación interceptada por el dosel del cultivo, el sensor se colocó paralelamente entre los dos surcos centrales de cada parcela, midiéndose la radiación en tres diferentes posiciones (izquierda, centro y derecha) y siguiendo el perfil de las hojas senescentes, utilizando el valor promedio de dichas mediciones como el valor de I_t por el dosel del cultivo (Slafer *et al.*, 1990).

La I₀ fue estimada en cada parcela, colocando el sensor por arriba del dosel del cultivo (cuarta posición); la proporción de radiación fotosintéticamente activa interceptada (%) RFAI por el cultivo fue calculada como [(I₀ - I_t)/I₀] x 100. La radiación interceptada acumulada (RIA), para un momento determinado fue determinada al relacionar el (%) RFAI con número de días desde emergencia y los datos fueron ajustados mediante una función sigmoidea, descrita a continuación:

Variables evaluated

Zadoks *et al.* (1974). ET was identified by microscopy (stereomicroscope Leica MZ 6, Leica Microsystems, Germany) through observations of the tips of the plants harvested at random twice weekly in each experimental unit (Estrada-Campuzano *et al.*, 2012). The harvest took place when the MF cultivars reached; harvesting plants occupied 1m of each of the two central rows of each experimental unit. Plants were dried in a forced air oven at 70 °C for 72 h until constant weight.

The incident radiation (I₀) and transmitted (I_t) in each of the plots was recorded periodically from crop emergence to maturity (Cavadevices Inc, Argentina) on clear days and when the sun was in the zenith (24:00 ± 1h). To record the percentage of radiation intercepted by the crop canopy, the sensor parallel mind between the two central rows of each plot was placed radiation measured at three different positions (left, center and right) and following the profile of senescent leaves using the average value of these measurements as the value of I_t by the crop canopy (Slafer *et al.*, 1990).

I₀ was estimated in each plot, placing the sensor above the crop canopy (fourth place), the proportion of photosynthetically active radiation interception ptada (%) RFAI by the crop was calculated as [(I₀ - I_t)/I₀] x 100. Intercepted radiation accumulated (RIA) for a given time was determined r related to the (%) with number RFAI days from emergence and data were fitted using a sigmoid function, as described below:

$$\%RFAI = \frac{a + b}{\left[1 - \exp \left[-\frac{x - c}{d} \right] \right]}$$

Where: x is the number of days from emergence of the crop (for % RFAI pre-anthesis) or the number of post anthesis days (% RFAI in post-anthesis), and a, b, c and d are constants model.

$$\%RFAI = \frac{a + b}{1 - \exp\left[-\frac{x - c}{d}\right]}$$

Donde: x es el número de días desde la emergencia del cultivo (para %RFAI pre-antesis) o el número de días posterior a la antesis (para %RFAI en post-antesis), y a , b , c y d son constantes del modelo.

La EUR (g MJ^{-1}) para los periodos de Eme a MF ($\text{EUR}_{\text{ciclo}}$) y de Eme a Ant ($\text{EUR}_{\text{pre-antesis}}$), se estimó mediante modelos de regresión lineal simple con intercepto forzado al origen [$Y=b(x)$]; mientras que para el periodo de Ant a MF la EUR se estimó como el cociente entre la biomasa acumulada desde Ant a MF y la RIA (MJ m^{-2}) pos-antesis. Para ambos casos, la EUR estuvo representada como la pendiente (b) de la relación lineal entre la biomasa (Y) y la RFAI (X). El rendimiento de grano se obtuvo contando el número de granos y el peso individual de los mismos y se expresó en g m^{-2} (Estrada-Campuzano *et al.*, 2012).

Análisis estadístico

Los datos fueron sometidos a análisis de varianza, para un diseño experimental de parcelas divididas y cuando las pruebas de F resultaron significativas se realizó la prueba de comparación de medias, utilizando la diferencia mínima significativa honesta (DMSH) a un nivel de significancia de 5%, utilizando el software SAS (SAS Institute, 2002). Las relaciones entre variables se obtuvieron mediante análisis de regresión y se ajustaron a modelos lineales, bilineales o sigmoideos (Table Curve 2D, Jandel Scientific, AISN Software, 1994).

Resultados y discusión

El efecto de los tratamientos (combinación de nitrógeno (N) y estrategias (E)) resultó altamente significativo ($p < 0.01$) para las variables Rend, $\text{Biom}_{\text{ciclo}}$ e IC, mientras que la RIA_{pre} solo fue afectada de manera significativa ($p < 0.05$), para el resto de las variables no se observaron efectos significativos de los tratamientos (Cuadro 2). Por otro lado, la descomposición de la suma de cuadrados de tratamientos en tres contrastes reveló que el N únicamente modificó significativamente el rendimiento de grano y la producción de biomasa total, mientras que la estrategia modificó significativamente a todas las variables con excepción de Biom_{pre} , $\text{RIA}_{\text{ciclo}}$, RIA_{pre} y EUR_{pre} . La interacción $N \times E$ sólo resultó significativa para las variables Rend, IC y RIA_{pre} (Cuadro 2).

The EUR (G MJ^{-1}) for periods Eme MF ($\text{EUR}_{\text{cycle}}$) and Eme Ant ($\text{EUR}_{\text{pre-anthesis}}$), was estimated using simple linear regression models with forced intercept the origin [$Y=b(x)$], while for the period of EUR Ant to the MF was estimated by dividing the accumulated biomass of Ant to MF and RIA (MJ m^{-2}) post-anthesis. For both cases, the EUR was represented as the slope (b) of the linear relationship between the biomass (Y) and the RFAI (X). Grain yield was obtained by counting the number of individual grains and their weight and expressed in gm^{-2} (Estrada-Campuzano *et al.*, 2012).

Statistical analysis

Data were subjected to analysis of variance, experimental design for a split plot and when testing it proved significant F test comparison of medias was performed using the least significant difference honest (DMSH) at a significance level of 5%, using the SAS (SAS Institute, 2002) software. Relations between variables were obtained by regression analysis and fitted to linear models, bilinear or sigmoid (Table Curve 2D, Jandel Scientific, AIBN Software, 1994).

Results and discussion

The effect of treatments (combination of nitrogen (N) and strategies (E)) highly significant ($p < 0.01$) for Rend variables, $\text{Biom}_{\text{cycle}}$ and IC, whereas only pre RIA was affected significantly ($p < 0.05$) for all other variables no significant effects of treatments (Table 2) were observed. Furthermore, the decomposition of the sum of squares of three treatments revealed that the N contrasts significantly change only yield and total biomass production, while the strategy significantly modified all variables except Biom_{pre} , $\text{RIA}_{\text{cycle}}$, RIA_{pre} and EUR_{pre} . The $N \times E$ interaction was significant for Rend, pre IC and RIA_{pre} (Table 2) variables.

Grain yield

For a better understanding of the physiological determinants of performance Abeledo *et al.* (2008) and Giambalvo (2010) have suggested the agronomic evaluation of cultivars released at different times seeking to provide better approaches for use as a selection criterion. In this research, the performance was significantly different

Cuadro 2. Probabilidad asociada a los valores de F de los análisis de varianza^a.
Table 2. Probability associated with the F values of the analysis of variance.

