

Efecto del régimen de defoliación sobre la producción de grano en trigo doble propósito

Peralta, N.; P.E. Abbate y A. Marino

RESUMEN

La utilización de cultivos de trigo con doble propósito contribuiría a realizar un uso más eficiente de los recursos ambientales. En Balcarce (Buenos Aires, Argentina) se estableció un cultivo de trigo (*Triticum aestivum*, cv. Baguette 20) sembrado en fecha temprana (17 de marzo de 2006) para comparar la producción de forraje obtenida con tres regímenes de defoliación: T1 (tres defoliaciones), T2 (dos defoliaciones) y TG (sin defoliaciones). En esos tres tratamientos y en otro no defoliado sembrado en fecha normal para la producción de grano (7 de junio, TN) se cuantificó la biomasa aérea (g MS m^2), el rendimiento de grano (kg ha^{-1}) y sus componentes. La producción de forraje de T1 fue similar que la de T2 (497 y 392 g m^2 , respectivamente). Las defoliaciones posteriores al estado de dos nudos (estado Zadoks 32) afectaron negativamente la radiación fotosintéticamente activa interceptada por el cultivo, disminuyendo tanto el número de granos m^2 como el peso por grano; en consecuencia, la producción de grano cayó 60% respecto de TG y 71% respecto de TN. Se estableció una relación cuantitativa entre la disminución del rendimiento en grano y el momento del último corte (i.e., días entre la última defoliación y antesis). El trigo presenta la ventaja de poseer un destino alternativo a su uso forrajero, que no la presentan otros verdes de invierno. Puede destinarse sólo para uso forrajero, sólo para producir grano, o se lo puede utilizar buscando un balance entre la producción de forraje y grano.

Palabras claves: trigo, producción de forraje, rendimiento de grano, momento de defoliación.

Peralta, N.; P.E. Abbate y A. Marino, 2011. Effect of the defoliation regime on grain production in dual purpose wheat. Agriscientia XXVIII: 1-11

SUMMARY

The utilization of dual purpose wheat crops may contribute to perform a more efficient use of environmental resources. In Balcarce (Buenos Aires, Argentina) a wheat crop (*Triticum aestivum*, cv. Baguette 20) was seeded at an early date

(March 17, 2006) and the forage production was compared with three defoliation frequencies: T1 (three defoliations); T2 (two defoliations) and TG (without defoliations). The aerial biomass, grain yield (kg ha^{-1}) and its components were quantified (g DW m^{-2}) for these three and for a non defoliated treatment seeded at a normal date for grain production (Jun 7, TN). Accumulated forage production by T1 was smaller than for T2 (497 and 392 g m^{-2} , respectively). The defoliations after two nodes (stage Zadoks 32) affected negatively the photosynthetically active radiation intercepted by the crop, diminishing the number of grains m^{-2} and the weight per grain; in consequence, the production of grain fell 60% with respect to TG and 71% with respect to TN. A quantitative relationship between the decrease of grain yield and the moment of the last cut (i.e., days between the last defoliation and anthesis) was established. With double purpose wheat, it is feasible to obtain a grain production that is not to be expected with other forage winter crops.

Key words: wheat, forage production, grain yield, defoliation timing.

N. Peralta. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina. P.E. Abbate. EEA Balcarce INTA y Facultad de Ciencias Agrarias (UNMDP). A. Marino. Facultad de Ciencias Agrarias (UNMDP). Correspondencia a: INTA, EEA Balcarce, CC 276, 7620, Balcarce, Buenos Aires, Argentina. Correspondencia a: pabbate@balcarce.inta.gov.ar

INTRODUCCIÓN

A mediados del siglo pasado, en la Argentina (y principalmente en el sudeste de la provincia de Buenos Aires), el cultivo de trigo se utilizaba no sólo para la producción de grano, sino también para obtener forraje (Coscia, 1967). Por esta razón se lo denominaba "trigo doble propósito" (DP). Durante los años '70, la difusión de cultivares de trigo con ciclo más corto, alto índice de cosecha y mayor potencial de rendimiento causaron una disminución en la utilización de cultivos de trigos DP y un aumento de los cultivos destinados exclusivamente a la producción de grano (Arzadún *et al.*, 2003). Desde entonces la siembra de trigo con el propósito de obtener forraje y grano perdió relevancia en los sistemas agrícola-ganaderos de la región.

A partir del año 2000 se introdujeron en la región cultivares de trigo de alto rendimiento, que por su largo ciclo podrían adaptarse para su utilización como trigo DP. Es decir, durante su ciclo de crecimiento deberían soportar una o más defoliaciones para uso forrajero y luego recomponer parcialmente su área verde para permitir obtener una cosecha de grano aceptable. En algunos trabajos (Dunphy *et al.*, 1982; Doveh *et*

al., 2002) se ha sugerido realizar el último pastoreo cuando uno o dos nudos son detectables, ya que un corte en encañazón podría reducir severamente la disponibilidad de fotoasimilados debido a una reducción del área verde cuando los requerimientos energéticos de la planta, asociados con el desarrollo reproductivo, son elevados. Por medio de un manejo adecuado del pastoreo, sin disminuir significativamente el rendimiento en grano, se obtendría un importante aporte de forraje en un período crítico de producción (Morant *et al.*, 2000) y se conseguiría reducir la superficie implantada con otros verdeos invernales, sembrados exclusivamente para su uso forrajero. La implementación del uso de trigo DP reduciría la competencia entre las actividades agrícolas y ganaderas por el uso del suelo.

Si bien desde hace varios años se realizan experiencias para determinar los resultados de la implementación del trigo DP en la región (p.ej. Merchán *et al.* (2002) y Arzadun *et al.* (2003), entre otros), la información disponible es aun escasa y prácticamente no existen datos recientes en los que se evalúe la aptitud de los nuevos cultivares disponibles para el sudeste bonaerense.

