

Relaciones entre el índice de verdor y el nivel hídrico foliar en trigo con diferentes sistemas de labranza

Relationship between leaf greenness index and leaf water status in wheat under different tillage systems

Mirassón¹ HR, ML Faraldo¹, MN Fioretti², M Miravalles², RE Brevedan²

Resumen. El sistema de labranza a utilizar es una importante decisión de manejo que los productores de trigo de secano deben realizar en la zona central semiárida templada. Se realizó un estudio de dos años en un Haplustol éntico para determinar el efecto de tres sistemas de labranza [convencional (LC), vertical (LV) y siembra directa (SD)] sobre el nivel hídrico en la planta, el índice de verdor foliar y la relación entre estas dos variables. Las mediciones se hicieron con un SPAD-502 en el estadio Z65, y simultáneamente se determinó el potencial hídrico foliar. Se encontró una relación directa entre estas variables para los dos años. Los sistemas de labranza presentaron diferencias significativas para el año 2007, siendo ambas variables mayores ($p < 0,05$) en LC que en LV y SD, aunque estas diferencias no se manifestaron ($p > 0,05$) en el año 2008.

Palabras clave: Índice de verdor foliar; Nivel hídrico foliar; Trigo; Sistemas de labranza; Argentina.

Abstract. Tillage system is an important management decision that has to be taken in the central, semiarid, temperate region of Argentina for dryland wheat production. A 2-year study was conducted on an Entic Haplustoll soil with a sandy loam texture to determine the effects of three tillage systems (conventional, vertical and no-tillage) on leaf water status and chlorophyll content. Measurements were made at the Z65 growth stage with a SPAD-502; leaf water potential measurements were simultaneously taken. There was a positive relationship between leaf water potential and leaf greenness in both years. Tillage systems were significantly different in 2007; both variables were greater ($p < 0.05$) in the conventional than in the vertical or no-tillage system. These differences were not significant ($p > 0.05$) in 2008.

Keywords: Leaf greenness index; Leaf water status; Wheat; Tillage systems; Argentina.

¹Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de La Pampa, 6300 Santa Rosa, Argentina.

²Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur y CERZOS, CONICET. 8000 Bahía Blanca, Argentina.

Address Correspondence to: Dr. Roberto E. Brevedan, e-mail: ebreveda@criba.edu.ar

Recibido / Received 14.IX.2010. Aceptado / Accepted 21.IX.2010.

INTRODUCCIÓN

El agua y el nitrógeno son los insumos más críticos en la producción de cultivos. En sistemas de secano, la disponibilidad de agua condiciona la producción de los mismos más que cualquier otro factor. Por su parte, el nitrógeno es generalmente el nutriente más limitante en los suelos a nivel mundial. Por tanto, se suelen requerir cantidades relativamente grandes de fertilizante nitrogenado para tener un rendimiento aceptable.

Si bien se reconoce desde tiempo atrás que la medición de la clorofila foliar es una herramienta de suma utilidad en los estudios de producción, su uso se ha difundido en mayor grado sólo recientemente. Otrora, la medición de la clorofila era un procedimiento lento y caro como para ser usado en determinaciones de rutina.

Hubo varios intentos de desarrollar un instrumento capaz de realizar una rápida medición de la clorofila en hojas enteras, pero debido a la complejidad óptica de las hojas eso resultó un serio problema. Fue con la introducción del medidor de verdor de Minolta SPAD-502 que se pudieron obtener mediciones instantáneas y económicas.

El SPAD usa diodos emisores de luz a 650 y 940 nm para emitir luz a través de la hoja. La luz en los 650 nm está en la zona de las longitudes de onda que están asociadas con la absorción clorofílica. Por su parte la longitud de onda a 940 nm actúa como una referencia interna. La diferencia de transmitancia a 650 y 940 nm da un índice de verdor con el que luego se puede establecer una relación con el contenido de clorofila extraíble (Marquard y Tipton, 1987; Waskom et al., 1996).

Se trata de un medidor de mano, liviano, que no causa daño a las plantas y provee lecturas instantáneas, evitándose, de esa manera, los procedimientos de laboratorio que requieren tiempo y son costosos. La velocidad de la obtención de las mediciones y la facilidad de su operación hacen del SPAD una herramienta muy útil.