F.V	g.l	Rend (g m ⁻²)	Biom _{ciclo} (g m ⁻²)	Biom _{pre} (g m ⁻²)	IC	RIA _{ciclo} (MJ m ⁻²)	RIA _{pre}	EUR _{ciclo} (g MJ ⁻¹)	EUR _{pre} (g MJ ⁻¹)
Bloques	2	0.24	0.04	0.09	0.34	0.93	0.74	0.49	0.39
Variedades (V)	2	0.01	0.24	0.17	0.01	0.94	0.86	0.75	0.30
Error a (CME)	4	3.39	42139.5	10448.0	0.0003	17705.6	2725.2	0.4	0.2
Tratamientos (T)	6	0.01	0.05	0.61	0.01	0.12	0.02	0.12	0.32
Nitrógeno (N)	1	0.01	0.93	0.49	0.37	0.95	0.38	0.95	0.93
Estrategia (E)	2	0.01	0.30	0.28	0.01	0.02	0.88	0.02	0.20
N x E	2	0.01	0.27	0.64	0.01	0.64	0.02	0.87	0.18
V x T	12	0.01	0.05	0.51	0.01	0.10	0.96	0.13	0.70
V x N	2	0.01	0.13	0.94	0.15	0.02	0.63	0.08	0.85
V x E	4	0.01	0.92	0.96	0.01	0.38	0.88	0.98	0.76
V x N x E	4	0.01	0.34	0.14	0.04	0.30	0.85	0.46	0.51
Error b (CME)	36	11.1	19679.3	66780.0	0.0002	9358.0	2036.2	0.30	0.50

^a= para las variables rendimiento de grano= REND; biomasa a madurez fisiológica= BIOM_{ciclo}; biomasa a antesis= BIOM_{pre}; índice de cosecha= IC; radiación interceptada acumulada a madurez= RIA_{ciclo}; radiación interceptada acumulada a antesis= RIA_{pre}; eficiencia en el uso de la radiación total= EUR_{ciclo}; y eficiencia en el uso de la radiación a antesis= EUR_{pre} de nueve variedades de trigo establecidas en dos dosis de nitrógeno aplicado en diferentes estrategias en Toluca, México.

Rendimiento de grano

Para un mejor entendimiento de los determinantes fisiológicos del rendimiento, Abeledo *et al.* (2008) y Giambalvo (2010) han sugerido la evaluación agronómica de cultivares liberados en distintas épocas buscando proporcionar mejores enfoques para su uso como criterio de selección. En esta investigación, el rendimiento fue significativamente diferente ($p \leq 0.01$) entre cultivares, dosis de N y estrategia de aplicación, variando de 3.9 a 7.6 t ha⁻¹. Tolloca F-2005 fue el cultivar que tuvo mayor respuesta al incremento de la dosis de N. Con 200 kg N ha⁻¹ este cultivar presentó el mayor rendimiento de grano (Figura 1a). Resultados similares fueron reportados por Siddique *et al.* (1989), quienes observaron que el cultivar moderno liberado en 1986 tuvo el rendimiento e IC más alto, 63 y 48% más que el cv antiguo liberado en 1860. En este mismo sentido, Calderini y Slafer (1999) al analizar una serie de estudios de evaluación de diferentes variedades, encontraron que los cultivares más modernos tendieron a rendir más que los antiguos en la mayoría de los casos analizados.

Diversos investigadores como Perry y D'Antuono (1989) y Limón-Ortega *et al.* (2008) realizaron evaluaciones históricas de cultivares de trigo, y sugirieron que los cambios genéticos han incrementado el rendimiento de grano y que los cultivares más modernos presentan mejor respuesta al agregado de N. Por otro lado, Campillo *et al.* (2007) reportaron que la dosis de N afectó significativamente ($p < 0.05$) el rendimiento de

($p \leq 0.01$) between cultivars, rates of N and implementation strategy, ranging from 3.9 to 7.6 t ha⁻¹. Tolloca F-2005 was the cultivar that had the greatest response to increasing N rates. With 200 kg N ha⁻¹ this cultivar had the highest grain yield (Figure 1a). Similar results were reported by Siddique *et al.* (1989), who observed that the modern cultivar released in 1986 had the highest yield and IC, 63 and 48% more than the old cv released on 1860. In this sense, Calderini and Slafer (1999) to analyze a series of studies and valuation of different varieties found that most modern cultivars tended to perform better than the former in most of the cases analyzed.

Several researchers such as Perry and D'Antuono (1989) and Limón-Ortega *et al.* (2008) conducted assessments historical wheat cultivars, suggesting that genetic changes have increased the grain yield and the most modern cultivars have better response to the addition of N. Moreover, Campillo *et al.* (2007) reported that the dose d and N significantly ($p < 0.05$) grain yield, noting that yields increased depending on the dose of N, ranging from 3.1 (control without N) and 10.63 t ha⁻¹ (300 kg N ha⁻¹).

Furthermore, Salamanca S-75 had the lowest yield, while Romo F-96 had intermediate in both genotypes were not detected significant differences in the dose of N evaluated ($p > 0.05$). These results clearly show that the old genotypes are poorly responsive to added N and differ from some

grano, observando que los rendimientos aumentaron en función de la dosis de N, fluctuando entre 3.1 (testigo sin N) y 10.63 t ha⁻¹ (300 kg N ha⁻¹).

evidence in the literature indicating that the yield of wheat and barley increases with increasing dose of N (Passioura, 2002; Albrizio *et al.*, 2010).

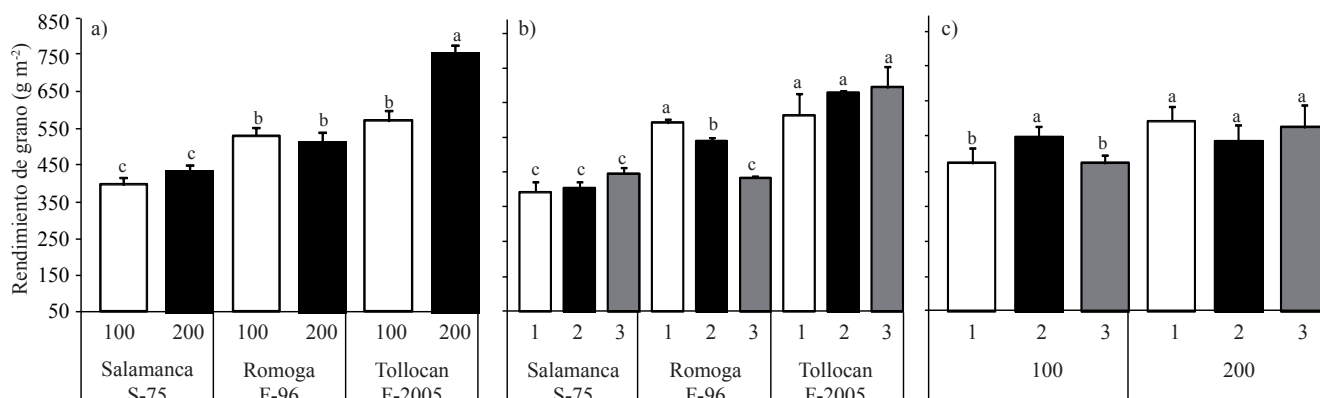


Figura 1. Relaciones entre el rendimiento de grano y el cultivar y dosis de nitrógeno (a), y el cultivar y estrategia de aplicación (b), y dosis de nitrógeno y estrategia de aplicación (c), para tres genotipos de trigo y dos dosis de nitrógeno (100 y 200 kg N ha⁻¹) en Toluca, México. Estrategias: 1 (S y Amac.), 2 (S y ET), 3 (S y HB).