El presente trabajo tuvo por objetivos: 1) evaluar el efecto de la defoliación sobre la producción de

forraje y el rendimiento en grano por unidad de superficie (kg ha⁻¹) de un trigo de alto rendimiento, y 2) relacionar el momento del último corte con la caída del rendimiento en grano.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los datos consignados en este trabajo provienen de un experimento (BS06) conducido en la Unidad Integrada Balcarce (37° 45' S, 58° 18' O, 130 msnm) durante el año 2006 y de la bibliografía local e internacional. El ensayo se realizó sobre un suelo Argiudol Típico serie Mar del Plata (Soil Survey Staff, 2003), donde se evaluó un trigo (*Triticum aestivum*) cv. Baguette 20 (Nidera S.A.). La combinación de criterios de manejo dio un total de cuatro tratamientos: (T1) trigo destinado al uso forrajero (uso similar al de un verdeo), sembrado el 17 de marzo y al que se le efectuaron tres defoliaciones durante su ciclo de crecimiento; (T2) trigo utilizado para la producción de forraje, sembrado el 17 de marzo y con dos defoliaciones, la última realizada en estado de dos nudos detectables (estado Zadoks 32; Zadoks *et al.*, 1974) con la intención de disminuir los efectos negativos de la remoción de biomasa sobre el rendimiento de grano; (TG) trigo destinado a la producción de grano, sembrado el 17 de marzo y no defoliado durante el ciclo de crecimiento con el fin de obtener un rendimiento de grano máximo en siembra temprana; (TN) trigo destinado a la producción de grano, sembrado el 7 de junio (fecha recomendada en la zona) y no defoliado durante el ciclo de crecimiento, con el fin de obtener un rendimiento de grano máximo (en fecha de siembra óptima).

Para evitar que posibles deficiencias nutricionales limitaran el crecimiento de los cultivos, en cada uno de los tratamientos evaluados se aplicaron 21 kg ha⁻¹ de P y 100 kg ha⁻¹ de N en la emergencia del cultivo, y después de cada corte, 50 kg ha⁻¹ de N al voleo. El experimento se dispuso en un diseño en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones donde cada unidad experimental (parcela) midió 4,2 m de ancho (con surcos distanciados 0,2 m) por 5,5 m de largo.

Las cosechas de forraje se realizaron utilizando una motosegadora automotriz que permitió recolectar la biomasa aérea del metro central de cada parcela cuando la cobertura del suelo, evaluada visualmente, fue al menos de 70%. La altura de corte fue de 5 cm. Las fechas de corte de cada tratamiento se presentan en la Tabla 1. La biomasa cosechada se pesó en fresco. Sobre una submuestra se determinó el porcentaje de materia seca, a fin de cuantificar el peso seco

del forraje cosechado (g MS m⁻²). Las tasas de crecimiento del cultivo (TCC) se calcularon como la relación entre la acumulación de peso seco y los días transcurridos para el período considerado. El rendimiento en grano seco (kg ha⁻¹) de todos los tratamientos se obtuvo trillando las espigas cosechadas manualmente en 1 m de los 5 surcos centrales de todas las parcelas y midiendo la humedad en cada muestra de granos. El peso seco por grano (i.e. el peso de mil granos x 10⁻³) se cuantificó contando todos los granos de una submuestra de aproximadamente 40 g. Finalmente se obtuvo el número de granos m⁻² como el cociente entre el rendimiento en grano y su peso individual.

Para determinar el porcentaje de la radiación fotosintéticamente activa (RFA) incidente que fue interceptada por el cultivo (RFA_i), se realizó una medición de la RFA incidente sobre el canopeo (RFA_{sup}) y tres mediciones en la parte inferior del canopeo a nivel del suelo (RFA_{inf}), utilizando un radiómetro Delta AT. El cálculo del porcentaje de interceptación se realizó aplicando la siguiente ecuación: $RFA_i = (1 - RFA_{inf} / RFA_{sup}) \times 100$.

Dado que el crecimiento acumulado del cultivo durante la fase conocida como "período de crecimiento de las espigas" es crítico para la generación del número de granos m⁻² y el rendimiento en grano (Fischer, 1983; Fischer, 1985; Abbate *et al.*, 1994), a los fines del presente análisis se consideró como período de crecimiento de las espigas aquél comprendido entre 20 días antes y 10 días después de la antesis del cultivo (Abbate *et al.*, 1995; Lázaro, 1996; Abbate *et al.*, 1997).

Los datos meteorológicos provinieron de la estación meteorológica de la UI Balcarce, distante aproximadamente 400 m del sitio experimental. A partir de esos datos, para cada tratamiento se realizó un balance hídrico por el método FAO 56 (Allen *et al.*, 1998). A tal efecto se consideró que a la siembra el suelo estaba en capacidad de campo y que la profundidad de las raíces fue creciente hasta alcanzar la presencia de tosca a 1 m de profundidad.

Para cada variable se realizó un análisis de varianza (ANVA) mediante el procedimiento GLM del programa SAS. Cuando se detectaron diferencias entre tratamientos, la comparación de los promedios se realizó mediante la prueba de diferencia mínima significativa (DMS).

RESULTADOS

Condiciones climáticas

Los valores de precipitación y temperatura

durante el período considerado y los promedios (período 1970-2006) se presentan en las Figuras 1 y 2, respectivamente.

Al comienzo del periodo experimental se registraron precipitaciones más altas que las promedio en los meses de enero y febrero (118 y 125 mm, respectivamente). Posteriormente se produjo un período de bajas precipitaciones entre mediados de marzo y fines de abril, que no lograron afectar la implantación de los tratamientos de siembra temprana (T1, T2 y TG). En el mes de junio y julio ocurrieron precipitaciones superiores a 50 mm que permitieron que el tratamiento TN logre una correcta implantación. El mayor déficit se concentró durante los meses comprendidos desde mediados de septiembre a noviembre, momento en que el cultivo de trigo define el número de granos, principal componente del rendimiento (Abbate *et al.*, 1994). Por otro lado, las temperaturas medias mensuales durante el periodo experimental fueron normales o ligeramente superiores a los valores promedios para la localidad (Figura 2).

Radiación interceptada por las cubiertas

Al momento del primer corte (19 de junio) los tratamientos de siembra temprana (T1, T2 y TG) interceptaban 86% de la RFA incidente, mientras que el tratamiento sembrado en fecha normal (TN) interceptaba sólo 9% (Figura 3). La defoliación provocó una marcada disminución de la RFA interceptada en los tratamientos T1 y T2, y luego del primer corte éstos interceptaban 28 y 31% de la RFA incidente, respectivamente. Con posterioridad a la cosecha de forraje, los tratamientos defoliados expandieron su área verde y al momento de la segunda cosecha (5 de septiembre) interceptaban 82% de la RFA incidente.