El SPAD ha mostrado ser efectivo para evaluar el status de N de cultivos (Reeves et al., 1993). La respuesta del SPAD a la concentración de N foliar se debe a que buena parte del N reducido en la hoja está asociado a los cloroplastos (Hageman, 1986; Grindlay, 1997). Además, hay una respuesta curvilínea del SPAD con la concentración de N foliar, con un *plateau* a altos niveles de N. Esto último puede deberse a que en situaciones en las que existe un alto nivel de nitrógeno foliar, se produce un aumento en la proporción de nitratos, con respecto al N total; estos nitratos no son detectados por el SPAD.

Además del híbrido, el cultivar y el lugar, todos los estudios reconocen que varios tipos de estrés, como la deficiencia de nutrientes diferentes al N, enfermedades y daños por insectos pueden modificar el nivel de clorofila foliar, y así afectar la lectura del SPAD (Blackmer et al., 1993).

Diferentes trabajos han mostrado que el estrés hídrico afecta las lecturas del SPAD. Así, en hojas de maíz, se detectó que el estrés hídrico era el causante de una débil asociación con las concentraciones de N foliar (Schepers et al., 1996).

En determinaciones con el SPAD de tejidos vegetales bajo estrés hídrico, se tuvo una subestimación del contenido de clorofila, porque al hacer una extracción de la misma se observó que el estrés hídrico no afectó su contenido (Schlemmer et al., 2005). Cuando las plantas presentaron una buena disponibilidad hídrica, la determinación de clorofila con el SPAD dio un resultado similar al que se obtuvo cuando se extrajo la misma.

Bajo una situación de deficiencia hídrica se produce una reducción en la turgencia celular que si bien no afecta el contenido de clorofila, sí va a afectar la transmitancia de la energía en el IR cercano; esto es debido a la presencia de espacios aéreos intercelulares presentes en el tejido foliar (Schlemmer et al., 2005). Hay un aumento en la reflectividad que actúa como un mecanismo de defensa de la planta al reducir la absorción de energía y minimizar el aumento de temperatura de la planta.

La relación entre la concentración de N foliar y la lectura del medidor de clorofila mejora significativamente al diferenciar entre niveles hídricos.

El nivel hídrico foliar es afectado por los estreses y la ontogenia. En prácticamente todas las especies se encontró una relación significativa entre el nivel hídrico foliar y la lectura del SPAD. Cambios relativamente modestos en el contenido hídrico foliar pueden causar variaciones significativas en las lecturas del SPAD (Wolfe et al., 1988).

Correlaciones entre el SPAD y las concentraciones de clorofila y N en las hojas se han señalado en muchas especies (Wood et al., 1993). Las ecuaciones de calibración del contenido de clorofila como una función de los valores de SPAD generalmente son específicas para las especies e incluso para los cultivares (Marenco et al., 2009). También se mostró que la pendiente de la ecuación de calibrado aumenta con la intensidad del verdor foliar.

Niu et al. (2007) observaron que bajo déficit hídrico moderado (-0,7 a -1,2 MPa) las lecturas del SPAD aumentaban con el potencial hídrico en *Lupinus hvardii*. Por el contrario Martínez y Guiamet (2004) notaron que el índice del SPAD tiende a ser mayor en hojas de trigo con un bajo contenido relativo en agua.

Se han reportado pérdidas de clorofila en trigo afectado por una deficiencia hídrica (Xian-He et al., 1995). Por su parte, Fotovat et al. (2007) encontraron que el contenido de clorofila foliar disminuía significativamente bajo un estrés hídrico severo respecto a aquellos con una mayor disponibilidad hídrica en 7 cultivares de trigo.

La entrega de N a los cultivos anuales es menor en siembra directa que en los sistemas de labranza vertical o convencional, lo que es producto de la menor mineralización o mayor inmovilización del rastrojo. Cuando un suelo está en siembra directa continua, cambian sus condiciones físicas y químicas. Los suelos con rastrojo son más húmedos y fríos, y hay una reducción en la aireación por lo que puede aumentar la denitrificación y la lixiviación (Galarza et al., 1998). El rastrojo aún

cuando se presente en la superficie, causa una inmovilización del N inorgánico debido a una alta relación C:N (Buresh et al., 2008). Además los microorganismos que descomponen el rastrojo pueden convertirse en un destino del N, causando su inmovilización (Witt et al., 2000).