Figure 1. Relationships between grain yield and cultivar and nitrogen rate (a) and cultivar and implementation strategy (b) and doses of nitrogen and implementation strategy (c) for three genotypes of wheat and two doses of nitrogen (100 and 200 kg N ha⁻¹) in Toluca, Mexico. Strategies: 1. (S and Amac.); 2 (S and ET), and 3 (S and HB).

Por otro lado, Salamanca S-75, obtuvo el rendimiento más bajo, mientras que Romoga F-96 tuvo rendimiento intermedio, en ambos genotipos no se detectaron diferencias significativas en las dosis de N evaluadas ($p > 0.05$). Estos resultados reflejan claramente que los genotipos antiguos responden poco al agregado de N y difieren de algunas evidencias en la literatura que indican que el rendimiento de trigo y cebada se incrementa al aumentar la dosis de N (Passioura, 2002; Albrizio *et al.*, 2010).

Al analizar la interacción C x E (Figura 1b), en Salamanca S-75, no se detectaron diferencias significativas entre estrategias de aplicación; en Romoga F-96, se observó que la mejor estrategia para incrementar el rendimiento fue la 1 (50% N en la S + 50% en Amac.) teniendo una producción de grano de 593.49 g m⁻². Mientras que el cultivar Tollocan F-2005, mostró una buena respuesta al suministro de N independientemente de la estrategia de aplicación; sin embargo, cabe destacar que las estrategia 2 (50% N en la S + 50% en ET) y 3 (50% N en la S + 50% en HB) permitieron incrementar en esta variedad el rendimiento respecto de la estrategia 1, aunque no de manera significativa ($p > 0.05$).

Lo anterior coincide con Dreccer *et al.* (2000), quienes afirmaron que el rendimiento en trigo se incrementa en función de la dosis de N, con 20 kg N ha⁻¹ obtuvieron 198 g m⁻², mientras que con 110 kg N ha⁻¹ el rendimiento se elevó

By analyzing the interaction C x E (Figure 1b), in Salamanca S-75, no significant differences were detected implementation strategies, in Romoga F-96, it was observed that the best strategy for increasing the yield was 1 (50% N in S + 50% in Amac) having a grain production of 593.49 gm⁻², while farming Tollocan F-2005, showed a good response to the supply of N independently of the implementation strategy, however, note that the s strategy 2 (50% N in the S + 50% ET) and 3 (50% N in the S + 50% in HB) allowed to increase in performance over this variety of strategy 1, although not significantly ($p > 0.05$).

This coincides with Dreccer *et al.* (2000) who claimed that the wheat yield increases as a function of the dose of N, 20 kg N ha⁻¹ obtained 198 gm⁻², while 110 kg N ha⁻¹. The yield rose to 580 gm⁻². Furthermore, the analysis of interaction N x E (Figure 1c), revealed that for the high dose (200 kg N ha⁻¹) any implementation strategy can be recommended. In this sense, a higher dose of N in early stages would be associated with increased proliferation of tillers and also better survival thereof, as the generation and retention of these depends on the nutritional status (N) of the culture (Albrizio *et al.*, 2010). In low dose (100 kg N ha⁻¹), the best strategy was 2 with an average yield of 548.5 gm⁻². Yield study was amended by the N rate and application strategy ng, on average 200 kg N c ha⁻¹ and 50% N applied at planting maximizing the production.

hasta 580 g m⁻². Por otro lado, el análisis de la interacción N x E (Figura 1c), reveló que para la dosis alta (200 kg N ha⁻¹) cualquier estrategia de aplicación puede ser recomendada. En éste sentido, una mayor dosis de N en etapas tempranas estaría relacionado con una mayor proliferación de macollos y a la vez una mayor sobrevivencia de los mismos, ya que la generación y permanencia de estos depende del estatus nutricional (N) del cultivo (Albrizio *et al.*, 2010). En la dosis baja (100 kg N ha⁻¹), la mejor estrategia fue la 2 con un rendimiento promedio de 548.5 g m⁻². En este estudio el rendimiento fue modificado por la dosis de N y la estrategia de aplicación, en promedio con 200 kg N ha⁻¹ y aplicando 50% N en la siembra y 50% en amacollamiento se maximizó la producción de trigo.

Resultados parcialmente similares detectó Fisher (1993) quien afirmó que la aplicación de N en la etapa de ET o en amacollamiento maximiza el rendimiento de grano en trigo. Contrariamente, Dreccer *et al.* (2000) en un experimento donde evaluaron diferentes momentos de aplicación de N en trigo y colza, encontraron que el rendimiento de grano de ambas especies se incrementó en aplicaciones tardías de N (llenado de grano).

Biomasa

En la Figura 2a se aprecia que la producción de biomasa a MF de Tollocan F-2005 con 200 kg N ha⁻¹, fue superior a Salamanca S-75 y Romoga F-96 en 23 y 26 %, respectivamente. Estos resultados confirman lo reportado por Calderini *et al.* (1999), quienes encontraron que los genotipos antiguos acumularon menos materia seca durante la estación de crecimiento. Asimismo, Abeledo *et al.* (2003) reportaron que genotipos modernos de cebada tuvieron mayor rendimiento biológico que los genotipos antiguos. Asimismo, Guarda *et al.* (2004) evidenciaron que cultivares antiguos acumulan menor cantidad de materia seca en comparación con los genotipos de reciente liberación.

Caso contrario a lo reportado por Slafer *et al.* (1990), quienes mencionan que la baja producción de biomasa resultó del bajo peso de los tallos y macollos de genotipos modernos, mientras que el peso seco de las espigas fue alto, principalmente por una mejor partición de la materia seca a este órgano. Por otro lado, Dreccer *et al.* (2000), concluyeron que la producción de materia seca en trigo se incrementó en función del aumento en la dosis de fertilización nitrogenada (541 a 1 362 g m⁻²).

Similar results partially detected Fisher (1993) who stated that the application of N in step ET maximizes tillering or grain yield in wheat. Conversely, Dreccer *et al.* (2000) in an experiment where they tested different times of N application on wheat and canola found that the grain yield of both species was increased in late applications of N (grain filling).

Biomass

In Figure 2a shows that the production of biomass to MF of Tollocan F-2005 with 200 kg N ha⁻¹ was higher than Salamanca S-75 and Romoga F-96 at 23 and 26%, respectively. These results confirm those reported by Calderini *et al.* (1999), who found that the old genotypes accumulated less dry matter during the growing season. Also, Abeledo *et al.* (2003) reported that modern barley genotypes had higher than older genotypes biological yield. Guarda *et al.* (2004) showed that old cultivars accumulated less dry matter compared with genotypes recent release.

Otherwise as reported by Slafer *et al.* (1990), who mentioned that the low biomass production resulted from the low weight of stems and tillers of modern genotypes, while the dry weight of the pin was high, mainly due to better partitioning of dry matter to this body. Furthermore, Dreccer *et al.* (2000) concluded that the dry matter production of wheat increased depending on the increase in nitrogen rates (541-1 362 gm⁻²).

In assessing the interaction C x E (Figure 2b), we found that for Salamanca S-75 and Romoga F-96, has best to strategy rum 1 and 2, while for Tollocan F-2005 3 strategy or effect As statistically on biomass production. Serrano *et al.* (2000) to evaluate different doses of N and implementation strategies found that biomass production was poorly affected by implementation strategies and N doses. Furthermore, when analyzing the interaction N x E, it was observed that what the strategy or 1 and 2 at the dose of 200 kg N h⁻¹, significantly increased biomass production, for strategy 3, these results coincide with those found by Serrano *et al.* (2000).