Durante el período comprendido entre el primero y segundo corte, el tratamiento TN incrementó la RFA interceptada a igual tasa que T1 y T2 (a razón de 1,1% d⁻¹), mientras que TG mantuvo la interceptación $\geq 90\%$ que presentaba al momento del primer corte (Figura 3). El aumento de la RFA interceptada luego del segundo corte fue menor que luego del primero. Para el período comprendido entre el segundo corte y antesis, la tasa de incremento de la RFA interceptada fue de 0,4% d⁻¹ en los tratamientos defoliados (T1, T2), mientras el tratamiento TN siguió aumentando a una tasa de 1,1% d⁻¹ hasta fines del mes de septiembre.

Para T1, un escaso aumento de la proporción de RFA interceptada se observó luego de la tercera defoliación (5 de octubre, Figura 3). Para entonces, la proporción de RFA interceptada en los

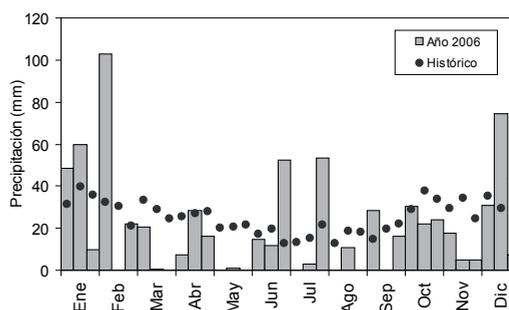


Figura 1: Precipitaciones decádicas del año 2006 y el promedio histórico (1970-2006), para la Estación Agrometeorológica del INTA Balcarce.

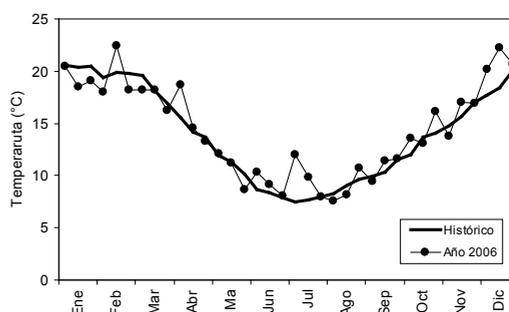


Figura 2: Temperaturas medias (promedio entre la temperatura máxima y mínima) decádicas del año 2006 y el promedio histórico (1970-2006), para la Estación Agrometeorológica del INTA Balcarce.

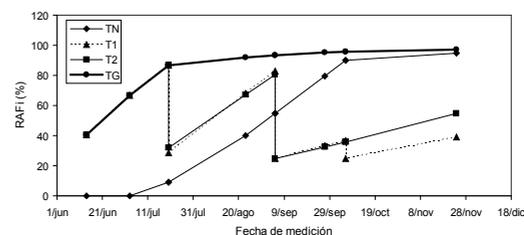


Figura 3: Porcentaje de radiación fotosintéticamente activa interceptada por cultivos de trigo (RFA interceptada) con diferentes tratamientos de defoliación (Tabla 1), en Balcarce durante el ciclo de cultivo 2006.

tratamientos TG y TN era igual o superior al 90% de la RFA incidente.

Producción de forraje del cultivo de trigo

El tratamiento TG fue el que presentó mayor biomasa a través del ciclo del cultivo (Figura 4), con una TCC promedio de 11 g MS m⁻² d⁻¹. El tratamiento TN presentó una TCC muy similar a la de TG, 10 g MS m⁻² d⁻¹, pero con un retraso de aproximadamente 20 días con respecto a este último (Figura 4). La TCC posterior a cada

corte (i.e. la tasa de rebrote) correspondiente a los tratamientos defoliados fue menor que las mencionadas para TG y TN. Sin embargo, 60 días después de la última defoliación realizada en el tratamiento T2, la TCC fue similar a la de TG y TN (Figura 4).

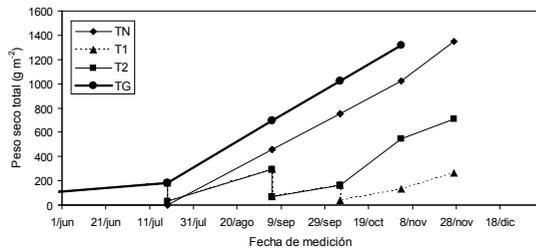


Figura 4: Evolución de la biomasa de cultivos de trigo con diferentes tratamientos de defoliación (Tabla 1), en Balcarce durante el ciclo de cultivo 2006.

La biomasa obtenida tanto en la primera cosecha de forraje (19 de junio) como en la segunda (5 de septiembre), no mostró diferencias significativas entre los tratamientos T1 y T2 (Figura 5), y presentó valores promedios de 134 y 166 g MS m⁻² para los cortes 1 y 2, respectivamente. La tercera cosecha, que sólo se realizó en el tratamiento T1, produjo 122 g MS m⁻². Por lo tanto, la producción de forraje acumulada para el tratamiento T1 fue de 487 g MS m⁻², estadísticamente similar que la del tratamiento T2 (392 g MS m⁻²).

El tratamiento TG presentó antesis el 22 de octubre. La fecha de siembra retrasó la antesis hasta el 3 de noviembre para TN y el retraso fue mayor en los tratamientos defoliados (18 de noviembre en T2 y 22 de noviembre en T1). Pese al retraso en la antesis de los tratamientos defoliados con respecto a TG, su producción de forraje fue significativamente menor (valor promedio para T1 y T2 de 521 g MS m⁻² vs. 1320 g MS m⁻² para TG). En la Figura 6 se puede observar que incluso considerando la biomasa previamente cosechada como forraje, la biomasa acumulada hasta antesis en los tratamientos defoliados resultó igual o menor que la de TG. El tratamiento TN tuvo una biomasa intermedia (1022 g MS m⁻²) entre TG y T2.