En este contexto, el objetivo del presente trabajo fue determinar cómo el índice de verdor foliar se relaciona con el potencial hídrico foliar, bajo distintos sistemas de labranza en un cultivo de trigo de la región semiárida templada de Argentina.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante los ciclos 2007 y 2008 se realizaron ensayos con trigo pan (*Triticum aestivum* L.) en secano, en la unidad de Módulos de Labranzas en el Campo de Enseñanza de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de La Pampa, ubicado 11 km al norte de la ciudad de Santa Rosa (36°46'S, 64°16'O).

Se usaron tres sistemas de labranza: convencional (LC), vertical (LV) y siembra directa (SD), para lo cual se utilizó un diseño experimental en franjas, con 4 repeticiones.

La siembra se realizó el 26 de junio de 2007 y el 29 de julio de 2008 sobre un suelo Haplustol éntico con girasol como antecesor. Para la misma se utilizó el cultivar de ciclo intermedio Buck Sureño, a una densidad de 230 plantas/m². Al momento de la siembra, todas las parcelas recibieron una fertilización de 40 kg/ha de fosfato diamónico (18-46-0) distribuido uniformemente en todas las hileras.

El seguimiento de los distintos estados fenológicos del cultivo se realizó utilizando la escala de crecimiento decimal propuesta por Zadoks et al. (1974).

Se determinaron: a) el potencial hídrico foliar de las plantas, con una bomba de Scholander al mediodía, y b) el índice de verdor, en la sección media de la hoja, con un medidor Minolta SPAD-502, en el estado de hoja bandera expandida (estado Z65) sobre 10 hojas tomadas al azar en cada parcela.

El análisis estadístico de los datos se realizó sobre el promedio de diez lecturas, e incluyó un análisis de la varianza, correlaciones y regresiones. Para el mismo se utilizó el paquete estadístico InfoStat (Di Renzo et al., 2010), el que permitió modelar, por el método REML (Máxima Verosimilitud Restringida), la posible existencia de varianzas residuales heterogéneas entre los tratamientos de labranza.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

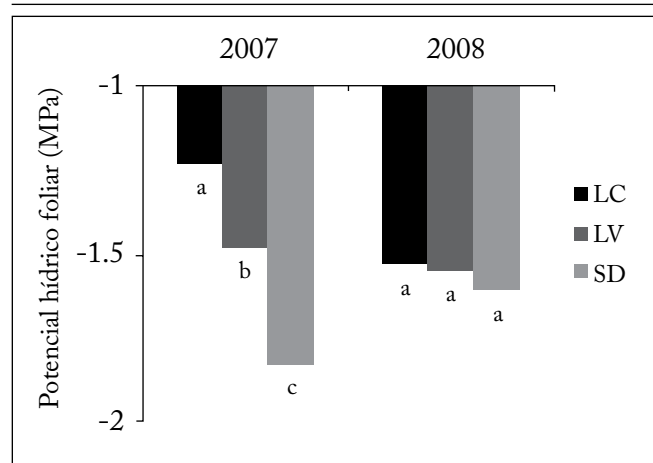
El año 2007 se caracterizó por tener una precipitación media anual algo mayor que el 2008, pero especialmente en que la distribución de las lluvias fue mucho más adecuada para el cultivo.

En 2007, se determinó una leve pero significativa mejora del orden de 0,7 MPa ($p < 0,05$) en el estado hídrico de las

plantas en las franjas trabajadas bajo labranza convencional (LC), en comparación con la labranza vertical (LV) y la siembra directa (SD). Por el contrario, en 2008 no se observaron mayores diferencias en el potencial hídrico foliar atribuibles al sistema de labranza utilizado (Fig. 1).

Fig. 1. Valores de potencial hídrico foliar en trigo bajo labranza convencional (LC), vertical (LV) o siembra directa (SD) durante los años 2007 y 2008.

Fig. 1. Water potential values for wheat under conventional (LC), vertical (LV) and no-tillage (SD) systems during 2007 and 2008.