Harvest index

The Figure 3a shows that the IC between genotypes ranged between 0.23 and 0.33 the lowest and highest value Tollocan F-2005 and S-75 Salamanca corresponding both to the dose

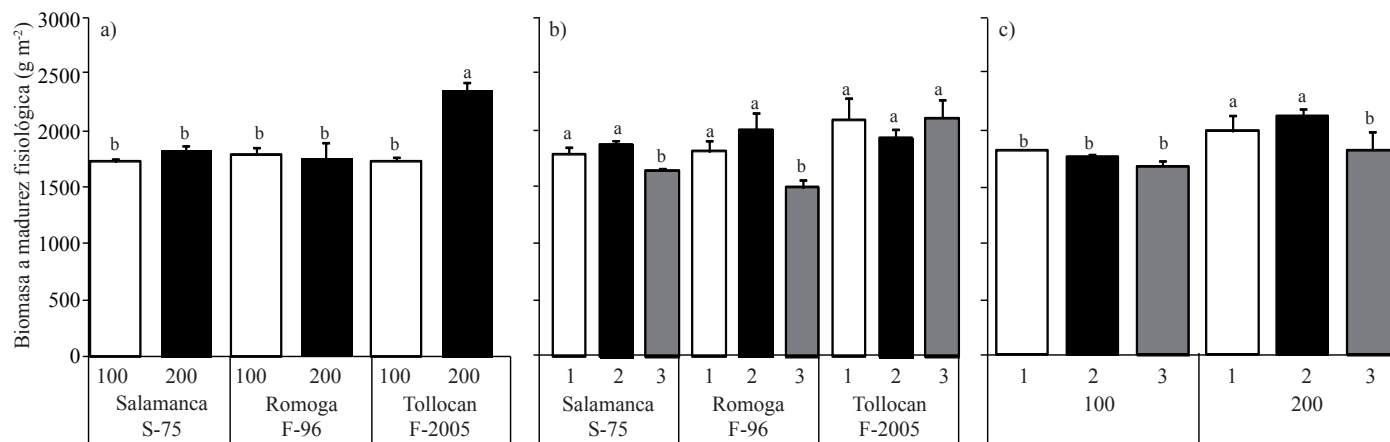


Figura 2. Relaciones entre la biomasa a madurez fisiológica y el cultivar y dosis de nitrógeno (a), y el cultivar y estrategia de aplicación (b), y dosis de nitrógeno y estrategia de aplicación (c), para tres genotipos de trigo y dos dosis de nitrógeno (100 y 200 kg N ha⁻¹) en Toluca, México. Estrategias: 1 (S y Amac.), 2 (S y ET), 3 (S y HB).

Figure 2. Relationships between biomass at physiological maturity and cultivar and nitrogen rate (a), and cultivar and implementation strategy (b), and doses of nitrogen. Implementation strategy and (c) for three wheat genotypes and two nitrogen rates (100 and 200 kg N ha⁻¹) in Toluca, Mexico. Strategies: 1 (S and Amac.); 2 (S and ET); and 3 (S and HB).

Al evaluar la interacción C x E (Figura 2b), se encontró que para Salamanca S-75 y Romoga F-96, las mejores estrategias fueron la 1 y 2, mientras que para Tollocan F-2005 la 3 estrategia tuvo un efecto estadísticamente igual sobre la producción de biomasa. Serrano *et al.* (2000) al evaluar diferentes dosis de N y estrategias de aplicación encontraron que la producción de biomasa fue pobremente afectada por las estrategias de aplicación y dosis de N. Por otro lado, al analizar la interacción N x E, se pudo apreciar que sólo las estrategia 1 y 2 en la dosis de 200 kg N ha⁻¹, incrementaron significativamente la producción de biomasa, respecto de la estrategia 3, coincidiendo estos resultados con los encontrados por Serrano *et al.* (2000).

Índice de cosecha

La Figura 3a muestra que el IC entre los genotipos osciló entre 0.23 y 0.33 correspondiendo el valor más alto a Tollocan F-2005 y el más bajo a Salamanca S-75 ambos con la dosis de 100 kg N ha⁻¹. Lo anterior sugiere que la ganancia observada en rendimiento en los cultivares de reciente liberación se debe a la mejor distribución de la biomasa al grano impactando positivamente el IC (Siddique *et al.* 1989). En Tollocan F-2005, el mayor valor de IC se observó en la estrategia 2 y 3, seguido por Romoga F-96 con la estrategia 1, y Salamanca S-75 con la estrategia 3 (Figura 3b). En las interacciones C x E (Figura 3b), y C x N (Figura 3a), se observa una tendencia positiva entre el año de liberación del cultivar y el IC, lo cual indica que en las variedades mexicanas al igual que aquellas de otros países los incrementos en el rendimiento en los últimos años han sido posibles a una mejora en el IC (Siddique *et al.*, 1989; Fischer y Edmeades, 2010).

of 100 kg N ha⁻¹. This suggests that the gain in performance observed in cultivars recent release is due to the better distribution of biomass to grain positively influencing HI (Siddique *et al.* 1989). In Tollocan F-2005, the highest value was observed in IC strategy 2 and 3, followed by Romoga F-96 strategy 1 and Salamanca S-75 with Strategy 3 (Figure 3b). Interactions in the C x E (Figure 3b), and C x N (Figure 3a), a positive trend between year and cultivar release the IC is observed, indicating that the Mexican varieties like those of other countries increases in performance in recent years have been possible to improve HI (Siddique *et al.*, 1989; Fischer and Edmeades, 2010).

Interacting D x E (Figure 3c) strategies 2 and 3 with the dose of 100 kg N ha⁻¹, HI showed significantly higher values compared to strategy 1 and were statistically similar to the values of HI strategies 1 and 3 with 200 kg N ha⁻¹. These results agree with those reported by Dreccer *et al.* (2000), who found that the change in HI was not consistent with the nitrogen rate was increased. Moreover, Austin *et al.* (1980) and Sinha *et al.* (1981) found a high HI due to increased grain yield in modern cultivars. However, Waddington *et al.* (1987) suggested that increases in grain yield in wheat cultivars is recent (released after 1975 CIMMYT) were largely due to increased production of biom handle. Thus, Perry and D'Antuono (1989) in a study which evaluated various Australian cultivars, found that biomass and grain yield of modern genotypes were significantly increased with increasing IC.

En la interacción D x E (Figura 3c) las estrategias 2 y 3 con la dosis de 100 kg N ha⁻¹, mostraron valores de IC significativamente superiores respecto de la estrategia 1 y fueron estadísticamente similares a los valores de IC en las estrategias 1 y 3 con 200 kg N ha⁻¹. Éstos resultados coinciden con los reportados por Dreccer *et al.* (2000), quienes encontraron que el cambio en el IC no fue consistente cuando la dosis de nitrógeno se incrementó. Por otro lado, Austin *et al.* (1980) y Sinha *et al.* (1981), encontraron un IC alto como consecuencia de un mayor rendimiento de grano en cultivares modernos. Sin embargo, Waddington *et al.* (1987) sugirió que incrementos en el rendimiento de grano en cultivares recientes de trigo (liberados después de 1975 por CIMMYT) fueron en gran medida debido a una mayor producción de biomasa. En este sentido, Perry y D'Antuono (1989) en un estudio donde evaluaron diversos cultivares australianos, encontraron que la biomasa y rendimiento de grano de genotipos modernos se aumentó significativamente al incrementarse el IC.