Producción de grano de trigo bajo distintos regímenes de defoliación

Durante el período crítico para la determinación del número de granos (20 días antes a 10 días después de antesis), la evapotranspiración del TG fue la única que resultó menor a la evapotranspiración potencial (30% menor, Figura 7). Durante este período la lluvia captada por los

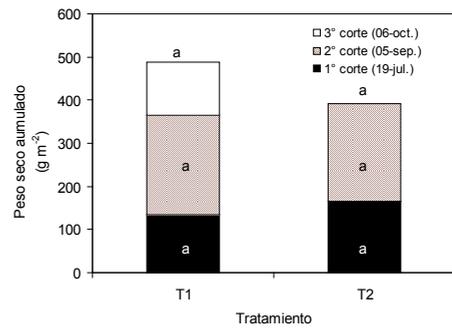


Figura 5: Producción de forraje acumulada a través de los cortes, de trigo con diferentes tratamientos de defoliación (Tabla 1). Letras iguales indican ausencia de diferencias significativas entre tratamientos con una MDS ($p > 0,05$) de 48,7; 111,5; 112,3 y 145 g m⁻² para cada corte y para el total, respectivamente.

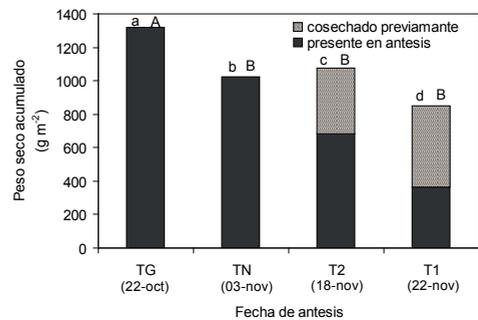


Figura 6: Biomasa acumulada hasta antesis de trigo con diferentes tratamientos de defoliación (Tabla 1). La fecha de antesis de cada tratamiento se presenta entre paréntesis. Letras iguales indican ausencia de diferencias significativas entre tratamientos ($p > 0,05$), letras minúsculas marcan diferencias en la biomasa en antesis con una MDS de 295 g MS m⁻² y letras mayúsculas en la biomasa acumulada con una MDS de 330 g MS m⁻².

tratamientos de siembra temprana fue entre 54 y 69 mm menos que en el tratamiento TN, el cual acumuló 105 mm. La evapotranspiración potencial de los tratamientos con defoliación (T1 y T2) fue aproximadamente 30% menor que la de TN, mientras que para el TG fue solamente 15% menor. No se encontraron diferencias entre tratamientos en la cantidad estimada de agua útil disponible en el suelo al inicio de este período crítico (promedio general 75 mm). Por otro lado, durante este mismo período, la radiación interceptada por el cultivo resultó claramente afectada en los tratamientos con defoliación (T1 y T2) promediando 48%, mientras que en los tratamientos no defoliados (TG y TN) alcanzó en promedio más de 90% (Figura 8).

Los valores de TCC correspondientes al período crítico para la determinación del número de granos (20 días antes a 10 días después de antesis) en los tratamientos no defoliados (TN y TG) fueron de 15,0 y 11,0 g MS m⁻² día⁻¹, respectivamente

hay

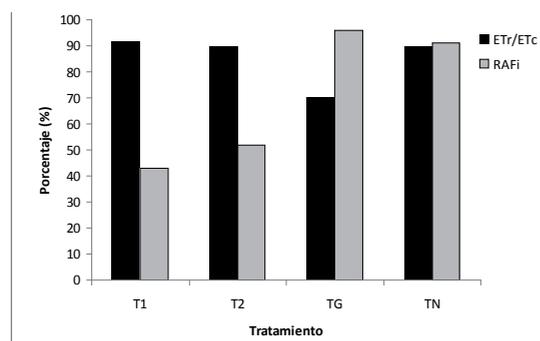


Figura 7: Porcentaje de radiación fotosintéticamente activa interceptada (RAFi) y relación porcentual entre la evapotranspiración real (ETr) y la potencial (ETc) del cultivo de trigo, con diferentes tratamientos de defoliación (Tabla 1), promedio correspondiente a los 20 días previos y 10 posteriores a antesis.

(Tabla 1). La defoliación afectó negativamente la TCC registrándose valores de $8,8 \text{ g MS m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ en promedio, para los tratamientos T1 y T2 (Tabla 1 y Figura 9).

Los tratamientos defoliados presentaron una producción de grano significativamente menor (promedio 1892 kg ha^{-1}) a la de los tratamientos no defoliados (Figura 8a). Por otro lado, estos últimos difirieron entre sí, siendo el rendimiento de TN significativamente mayor (6603 kg ha^{-1}) que el de TG (4889 kg ha^{-1}) (Figura 8a). El rendimiento se asoció con el número de granos m^{-2} ($r^2 = 0,99$; $P \leq 0,01$; Figura 8b) y con el peso por grano ($r^2 = 0,91$; $p \leq 0,05$; Figura 8c) ya que hubo una alta y positiva relación entre el peso por grano y el número de granos m^{-2} ($r^2 = 0,89$; $p \leq 0,05$). El número de granos m^{-2} presentó una relación lineal y positiva cuando se lo asoció con la TCC calculada para el período crítico (Figura 9).

DISCUSIÓN

Producción de forraje del cultivo de trigo

Bajo las condiciones del presente experimento, los valores de producción de forraje acumulados para el tratamiento T1 (con tres defoliaciones) en 207 días ($\text{TCC} = 2,3 \text{ g MS m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) fueron superiores a los datos obtenidos por Lázaro en Azul (Bainotti *et al.*, 2006) ($\text{TCC} = 1,9 \text{ g MS m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) y que los valores de Dunphy *et al.* (1982, 1983) de Texas (EE. UU.). Por el contrario, la TCC obtenida en el presente experimento fue inferior a la obtenida por Bainotti *et al.* (2005a) en Marcos Juárez ($5,0 \text{ g MS m}^{-2} \text{ d}^{-1}$).