Se ha comprobado que el efecto del estrés hídrico es considerable en las lecturas del medidor de clorofila cuando la cantidad de N disponible es adecuada, pero tiene poco efecto cuando el N está limitando el crecimiento de la planta (Scheepers et al., 1996). Por este motivo se ha indicado que cuando se generan ecuaciones de calibración para estimar el contenido de clorofila a partir de los valores del SPAD, se debería tener en cuenta el contenido hídrico foliar, a fin de mejorar la exactitud de dichas observaciones (Marenco et al., 2009).

Schlemmer et al. (2005) señalaron que la disminución en la presión de turgencia causada por la deficiencia de agua, resultó en un cambio en la cantidad de radiación roja lejana que pasó a través de la hoja; por esa razón, cambió la lectura del medidor de clorofila.

En nuestro estudio, el índice de verdor promedió 45,8 ± 3,1 para ambos años de ensayo, ratificando una buena condición general del cultivo.

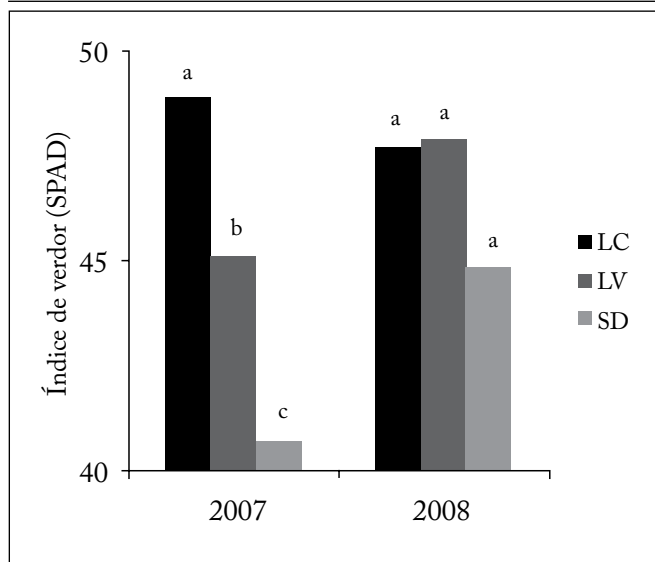
En concordancia con lo observado para el potencial hídrico en el ciclo 2007, las plantas que crecieron en las franjas con LC presentaron un índice de verdor significativamente mayor al medido en LV y SD (Fig. 2). En 2008, en cambio, no se detectaron diferencias estadísticamente significativas en el índice de verdor atribuibles al sistema de labranza. Sin embargo, las lecturas de SPAD en SD fueron un 6,3% menores que las medidas para los otros dos sistemas de labranza.

Algo similar fue informado por Vetsch y Randall (2004), quienes observaron que el contenido relativo de clorofila foliar del maíz estuvo influido por la labranza en 7 de 12 casos ana-

lizados. Los menores valores del SPAD se obtuvieron siempre con siembra directa, mientras que los mayores se registraron con labranza convencional.

Fig. 2. Índice de verdor (SPAD) en hojas de trigo bajo labranza convencional (LC), vertical (LV) o siembra directa (SD) durante los años 2007 y 2008.

Fig. 2. Leaf greenness values of wheat leaves under conventional (LC), vertical (LV) and no-tillage (SD) systems during 2007 and 2008.



En el presente trabajo se determinó, para ambos años de estudio, un significativo incremento del índice de verdor de las plantas en respuesta a una mejora del potencial hídrico foliar, el que explicó un 38% y un 71% ($p < 0,001$) de la variabilidad observada en las lecturas de SPAD en 2007 y 2008, respectivamente (para el promedio de los tres tratamientos de labranza) (Tabla 1).

Tabla 1. Pendiente y coeficiente de determinación ajustado de las ecuaciones de regresión entre potencial hídrico y SPAD de hojas de trigo, bajo labranza convencional (LC), vertical (LV) y siembra directa (SD), durante los años 2007 y 2008.

Table 1. Slope and adjusted determination coefficient for the regression equations of water potential vs SPAD of wheat leaves, under conventional (LC), vertical (LV) and no-tillage (SD) systems, during 2007 and 2008.