Radiation interception and use efficiency of radiation

The crop productivity depends on its ability to intercept solar radiation and the efficiency with which said radiation is converted to dry matter (Lindquist *et al.*, 2005). In this paper, the cumulative intercepted radiation (RIA) was statistically similar in Salamanca S-75 and Romoga F-96 varieties, both doses of nitrogen, which can be attributed to these cultivars have a low response to the application N similar to that observed previously with grain yield (Figure 4a).

In Toluca F-2005, negative with increasing N rate effect was observed; however, the value of RIA found in Toluca F-2005 at a dose of 100 kg N ha⁻¹ (664.4 MJ m⁻²) was similar to that presented by the other two varieties with the dose of 200 kg N ha⁻¹ (667.6 MJ m⁻²) (Figure 4a). This was because the modern cultivars have more erected leaves, curved blade position and have larger flag leaf, implying better light interception (Bonhomme, 2000).

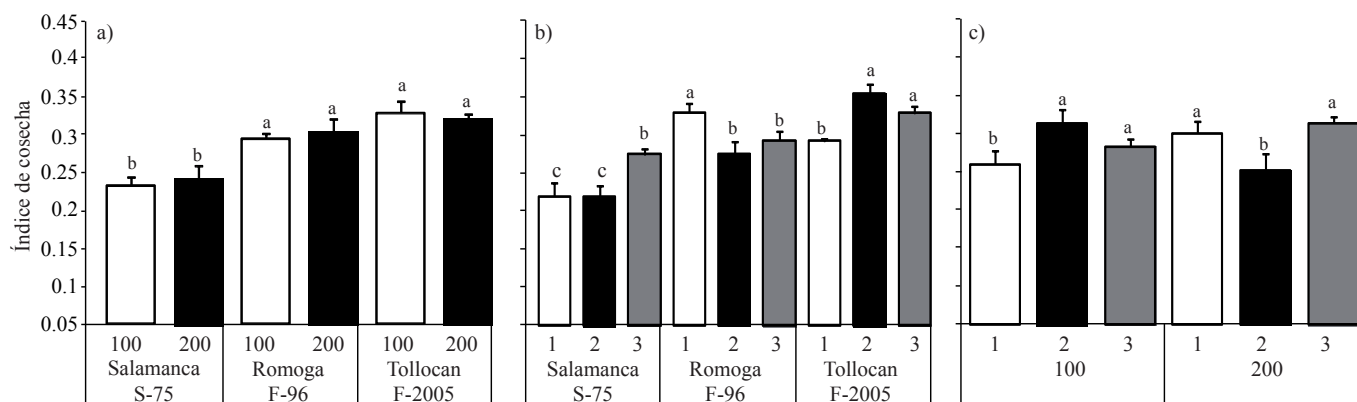


Figura 3. Relaciones entre el índice de cosecha y el cultivar y dosis de nitrógeno (a), y el cultivar y estrategia de aplicación (b), y dosis de nitrógeno y estrategia de aplicación (c), para tres genotipos de trigo y dos dosis de nitrógeno (100 y 200 kg N ha⁻¹) en Toluca, México. Estrategias: 1(S y Amac.), 2(S y ET), 3(S y HB).

Figure 3. Relationships between harvest index and cultivar and nitrogen rate (a), and cultivar and implementation strategy (b), and doses of nitrogen and implementation strategy (c) for three genotypes of wheat and two doses of nitrogen (100 and 200 kg N ha⁻¹) in Toluca, Mexico. Strategies. (Amac and S) 1, 2 (S and ET); and 3 (S and HB).

Radiación interceptada y eficiencia en el uso de la radiación

La productividad de un cultivo depende de su capacidad para interceptar la radiación solar y de la eficiencia con la que dicha radiación es transformada en materia seca (Lindquist *et al.*, 2005). En el presente trabajo, la radiación interceptada acumulada (RIA) fue estadísticamente similar en las variedades Salamanca S-75 y Romoga F-96, en ambas dosis de nitrógeno, lo cual puede ser atribuido

The interaction analysis revealed that V x E strategies 1 and 3 in Salamanca S-75 and Romoga F-96 varieties, showed significantly higher values compared to RIA Strategy 2 (Figure 4b). Furthermore, in Toluca F-2005, it can be seen that as is delayed the second application of N RIA tends to increase, but this trend was not statistically significant (Figure 4b). This can be attributed to the N allows greater survival of tillers and consequently remains greater RIA. This coincides with Dreccer *et al.* (2000), who found that there is a greater duration wheat green leaf

a que estos cultivares presentan una baja respuesta a la aplicación de N similar a lo observado anteriormente con el rendimiento de grano (Figura 4a).

area which allowed greater intercept radiation longer. The case of interaction N x E was clear that strategies 1 and 3, both doses of N possible to maximize solar radiation

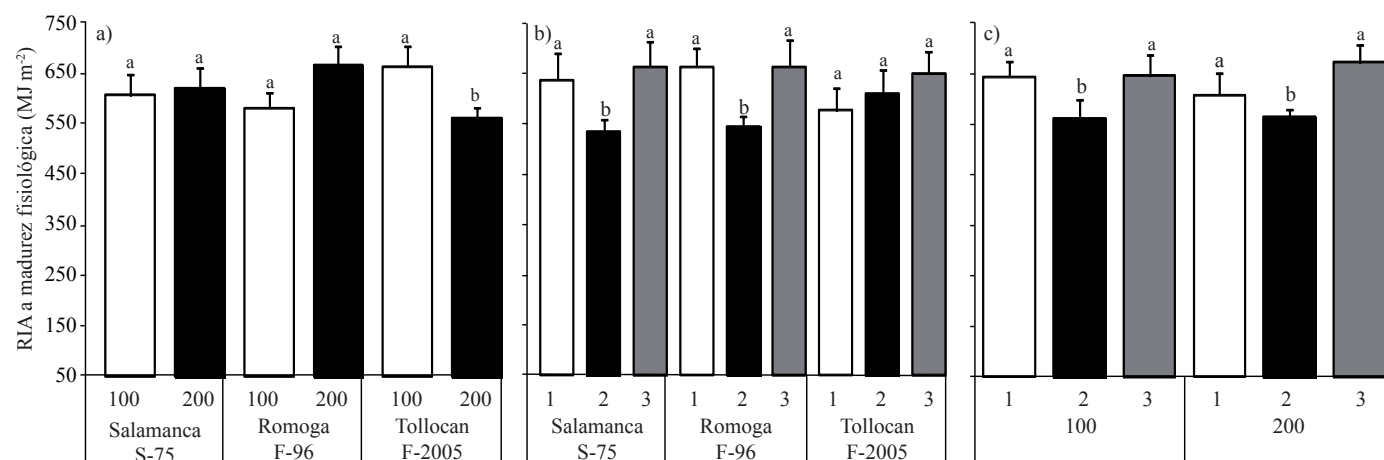


Figura 4. Relaciones entre la radiación interceptada acumulada (RIA) a madurez fisiológica y el cultivar y dosis de nitrógeno (a), y el cultivar y estrategia de aplicación (b), y dosis de nitrógeno y estrategia de aplicación (c), para tres genotipos de trigo y dos dosis de nitrógeno (100 y 200 kg N ha⁻¹) en Toluca, México. Estrategias: 1 (S y Amac.), 2 (S y ET), 3 (S y HB).