Por otro lado, el tratamiento T2, con 172 días de crecimiento desde la siembra y dos

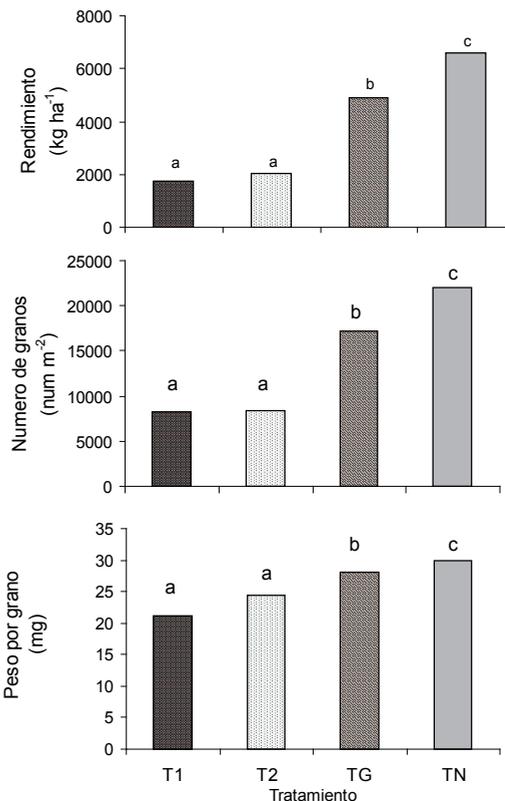


Figura 8: (a) Rendimiento en grano seco, (b) Número de granos m^{-2} y (c) Peso seco por grano, de trigo con diferentes tratamientos de defoliación (Tabla 1). Letras iguales indican ausencia de diferencias significativas entre tratamientos con una MDS ($p > 0,05$) de (a) 151 kg ha^{-1} , (b) $3540 \text{ granos m}^{-2}$ y (c) $3,48 \text{ mg}$.

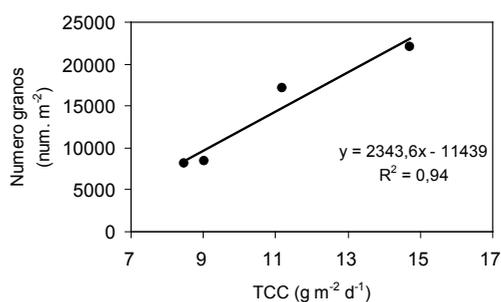


Figura 9: Relación entre el número de granos y la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) durante los 20 días previos y 10 posteriores a antesis, para trigo con diferentes regímenes de defoliación.

defoliaciones, tuvo una TCC de $2,2 \text{ g MS m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Este último tratamiento también fue evaluado en un experimento conducido en Balcarce (campaña 2005/06; Pacheco, 2007), el cual tuvo una producción acumulada de forraje de 324 g MS m^{-2} en 180 días de crecimiento desde la siembra

Tabla 1: Principales características de manejo para cada tratamiento y tasa de crecimiento del cultivo (TCC) entre 20 días antes a 10 días después de antesis. Letras iguales indican ausencia de diferencias significativas entre tratamientos con una MDS ($p < 0,05$) de $1,1 \text{ g MS m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

Tratamiento	Fecha de (día, mes, año)		TCC ($\text{g MS m}^{-2} \text{ día}^{-1}$)
	siembra	defoliaciones	
T1	17-03-2006	19-07-2006 05-09-2006 06-10-2006	8,5a
T2	17-03-2006	19-07-2006 05-10-2006	9,0a
TG	17-03-2006	---	11,0b
TN	07-06-2006	---	15,0c

(equivalente a $1,8 \text{ g MS m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). Entonces, en el presente ensayo el cultivo de trigo tuvo una TCC 22% superior que la del ensayo previo en Balcarce (Pacheco, 2007), 57% mayor a las obtenidas en Bordenave (Bainotti *et al.*, 2006) y 46% inferior a la mencionada para Marcos Juárez (Bainotti *et al.*, 2006).

La Tabla 2 sintetiza la información referida a la producción de forraje cuantificada en diversos trabajos. Puede apreciarse que la producción promedio de forraje del cultivo de trigo en Balcarce (401 g MS m^{-2}) fue sólo 13% menor al valor promedio de los casos presentados en dicha tabla (460 g MS m^{-2}), quedando por encima de los valores establecidos para el sudeste y sudoeste bonaerense, y por debajo de aquellos obtenidos en Marcos Juárez. Por lo tanto, la información disponible sustenta la factibilidad de la práctica de trigo DP en Balcarce. Cabe destacar la similitud en la producción de forraje para los tratamientos T1 y T2, con tres y dos defoliaciones, respectivamente (Figura 5). Esto podría atribuirse al momento de realización del último corte,

donde la RFA interceptada (Figura 3), la TCC y la biomasa (Figura 4) fueron más bajas que en cortes anteriores. Por el contrario, el tratamiento TG presentó una proporción de RFA interceptada y una TCC mayor que T1 y T2 luego del primer corte. En consecuencia, la cosecha de forraje afectó negativamente la TCC y por consiguiente, la acumulación de biomasa hasta antesis (*i.e.* suma de la biomasa presente y cosechada previamente Figura 6). Este efecto negativo de la defoliación sobre la TCC es previsible en especies como el trigo, que presentan un índice de área verde crítico, es decir un índice de área verde a partir del cual la TCC se hace máxima (Gardner, 1985).

Producción de grano de trigo bajo distinto régimen de defoliación

La disminución en el rendimiento de grano de los tratamientos defoliados (en promedio 61%) siguió una tendencia similar a la registrada por otros autores. A modo de ejemplo, para un trigo bajo riego y tres cortes durante un período de 183 días de crecimiento, Dunphy *et al.* (1982, 1983) mencionan un 59% de reducción en el rinde con respecto a los tratamientos no defoliados. En Balcarce, Pacheco (2007) observó una disminución de rendimiento en grano de 45%, cuando comparó el cultivo de trigo sin remoción de biomasa en todo su ciclo de crecimiento con aquél que sufrió dos defoliaciones durante el período vegetativo (ambos sembrados en la misma fecha, segunda semana de marzo).