	2007			2008		
	b	R ² Aj	P-valor	b	R ² Aj	P-valor
General	10,4	0,71	<0,0001	17,2	0,38	0,0002
LC	13,9	0,23	0,067	-24,3	0,22	0,0689
LV	13,7	0,34	0,0356	10,6	0,19	0,0981
SD	8,2	0,47	0,0115	20,5	0,69	0,0018

La magnitud de la relación entre estas dos variables, medida a través de la pendiente de la regresión, fue superior en 2008 ($b=17,2$ vs $10,4$), quizás debido a la irregular distribución de las precipitaciones que caracterizó dicha campaña agrícola.

Los mayores valores de SPAD obtenidos en nuestro estudio en respuesta a una mejor condición hídrica de las plantas, son consistentes con los hallados por otros autores (Dwyer et al., 1991; Piekielec et al., 1995). Asimismo, Hassanzadeh et al. (2009) observaron que el contenido de clorofila *a* de 27 genotipos de sésamo fue más alto en los tratamientos regados que en los sometidos a estrés, aunque lo inverso ocurrió con la clorofila *b*.

En un ensayo conducido en el noroeste de Siria, en el que se incluyeron 144 genotipos de trigo, se observó una disminución en la concentración de clorofila cuando se pasó de un ambiente más húmedo a uno más seco (Araus et al., 1998). Esta respuesta fue similar a la observada por O'Neill et al. (2006) en maíz.

En nuestro ensayo, cuando se analizó la relación existente entre el potencial hídrico y las lecturas de SPAD en las parcelas sometidas a distintos tipos de labranza se observó, en líneas generales, una tendencia similar a la descrita en párrafos precedentes. Sin embargo, las respuestas medidas bajo el sistema de SD fueron más claras que las observadas en las parcelas trabajadas mediante LV y LC. El potencial hídrico foliar en SD explicó un 47% y un 69% de la variación del índice de verdor en 2007 y 2008, respectivamente.

Por otra parte, los incrementos en el potencial hídrico de las plantas en LV explicaron un 34% y un 19% de la mejora observada en las lecturas de SPAD en 2007 y 2008, respectivamente.

CONCLUSIONES

El presente estudio tuvo como principal objetivo analizar las relaciones existentes entre el índice de verdor y el potencial hídrico de hojas de un cultivo de trigo bajo diferentes sistemas de labranza.

Se determinó la existencia de una relación directa entre el potencial hídrico foliar y el índice de verdor en trigos de ciclo intermedio de secano.

En el ciclo 2007, estas variables presentaron diferencias para los diferentes sistemas de labranza, mientras que no las hubo en el ciclo 2008.

REFERENCIAS

- Araus, J.L., T. Amaro, J. Voltas, H. Nakkoul y M.M. Nachit (1998). Chlorophyll fluorescence as a selection criterion for grain yield in durum wheat under Mediterranean conditions. *Field Crops Research* 55: 209-223.
- Blackmer, T.M., J.S. Schepers y M.F. Vigil (1993). Chlorophyll meter readings in corn as affected by plant spacing. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 24: 2507-2516.
- Buresh, R.J., K.R. Reddy y C. van Kessel (2008). Nitrogen transformations in submerged soils. En: Chepers, J.S. y W.R. Raun (eds) 401-436. Nitrogen in Agricultural Systems. Agronomy Monograph 49. ASA, CSSA y SSSA, Madison, WI. USA.