Figure 4. Relationships between cumulative intercepted radiation (RIA) to physiological maturity and cultivar and nitrogen rate (a), and cultivar and implementation strategy (b), and doses of nitrogen and implementation strategy (c) for three genotypes wheat and two nitrogen rates (100 and 200 kg N ha⁻¹) in Toluca, Mexico. Strategies: 1. (S and Amac.); 2 (S and ET); and 3 (S and HB).

En Tollocan F-2005 se observó un efecto negativo al aumentar la dosis de N; sin embargo, el valor de RIA encontrada en Tollocan F-2005 con la dosis de 100 kg N ha⁻¹ (664.4 MJ m⁻²) fue similar al presentado por los otras dos variedades con la dosis de 200 kg N ha⁻¹ (667.6 MJ m⁻²) (Figura 4a). Lo anterior, fue debido a que los cultivares modernos tienen hojas más erectas, posición de la hoja curvada y cuentan con hoja bandera más grande, lo que implica mejor interceptación de la luz (Bonhomme, 2000).

El análisis de la interacción V x E reveló que las estrategias 1 y 3 en las variedades Salamanca S-75 y Romoga F-96, mostraron los valores significativamente más altos de RIA respecto a la estrategia 2 (Figura 4b). Por otro lado, en Tollocan F-2005, se puede apreciar que a medida que se retrasa la segunda aplicación de N la RIA tiende a incrementarse; sin embargo, esta tendencia no fue estadísticamente significativa (Figura 4b). Esto puede ser atribuido a que el N permite una mayor sobrevivencia de macollos y por consecuencia se mantiene una mayor RIA. Lo anterior es coincidente con Dreccer *et al.* (2000), quienes encontraron que en trigo existe una mayor duración del área foliar verde lo cual permitió interceptar mayor radiación por más tiempo. Para el caso de la interacción N x E fue claro que las estrategias 1 y 3, en ambas dosis de N permiten maximizar la interceptación de radiación solar respecto de la estrategia 2. En este

interception regarding strategy 2. Thus, the N in strategy 1, allows greater generation of tillers, and the second a greater survival of these (Fischer, 1993; Dreccer *et al.*, 2000).

No relationship between biomass at physiological maturity and RIA to physiological maturity (Figure 5a) was observed. However, between the biomass and the EUR to physiological maturity a linear relationship ($r^2 = 0.74$) was observed, this indicates that variations in biomass generated by cultivar, N rate and strategy were best explained by the changes brought in the EUR, which coincides with Estrada-Campuzano *et al.* (2012), who in evaluating a set of cultivars of triticale and wheat under water stress found that changes in biomass are best explained by changes in the EUR than by RIA. Figure 5b shows that the higher biomass production (2 533.13 gm⁻²) was obtained in Tollocan F-2005, followed by Romoga F-96 (2 307.40 gm⁻²).

We also found that the values were higher in EUR Romoga F-96, with the high dose and strategy 2 and Tollocan F-2005 with the high dose and Strategy 3 (4.2 and 4.0 g MJ⁻¹, respectively). These results confirm those reported by Siddique *et al.* (1989), who observed that the

sentido, el N en la estrategia 1, permite una mayor generación de macollos, mientras que la segunda una mayor sobrevivencia de los mismos (Fischer, 1993; Dreccer *et al.*, 2000).

No se observó una relación entre la biomasa a madurez fisiológica y la RIA a madurez fisiológica (Figura 5a). Sin embargo, entre la biomasa y la EUR a madurez fisiológica se observó una relación lineal ($r^2 = 0.74$), esto indica que las variaciones en biomasa generadas por el cultivar, la dosis de N y la estrategia fueron mejor explicadas por los cambios generados en la EUR, lo cual coincide con Estrada-Campuzano *et al.* (2012), quienes al evaluar un conjunto de cultivares de triticale y trigo en condiciones de estrés hídrico encontraron que los cambios en biomasa aérea se explicaron mejor por cambios en la EUR que por la RIA. En la Figura 5b se observa que la mayor producción de biomasa (2533.13 g m^{-2}) fue obtenida en Tollocan F-2005, seguida de Romoga F-96 (2307.40 g m^{-2}).

U.S. was slightly better for modern cultivars (1984-1986). Albrizio and Steduto (2005) concluded that the application of N increased biomass production and photosynthetic capacity per unit of intercepted radiation in sunflower, i.e., that the availability of N induces a slight increase in the EUR, since the N causes a greater leaf expansion.

No relationship between the biomass and the RIA anthesis to anthesis (Figure 6a) was observed. However, the amount RIA was higher in genotype Tollocan F-2005, while the lowest value corresponded to Salamanca S-75. Conversely, Calderini *et al.* (1997) found that wheat cultivars recent release had the lowest average RIA to anthesis. Was also noted that biomass was greater in Tollocan F-2005, followed by Romoga F-96 and finally Salamanca S-75 with mean 1242.10 , 1212.60 , 1139.34 g m^{-2} , respectively. Opposite

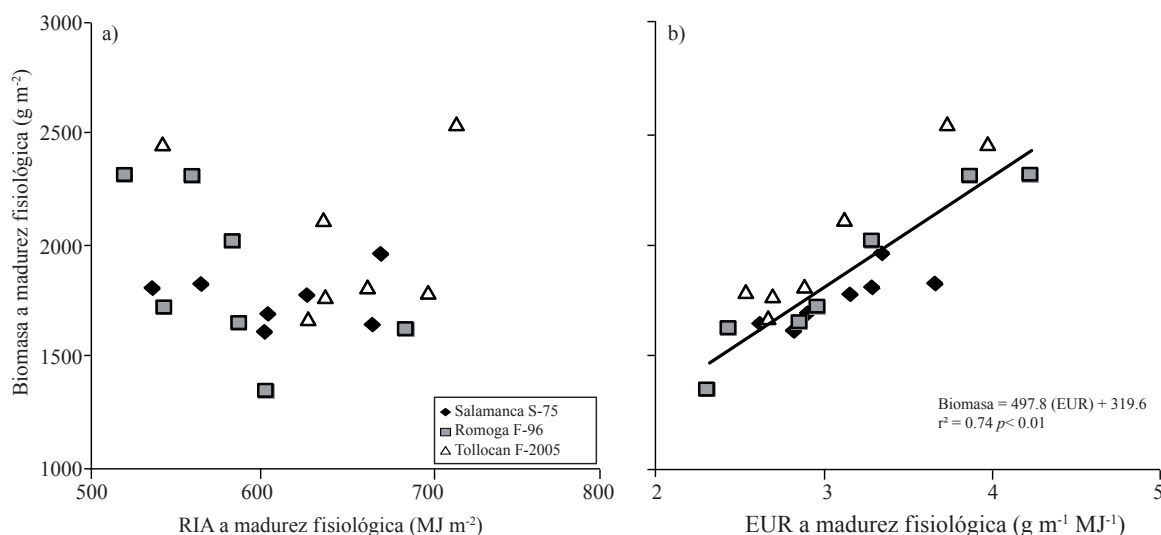


Figura 5. Relaciones entre la biomasa a madurez fisiológica y la radiación interceptada acumulada (RIA) a madurez fisiológica (a), y la eficiencia en el uso de la radiación (EUR) a madurez fisiológica (b), para tres genotipos de trigo y dos dosis de nitrógeno en Toluca, México.

Figure 5. Relationships between biomass at physiological maturity and accumulated intercepted radiation (RIA) to physiological maturity (a), and the efficiency of radiation (EUR) to physiological maturity (b) for three genotypes of wheat and two doses of nitrogen in Toluca, Mexico.