El rendimiento del cultivo de trigo es altamente afectado por el crecimiento acumulado del cultivo durante el período de crecimiento de las espigas, que transcurre desde mediados de encañazón (Zadoks 32) hasta el inicio del llenado de los

Tabla 2: Comparación de la producción de forraje y tasa de crecimiento del cultivo (TCC) de trigo, para distintos regímenes de defoliación, en diferentes localidades

Localidad	Año de siembra	Defoliaciones (num.)	Producción (g MS m^{-2})	Período ^a (d)	TCC ($\text{g MS m}^{-2} \text{ d}^{-1}$)	Fuente
Azul, Bs. As.	2006	3	243	126	1,9	L. Lázaro (Bainotti <i>et al.</i> , 2006)
Balcarce, Bs. As.	2006	3	487	207	2,4	Este trabajo
	2006	2	392	172	2,3	Este trabajo
	2005	2	324	180	1,8	Pacheco (2007)
Bahía Blanca, Bs. As.	2001	1	303	100	3,0	Merchán <i>et al.</i> (2002)
Bordenave, Bs. As.	2006	2	92	90	1,0	Bainotti <i>et al.</i> (2006)
Marcos Juárez, Cdo.	2005	3	376	150	2,5	Bainotti <i>et al.</i> (2006)
	2004	3	657	151	4,4	Bainotti <i>et al.</i> (2005a)
	2003	2	547	110	5,0	Bainotti <i>et al.</i> (2004a)
Pasman, Bs. As.	2002	continuo	100	125	0,8	Arzadún <i>et al.</i> (2003)
Texas, EE. UU.	1995-1997	3	256	183	1,4	Dunphy (1983)
Media general			460	148	2,5	

^a Días desde siembra a último corte.

granos (Zadoks 69), ya que esta etapa es crítica para determinación del número de granos m^{-2} (Fischer, 1983; Fischer, 1985; Abbate *et al.*, 1994). Es bien conocido que, en ausencia de limitaciones hídricas o nutricionales, la tasa de crecimiento del cultivo se relaciona linealmente con la RFA interceptada (Monteith, 1977; Gallagher y Biscoe, 1978; Fischer, 1985; Abbate *et al.*, 1994; Abbate *et al.*, 1997). En consecuencia, la disminución en el rendimiento de grano debido al pastoreo del trigo, se puede atribuir a la baja proporción de la RFA interceptada durante el período de crecimiento de las espigas, debido a la remoción de área verde para uso forrajero.

Los datos aquí presentados muestran que la defoliación afectó negativamente la interceptación de la RFA incidente durante el período crítico para la determinación del número de granos en los tratamientos defoliados (T1 y T2) y que favoreció mantener un menor consumo de agua más cercano al potencial (Figura 8). Esos tratamientos presentaron una interceptación de la RFA incidente en promedio 50% menor a los tratamientos no defoliados (Figura 8), y con ello una TCC 22% menor. En cambio, para ese mismo período, el tratamiento no defoliado TG llegó a interceptar similar porcentaje de la RFA incidente que TN (promedio 93%, Figura 8), pero con una baja evapotranspiración (30% menor que la potencial) debido a la menor precipitación recibida respecto de TN y a la mayor evapotranspiración potencial respecto de T1 y T2. Así, la TCC del tratamiento TG resultó 15% menor que la de TN (Tabla 1).

Con mayores TCC es de esperar una mayor cantidad de fotoasimilados disponibles para generar y abastecer un mayor número de granos (destinos) (Fischer, 1983; Fischer, 1985; Abbate *et al.*, 1994; Abbate *et al.*, 1997) (Figura 9). Resulta entendible, entonces, que la cosecha de forraje tuvo un efecto negativo sobre el número de granos de los tratamientos T1 y T2, y que la disminución del número de granos de TG fue provocada principalmente por el estrés hídrico en el período crítico para su determinación.

El número de granos generalmente explica mejor las variaciones en el rendimiento final de trigo, que cualquier cambio en el peso individual del grano (Slafer *et al.* 2003; Fischer, 2008). Por el contrario, los datos del presente trabajo muestran que el número y el peso de los granos estuvieron positivamente asociados entre sí y con el rendimiento. Los tratamientos defoliados tuvieron una disminución significativa del peso por grano de 20% respecto de TG. Datos similares fueron obtenidos por Christiansen *et al.* (1989), quienes mencionan una disminución de 30% en el peso de los granos de trigo que fue defoliado dos veces antes de encañazón, cuando se lo comparó con el control que no sufrió ninguna remoción de forraje en todo su ciclo. Este efecto depresor de la defoliación sobre el peso por grano se puede atribuir a que la baja área verde persistió durante el llenado de los granos.

Los resultados obtenidos en la bibliografía (Dunphy *et al.*, 1982; Khalil *et al.*, 2002) sugieren que, para no disminuir significativamente la

Tabla 3: Producción de forraje, rendimiento en grano, días hasta el último corte (días entre siembra y el último corte, S-UC) y duración del último período de recuperación (días entre el último corte y antesis, UC-A), de trigo para diferentes localidades, años y regímenes de defoliación; los datos presentados corresponden al promedio general de todos los tratamientos reportados en la fuente mencionada

Localidad	Año de siembra	Defoliaciones (num.)	Producción de forraje (g MS m^{-2})	Período		RG ^a (kg ha^{-1})	UC-A ^b (%)	RG ^c (%)	Fuente
				S-UC (d)	UC-A (d)				
Balcarce	2006	3	487	203	49	1800	22	38	Este trabajo
		2	392	172	74	2000	34	42	
		Testigo	0	0	219	4800	100	100	
Balcarce	2005	2	324	178	71	3125	33	55	Pacheco (2007)
		1	81	86	132	6262	61	110	
		Testigo	0	0	217	5718	100	100	
Bahía Blanca	2001	1	303	103	123	2867	54	87	Merchán <i>et al.</i> (2002)
		Testigo	0	0	226	3308	100	100	
Marcos Juárez	2003-2005	2 y 3	524	140	31	2444	24	49	Promedio Red trigo DP ^d
		Testigo	0	0	128	4988	100	100	Promedio Red trigo ^e

S: siembra; UC: último corte; A: antesis.

^a Rendimiento en grano.

^b Duración del período UC-A como porcentaje del testigo (sin defoliación).

^c Rendimiento en grano como porcentaje del testigo (sin defoliación).