- Di Renzo, J.A., F. Casanoves, M.G. Balzarini, L. González, M. Tablada y C.W. Robledo (2010). InfoStat Versión 2010. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina.
- Dwyer, L.M., M. Tollenaar y L. Houwing (1991). A non destructive method to monitor leaf greenness in corn. *Canadian Journal of Plant Science* 71: 505-509.
- Fotovat, R., M. Valizadeh y M. Toorchi (2007). Association between water-use efficiency components and total chlorophyll content (SPAD) in wheat (*Triticum aestivum* L.) under well-watered and drought stress conditions. *Journal of Food, Agriculture and Environment* 5: 225-227.
- Galarza, C., V. Gudely, P. Vallone y G. Nieri. (1998). La fertilización en siembra directa en el sudeste de Córdoba. En: Siembra directa. J.L. Panigatti, H. Marelli, D. Buschiazzi y R. Gil (eds). Hemisferio Sur, Buenos Aires, Argentina. 334 p.
- Grindlay, D.J.C. (1997). Towards an explanation of crop nitrogen demand based on the optimization of leaf nitrogen per unit leaf area. *Journal of Agricultural Science* 128: 377-396.
- Hageman, R.H. (1986). Nitrate metabolism in roots and leaves. En: Shannon, J.C., D.P. Knieval y C.D. Boyer (eds). pp.105-116. Regulation of carbon and nitrogen reduction and utilization in maize. American Society of Plant Physiologists, Rockville, MD, USA.
- Hassanzadeh, M., A. Ebadi, M. Panahyan-e-Kivi, A.G. Eshghi, Sh. Jamaati-e-Somarin, M. Saeidi y R. Zabihi-e-Mahmoodabad (2009). Evaluation of drought stress on relative water content and chlorophyll content of sesame (*Sesamum indicum* L) genotypes at early flowering stage. *Research Journal of Environmental Sciences* 3: 345-350.
- Marengo, R.A., S.A. Antezana-Vera y H.C.S. Nascimento (2009). Relationship between specific leaf area, leaf thickness, leaf water content and SPAD-502 readings in six Amazonian tree species. *Photosynthetica* 47: 184-190.
- Marquard, R.D. y J.L. Tipton (1987). Relationship between extractable chlorophyll and an *in situ* method to estimate leaf greenness. *HortScience* 22: 1327.
- Martínez, D.E. y J.J. Guiamet (2004). Distortion of the SPAD 502 chlorophyll meter readings by changes in irradiance and leaf water status. *Agronomie* 24: 41-46.
- Niu, G., D.S. Rodríguez, L. Rodríguez y W. Mackay (2007). Effect of water stress on growth and flower yield of big bend bluebonnet. *HortTechnology* 17: 557-560.
- O'Neill, P.M., J.F. Shanahan y J.S. Schepers (2006). Use of chlorophyll fluorescence assessments to differentiate corn hybrid response to variable water conditions. *Crop Science* 46: 681-687.
- Piekielec, W.P., R.H. Fox, J.D. Toth y K.E. Macneal (1995). Use of a chlorophyll meter at the early dent stage of corn to evaluate nitrogen sufficiency. *Agronomy Journal* 87: 403-408.
- Reeves, D.W., P.L. Mask, C.W. Wood y D.P. Delaney (1993). Determination of wheat nitrogen status with a hand-held chlorophyll meter: influence of management practices. *Journal of Plant Nutrition* 16: 781-796.
- Schepers, J.S., T.M. Blackmer, W. Wilhelm y M. Resende (1996). Transmittance and reflectance measurements of corn leaves from plants with different nitrogen and water supply. *Journal of Plant Physiology* 148: 523-529.
- Schlemmer, M.R., D.D. Francis, J.F. Shanahan y J.S. Schepers (2005). Remotely measuring chlorophyll content in corn leaves with differing nitrogen levels and relative water content. *Agronomy Journal* 97: 106-112.
- Vetsch, J.A. y G.W. Randall (2004). Corn production as affected by nitrogen application timing and tillage. *Agronomy Journal* 96: 502-509.
- Waskom, R.M., D.G. Westfall, D.E. Spellman y P.N. Soltanpour (1996). Monitoring nitrogen status of corn with a portable chlorophyll meter. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 27: 545-560.
- Witt, C., K.G. Cassman, D.C. Olk, U. Biker, S.P. Liboon, M.I. Sanzon y J.C.G. Ottow (2000). Crop rotation and residue management effects on carbon sequestration, nitrogen cycling and productivity or irrigated rice systems. *Plant and Soil* 225: 263-278.
- Wolfe, D.W., D.W. Henderson, T.C. Hsiao y A. Alvino. (1988). Interactive water and nitrogen effects on senescence of maize. II. Photosynthetic decline and longevity of leaves. *Agronomy Journal* 80: 865-870.
- Wood, C.W., D.W. Reeves y D.G. Himebrick (1993). Relationships between chlorophyll meter readings and leaf chlorophyll concentration, N status and crop yield: A review. *Proceedings of the Agronomy Society of New Zealand* 23: 1-9.
- Xian-He, J., J. Wang y H. Guo Liang (1995). Effects of water stress on photochemical function and protein metabolism of photosystem II in wheat leaves. *Physiologia Plantarum* 93: 771-777.
- Zadocks, J.C., T.T. Chang y C.F. Konzak (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research* 14: 415-421.