Asimismo, se encontró que los valores de EUR fueron superiores en Romoga F-96, con la dosis alta y estrategia 2, y Tollocan F-2005 con la dosis alta y estrategia 3 (4.2 y 4.0 g MJ^{-1} , respectivamente). Estos resultados confirman lo reportado por Siddique *et al.* (1989), quienes observaron que la EUR fue ligeramente mejor para cultivares modernos (1984-1986). Albrizio y Steduto (2005) concluyeron que la

results were shown by Calderini *et al.* (1997), who found that the biomass at anthesis tended to be lower in cultivars recent release in relation to the old materials.

Moreover, Figure 6b shows a positive relationship ($r^2 = 0.57$, $p < 0.01$) between biomass and EUR to anthesis. Salamanca S-75 had the highest value of EUR, followed by Tollocan

aplicación de N incrementó la producción de biomasa y capacidad fotosintética por unidad de radiación interceptada en girasol; es decir, que la disponibilidad de N induce un ligero incremento en la EUR, ya que el N provoca una mayor expansión foliar.

No se observó una relación entre la biomasa a antesis y la RIA a antesis (Fig. 6a). Sin embargo, la cantidad RIA fue mayor en el genotipo Tollocan F-2005, mientras que el valor más bajo correspondió a Salamanca S-75. Contrariamente, Calderini *et al.* (1997) encontraron que los cultivares de trigo de reciente liberación, presentaron los promedios más bajos de RIA a antesis. Asimismo, se observó que la biomasa fue mayor en Tollocan F-2005, seguida de Romoga F-96 y finalmente Salamanca S-75, con medias de 1 242.10, 1 212.60 y 1 139.34 g m⁻², respectivamente. Resultados opuestos fueron mostrados por Calderini *et al.* (1997), quienes encontraron que la biomasa a antesis tendió a ser menor en cultivares de reciente liberación en relación a los materiales antiguos.

Por otro lado, la Figura 6b revela una relación positiva ($r^2 = 0.57$; $p < 0.01$) entre biomasa y la EUR a antesis. Salamanca S-75 presentó el mayor valor de EUR, seguido de Tollocan F-2005 y Romoga F-96 (con medias de 4.82, 4.15 y 3.97 g MJ⁻¹, respectivamente), con la dosis 200 kg N ha⁻¹. Sin embargo, resultados opuestos fueron presentados por Siddique *et al.* (1989) quienes encontraron valores mayores de EUR en genotipos modernos de trigo en relación al cultivar antiguo.

F-2005 and F-96 Romoga (with averages of 4.82, 4.15 and 3.97 g MJ⁻¹, respectively), with the dose 200 kg N ha⁻¹. However, opposite results were presented by Siddique *et al.* (1989) who found higher values in modern wheat genotypes in relation to the old farm.

Conclusions

We observed better responses in grain yield when nitrogen fertilization was fractionated 50% N at sowing + 50% at the terminal spikelet stage, and 50% N at sowing + 50% N in the flag leaf stage, without however, there was a differential response between cultivars and fertilization. At the dose of 200 kg N ha⁻¹ increased an average biomass production, performance and efficiency of the radiation. The variety Tollocan F-2005 showed higher biomass production, yield and HI in the varieties Salamanca S-75 and Romoga F-96. In our study, the cultivar recent release Tollocan F-2005 reached the maximum grain yield (695.61 g m⁻²) when it supplied 200 kg N ha⁻¹ using 50% N at planting and 50% at flag leaf (strategy 3).

End of the English version

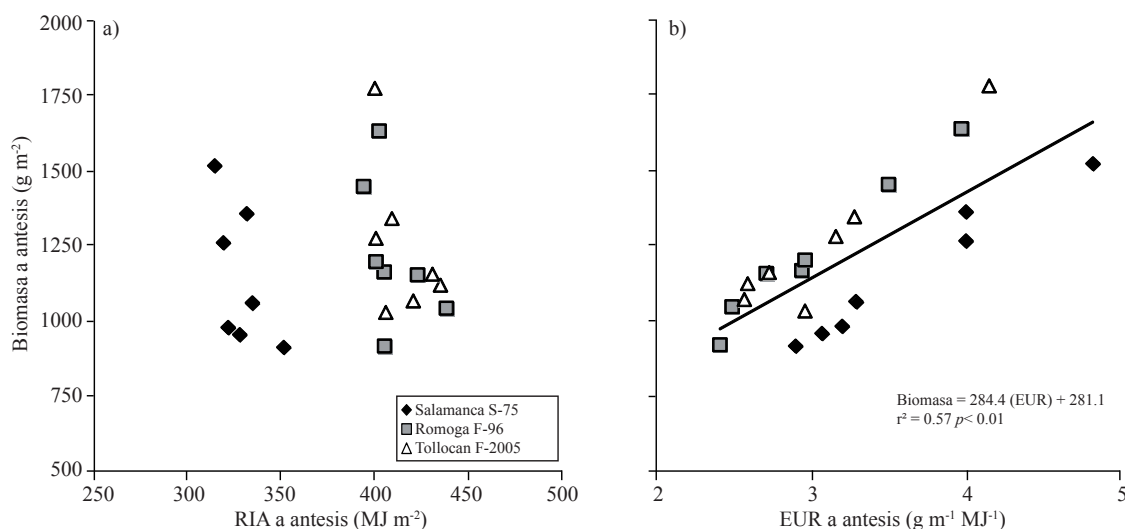


Figura 6. Relaciones entre la biomasa a antesis y la radiación interceptada acumulada (RIA) a antesis (a) y la eficiencia en el uso de la radiación (EUR) a antesis (b) para tres genotipos de trigo y dos dosis de nitrógeno en Toluca, México.

Figure 6. Relationships between biomass at anthesis and accumulated intercepted radiation (RIA) to anthesis (a) and the efficiency of radiation (EUR) to anthesis (b) for three genotypes of wheat and two doses of nitrogen in Toluca, México.

Conclusiones

Se observaron mejores respuestas en el rendimiento de grano cuando se fraccionó la fertilización nitrogenada 50% N en la siembra + 50% en la etapa de espiguilla terminal; y 50% N en la siembra + 50% N en la etapa de hoja bandera; sin embargo, existió una respuesta diferencial entre cultivares y dosis de fertilización. Con la dosis de 200 kg N ha⁻¹ se incrementaron en promedio la producción de biomasa, el rendimiento y la eficiencia en el uso de la radiación. La variedad Tollocan F-2005 mostró mayor producción de biomasa, rendimiento e IC que las variedades Salamanca S-75 y Romoga F-96. En nuestro estudio, el cultivar de reciente liberación Tollocan F-2005 alcanzó el máximo rendimiento de grano (695.61 g m⁻²) cuando se suministraron 200 kg N ha⁻¹ aplicando 50% N en la siembra y 50% en hoja bandera (estrategia 3).

Agradecimientos

La autora principal y coautores agradecen a la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM), por el apoyo brindado para la realización de este estudio, el cual forma parte del proyecto de investigación “Atributos ecofisiológicos determinantes del rendimiento en trigo y cebada en respuesta a la fertilización nitrogenada” con clave “2860/2010U”.