^d Bainotti *et al.* (2004a, 2005a y 2006)

^e Bainotti *et al.* (2004b, 2005b y 2006)

producción de grano, el pastoreo de un trigo DP no debería realizarse después de detectarse el primer nudo visible (Zadoks 31). En la Tabla 3 se resume información referida a la producción de forraje y de grano a partir de diferentes regímenes de defoliación, años y localidades. En ella, el rendimiento en grano se presenta expresado tanto en términos absolutos como en porcentaje del rendimiento de un cultivo sin defoliación (testigo). La Tabla 3 también incluye el intervalo en días entre el último corte (UC) y la antesis (A), expresado en días y como porcentaje del tiempo transcurrido sin defoliación. En la Figura 10 se presenta la relación entre el rendimiento en grano relativo y la duración porcentual del último período de rebrote. Esta figura muestra que el rendimiento en grano (porcentual) no disminuye si la duración del último período de rebrote es mayor al 60% del período S-F. Si la duración del período de rebrote es menor al 60%, el rendimiento disminuye 1,67% por cada 1% de reducción en esa duración. Así, por ejemplo, para un cultivo con un período de siembra a antesis de 100 días, si el último corte de forraje se realiza a los 40 días luego de la siembra, la Figura 10 estima que no habrá caída en el rendimiento en grano; pero con remociones de forraje posteriores, p. ej. a los 60 días, el rendimiento disminuirá 67%, esto es $1,67\% \times 40$.

El modelo ajustado en la Figura 10 supone que las diferencias de área verde, peso seco y reservas de carbohidratos presentes en pseudotallos y tallos remanentes luego de la defoliación, son de menor importancia en comparación con la duración del período del último rebrote. Esto no resulta sorprendente, ya que con la modalidad que se realizaron las defoliaciones no es de esperar grandes diferencias de biomasa remanente entre los casos presentados en la Tabla 3. Probablemente el modelo descrito en la Figura 10 no resulte efectivo si se produce alguna adversidad climática

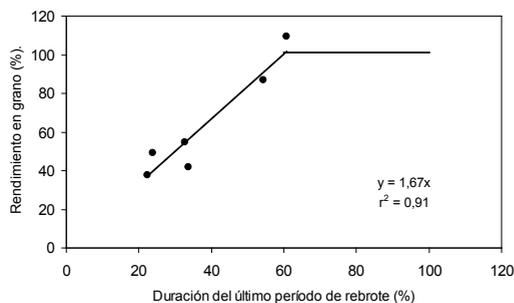


Figura 10: Relación entre el rendimiento en grano y la duración del período entre último corte y antesis, ambas variables expresadas en porcentaje del cultivo sin corte, para los datos de la

(helada, granizo, sequía, entre otras) en el momento de antesis. Cabe hacer notar que una adversidad en antesis podría afectar de manera desigual al cultivo defoliado que al testigo (no defoliado) ya que, a igual fecha de siembra, la antesis en el trigo defoliado puede ocurrir junto o después que en el cultivo no defoliado, dependiendo del momento en que se realice el último corte.

La Figura 10 pone en evidencia el compromiso que presenta el trigo DP entre los dos objetivos productivos (producción de forraje y rendimiento en grano). Para duraciones de último rebrote mayores a 60% no habría merma en el rendimiento. Sin embargo, cuando se analiza la factibilidad de realización de esta práctica en los sistemas productivos locales, no se debería descartar la posibilidad de destinar un cultivo de trigo sólo para uso forrajero. En este caso se podría renunciar a la producción de grano cuando la demanda de forraje exceda la oferta de los otros recursos forrajeros. En tal sentido, el trigo presenta la ventaja de poseer un destino alternativo a su uso forrajero, que no la presentan otros verdes de invierno. El trigo podría destinarse para uso forrajero exclusivo en un año de baja producción de forraje o para grano exclusivamente en un año de alta producción de forrajes, o se lo puede utilizar buscando un balance entre la producción de forraje y grano. Las tres alternativas son posibles y cobraría mayor significancia una u otra en función de la oferta forrajera disponible en cada circunstancia.

Para las condiciones del presente ensayo, la pérdida de rendimiento en grano por sembrar el trigo para un eventual uso como verdeo fue de 26% (TG respecto de TN). Esta diferencia puede atribuirse a que con siembra temprana y sin defoliación, el agua disponible no fue suficiente para satisfacer los requerimientos potenciales del cultivo (Figura 8) durante el período crítico para la determinación del número de granos y del rendimiento. Finalmente, es necesario considerar que la validez de estos resultados está limitada a condiciones de corte y recolección mecánica del forraje producido. En aquellas situaciones donde la defoliación ocurre como producto del pastoreo con animales (como sucede en la mayoría de los sistemas ganaderos de la región), se deben considerar otros efectos sobre el crecimiento del cultivo como el pisoteo, el aporte de deyecciones y características propias del animal que pastorea (peso, la selectividad y la profundidad de bocado).

En conclusión, en el presente trabajo las defoliaciones posteriores al estado de dos nudos (Zadoks 32) afectaron negativamente la RFA interceptada, disminuyendo el número de granos

por unidad de superficie y su peso individual. Por lo tanto, la producción de grano del cultivo pastoreado cayó respecto del cultivo sin pastorear sembrado en igual fecha y con respecto al sembrado en fecha recomendada para la producción de grano. Por otro lado, la disminución del rendimiento en grano se relacionó con el momento del último corte (*i.e.*, días entre el fin de la defoliación y antesis). Se demostró que la utilización del trigo con doble propósito permite obtener una producción de grano que no la brindan otros verdeos de invierno tradicionales. El uso de trigo como verdeo también permitiría destinar el cultivo sólo para uso forrajero o solo para producción de grano. Las tres alternativas son posibles y cobraría mayor significancia una u otra en función de la oferta forrajera disponible en cada circunstancia.

AGRADECIMIENTOS

A L. Lázaro (Facultad de Agronomía, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires) por sus sugerencias. Los datos presentados en este trabajo fueron obtenidos en el marco del Proyecto Específico Nacional de INTA AEEV1513: Eficiencia de uso de recursos e insumos.