Literatura citada

- Abeledo, L. G.; Calderini, D. F. and Slafer, G. A. 2003. Genetic improvement of yield responsiveness to nitrogen fertilization and its physiological determinants in barley. *Euphytica* 133:291-298.
- Abeledo, L. G.; Calderini, D. F. and Slafer, G. A. 2008. Nitrogen economy in old and modern malting barleys. *Field Crops Res.* 106:171-178.
- Albrizio, R. and Steduto, P. 2005. Resource use efficiency of field-grown sunflower, sorghum, wheat and chickpea. I. Radiation use efficiency. *Netherlands. Agric. Forest Meteorol.* 130:254-268.
- Albrizio, R.; Todorovic, M.; Matic, T. and Stellacci, M. A. 2010. Comparing the interactive effects of water and nitrogen on durum wheat and barley grown in a Mediterranean environment. *Netherlands. Field Crops Res.* 115:179-190.
- Austin, B. R.; Bingham, J.; Blackwell, D. R.; Evans, T. L.; Ford, A. M.; Morgan, L. C. and Taylor, M. 1980. Genetic improvements in winter wheat yields since 1900 and associated physiological changes. *Canada. J. Agric. Sci.* 94:675-89.
- Bonhomme, R. 2000. Beware of comparing RUE values calculated from PAR vs solar radiation or absorbed vs intercepted radiation. *Field Crops Res.* 68:247-252.
- Calderini, D. F.; Abeledo, L. G.; Savin, R. and Slafer, G. A. 1999. Effect of temperature and carpel size during pre-anthesis on potential grain weight in wheat. *J. Agric. Sci. Cambridge.* 132:453-459.
- Calderini, D. F.; Dreccer, F. M. and Slafer, A. G. 1997. Consequences of breeding on biomass, radiation interception and radiation-use efficiency in wheat. *Netherlands. Field Crops Res.* 52:271-281.
- Calderini, D. F. and Slafer, G. A. 1999. Has yield stability changed with genetic improvement of wheat yield? *Euphytica* 107:51-59.
- Campillo, R. R.; Jobet, F. C. y Undurraga, D. P. 2007. Optimización de la fertilización nitrogenada para trigo de alto potencial de rendimiento en andisoles de la región de la Araucanía, Chile. *Chile. Agricultura Técnica.* 67:281-291.
- D'Andrea, E. K.; Otegui, E. M. and Cirilo, G. A. 2008. Kernel number determination differs among maize hybrids in response to nitrogen. *Netherlands. Field Crops Res.* 105:228-239.
- Dreccer F.; M.; Schapendonk, A. H. C. M.; Slafer, A. G. and Rabbinge, R. 2000. Comparative response of wheat and oilseed rape to nitrogen supply: absorption and utilization efficiency of radiation and nitrogen during the reproductive stages determining yield. *Netherlands. Plant and Soil.* 220:189-205.
- Organization of the United Nations Food and Agriculture Organization (FAO). 2012. FAOSTAT, FAO statistical databases - agriculture (available at <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx>) (fecha de acceso 12/09/2012).
- Fletcher, A. L.; Brown, H. E.; Johnstone, P. R. de Ruiter, J. M. and Zyskowski, R. F. 2011. Making sense of yield trade-offs in a crop sequence: a New Zealand case study. *Field Crops Res.* 124:149-156.
- Estrada-Campuzano, G.; Miralles J. D. and Slafer, A. G. 2012. Differences in yield, biomass and their components between triticale and wheat grown under contrasting water and nitrogen environments. *Netherlands. Field Crops Res.* 128:167-179.
- Fischer, A. R. 1993. Irrigated spring wheat and timing and amount of nitrogen fertilizer. II. Physiology of grain yield response. *Netherlands. Field Crops Res.* 33:57-80.
- Fischer, R. A. and Edmeades, G. O. 2010. Breeding and cereal yield progress. *Crop Science* 50:85-98.
- Gallagher, N. J. and Biscoe, V. P. 1978. Radiation absorption, growth and yield of cereals. *Canada. J. Agric. Sci.* 91:47-60.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köpen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). México, D. F. 217 pp.
- Giambalvo, D.; Ruisi, P.; Miceli, G. D.; Salvatore, F. A. and Amato, G. 2010. Nitrogen use efficiency and nitrogen fertilizer recovery of durum wheat genotypes as affected by interspecific competition. *Agron. J.* 102:707-715.
- Guarda, G.; Padovan, S. and Delogu, G. 2004. Grain yield, nitrogen-use efficiency and baking quality of old and modern Italian bread-wheat cultivars grown at different nitrogen levels. *Eur. J. Agron.* 21:181-192.
- Hunt, H. W.; Detling, J.; K. Elliott, E. T.; Monz, C. A. and Strain, B. R. 1990. The effects of elevated CO₂ and climate change on grasslands. I. Response of aboveground primary production in intact sods of native shortgrass prairie. *Bulletin Ecology. Society of America* 71-196.

- Jandel Scientific. 1994. Table Curve 2D. User's Manual version 2.03 AISN Software. Jandel Scientific, Corte Madera. CA, USA.
- Limón-Ortega, A.; Villaseñor-Mir, E. and Espitia-Rangel, E. 2008. Nitrogen management and wheat genotype performance in a planting system on narrow raised beds. *Cereal Res. Comm.* 36:343-352.
- Lindquist, J. L.; Arkebauer, T. J.; Walters, D. T.; Cassman, K. G. and Dobermann, A. 2005. Maize radiation use efficiency under optimal growth conditions. *Agron. J.* 97:72-78.
- López, B. L.; Muñoz, R. V.; Fernández, G. P.; Redondo, R. y López-Bellido, G. R. J. 2012. Respuesta del trigo a la aplicación fraccionada del nitrógeno fertilizante. *España. Vida rural* 349:32-37.
- Otegui, E. M.; Nicolini, G. M.; Ruiz, A. R. and Dodds, P. 1995 Sowing date effects on grain yield components for different maize genotypes. *USA. Agron. J.* 87:29-33.
- Perry, W. M. and D'Antuono, F. M. 1989. Yield improvement and associated characteristics of some Australian spring wheats introduced between 1860 and 1982. *Australia. Australian J. Agric. Res.* 40:457-72.
- Statistical Analysis System (SAS) Institute. 2002. SAS user's guide. Statistics. Version 9. SAS Inst., Cary, NC. USA. Quality, and elemental removal. *J. Environ. Qual.* 19:749-756.
- Serrano, L.; Filella, I. and Peñuelas, J. 2000. Remote sensing of biomass and yield of winter wheat under different nitrogen supplies. *Crop Sci.* 40:723-731.
- Siddique, M. K. H.; Belford, K. R.; Perry, W. M. and Tennant, D. 1989. Growth, Development and Light Interception of Old and Modern Wheat Cultivars in a Mediterranean-type Environment. *Australia. Australian J. Agric. Res.* 40:473-487.
- Sinha, K. S.; Aggarwal, K. P.; Chaturvedi, S. G.; Koundal, R. K. and Khanna-Chopra, R. 1981. A comparison of physiological and yield characters in old and new wheat varieties. *USA. J. Agric. Sci. Cambridge.* 97:233-236.
- Slafer, A. G. 2003. Genetic basis of yield as viewed from a crop physiologist's perspective. *UK. Ann. Appl. Biol.* 142:117-128.
- United States Department of Agriculture (USDA)- Natural Resources Conservation Service. 2000. World Soil Resources Natural Resources Conservation Service (www.nhq.usda.gov/WSR/). Washington, DC.
- Waddington, R. S.; Osmanzai, M.; Yoshida, S. and Ransom, K. J. 1987. The yield of durum wheats released in Mexico between 1960 and 1984. *Canada. J. Agric. Sci.* 108:469-477.
- Zadoks, C. J.; Chang, T. T. and Konzak, F. C. 1974. A decimal code for the growth stage of cereals. *UK. Weed Research* 14: 415-421.