BIBLIOGRAFÍA

- Abbate, P.E.; F.H. Andrade y J.P. Culot, 1994. Determinación del rendimiento en trigo. Boletín Técnico, 133, 17 pp.
- Abbate, P.E.; F.H. Andrade y J.P. Culot, 1995. The effects of radiation and nitrogen on number of grains in wheat. J. Agric. Sci., Camb. 124, 351-360.
- Abbate, P.E.; F.H. Andrade, J.P. Culot y P.S. Brindraban, 1997. Grain yield in wheat: Effects of radiation during spike growth period. Field Crop Res. 54: 245-257.
- Allen, R.G.; L.S. Pereira, D. Raes y M. Smith, 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper 56. FAO, Rome, Italy, 300 pp.
- Arzadun, M.J.; J.I. Arroquy, H.E. Laborde y R.E. Brevedan, 2003. Grazing pressure on beef and grain production of dual-purpose wheat in Argentina. Agron. J. 95:1157-1162.
- Bainotti, C.T.; D. Gomes, B. Masiero, J. Salines, J. Frascina, N. Bertram y C. Navarro, 2004a. Evaluación de cultivares de trigo como doble propósito. Campaña 2004/05 <http://www.inta.gov.ar/mjuarez/info/documentos/Trigo/doblep05.htm>. [consultado: 18 de julio 2007].
- Bainotti, C.T.; J. Frascina, J. Salines, M. Cuniberti, B. Masiero, E. Alberion, L. Riveri y D. Gómez, 2004b. Evaluación de cultivares de trigo en la EEA Marcos Juárez. Campaña 2004/05. <http://www.inta.gov.ar/mjuarez/info/documentos/Trigo/evatr05.pdf>. [consultado: 18 de julio 2007]
- Bainotti, C.T.; D. Gomes, B. Masiero, J. Salines, J. Frascina, N. Bertram y C. Navarro, 2005a. Evaluación de cultivares de trigo como doble propósito. Campaña 2005/06. <http://www.inta.gov.ar/mjuarez/info/documentos/Trigo/doblep06.htm>. [consultado: 18 de julio 2007].
- Bainotti, C.T.; J. Frascina, J. Salines, B. Masiero, D. Gómez, J. Nisi, L. Kovalevski y M. Déramo, 2005b. Red de Evaluación de cultivares de trigo en el Area Central Norte argentina. Campaña 2005/06. <http://www.inta.gov.ar/mjuarez/info/documentos/Trigo/evalcentronor06.htm>. [consultado: 18 de julio 2007].
- Bainotti, C.T.; J. Frascina, J. Salines, E. Alberione, D. Gómez y B. Masiero, 2006. Evaluación de cultivares de trigo en la EEA Marcos Juárez. Actualización campaña 2006/07. <http://www.inta.gov.ar/mjuarez/info/documentos/Trigo/evatr06.pdf>. [consultado: 18 de julio 2007].
- Christiansen, S.; T. Svejcar y W.A. Phillips, 1989. Spring and fall cattle grazing effects on components and total grain yield of winter wheat. Agron. J. 81:145-150.
- Coscia, A.A, 1967. Economía de los cereales de doble propósito. EEA INTA Pergamino. Información Técnica 57 p 32.
- Doveh, H.; P.J. Holst, D.F. Stanley y P.W. Flint, 2002. Grazing value of dual- purpose wheats for young sheep. Anim. Prod. in Australia 24: 53-56.
- Dunphy, D.J.; E.C. Holt y M.E. Daniel, 1982. Effect of forage utilization on wheat grain yield. Crop Sci. 22:106-109.
- Dunphy, D.J.; E.C. Holt y M.E. Daniel, 1983. Leaf area and dry matter accumulation of wheat following forage removal. Agron. J. 76:871-874.
- Fischer, R.A, 1983. Growth and yield of wheat. En: Proceedings Symposium on Potential Productivity of Field Crops under Different Environments. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines, 1980, 129-154.
- Fischer, R.A, 1985. Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. J. Agric. Sci., Camb. 105, 447-461.
- Fischer, R.A, 2008. The importance of grain or kernel number in wheat: A reply to Sinclair and Jamieson. Field Crop Res.105, 15–21.
- Gallagher, J.N. y P.J. Biscoe, 1978. Radiation absorption, growth and yield of cereals. J. Agric. Sci., Camb. 91:47–60.
- Gardner, F.P, 1985. Physiology of Crop Plants. Iowa State University Press, pp. 31–46
- Khalil, I.H.; B.F. Carver, E.G. Krenzer y C.T. Mackown, 2002. Genetic trends in winter wheat yield and test weight under dual-purpose and grain-only management systems. Crop Sci. 42:710–715.

- Lázaro, L, 1996. Determinación del rendimiento en trigo ante cambios en la disponibilidad de nitrógeno generado por distintos cultivos antecesores. Tesis Magister, Facultad de ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, Balcarce, 60 pp.
- Merchán, H. D.; A.E. Morant y E.E. Lutz, 2002. Aptitud para doble propósito de genotipos contrastantes de trigo. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 22:163-164.
- Monteith, J.L. 1977. Climate and efficiency of crop production in Britain. *Phil. Trans. R. Soc. London, B.* 281:277-294.
- Morant, A. E.; H.D. Merchán y E.E. Lutz, 2000. Principal components análisis in forage production of wheat cultivars. *Rev. Arg. Prod. Animal.* 20:148.
- Pacheco, R, 2007. Producción de forraje de trigo pan doble propósito y raigrás anual. Tesis de grado. Universidad Nacional de Mar del Plata, Facultad de Ciencias Agrarias, Unidad Integrada Balcarce. Argentina. 51 pp.
- Slafer, A.G.; J.D. Miralles, R. Savin, M.E. Whitechurch y G.F. González, 2003. Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad del rendimiento. En; Satorre, E.H.; R.L. Benech Arnold, G.A. Slafer, E.B. De La Fuente, D.J. Miralles, M.E. Otegui y R. Savin. *Producción de Granos.* Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Bs. As., Argentina. p. 101-129.
- Soil Survey Staff, 2003. *Keys to Soil Taxonomy.* 9th ed. Washington, DC; USDA and Natural Resources 785, Conservation Service.
- Zadoks, J.C.; T.T. Chang y C.F. Konzak, 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Res.* 14:415-421.