

Introducción

El vuelco (encamado o acamado) es la pérdida de la normal posición vertical de los tallos. El vuelco en trigo generalmente se produce porque los entrenudos de la base del tallo se doblan. El riesgo de vuelco es un obstáculo en la producción de cultivos de trigo de alto rendimiento, llegando a afectar incluso lotes no regados en años de buena disponibilidad hídrica. El efecto del vuelco depende de la severidad y del momento de ocurrencia, pudiendo disminuir el rendimiento, la calidad del grano, o a menos dificultando la cosecha. El vuelco es desencadenado por efecto de la lluvia y el viento que aumentan la carga mecánica sobre el cultivo susceptible. Entre las condiciones predisponentes se encuentran: alta disponibilidad de nitrógeno y agua, alta densidad de plantas, baja temperatura y baja radiación. Estas condiciones favorecen cultivos con entrenudos elongados y finos, y la presencia de enfermedades (particularmente *pietín*) que reducen la capacidad de sostén del cultivo. Aunque el diámetro y la estructura de los tallos pueden establecer diferencias entre cultivares, la menor altura por sí misma, aumenta la resistencia mecánica del cultivo. Buena parte del éxito de los cultivares semienanos se debe a que su escasa altura reduce el riesgo de vuelco.

El vuelco reduce el rendimiento porque interfiere con la acumulación de peso seco y porque dificulta la cosecha mecánica. En un cultivo volcado los órganos fotosintéticos quedan sombreados reduciéndose la asimilación de hidratos de carbono (Pinthus, 1967). Secundariamente, puede verse afectada la conducción de minerales e hidratos de carbono (Pinthus, 1967). El efecto del vuelco sobre el rendimiento depende de su severidad y del momento de ocurrencia. El vuelco en floración y en la primera parte del llenado suele ser el que más daño produce, al afectar el peso por grano (peso de mil granos), el número de granos/m² y dificultando la cosecha. Cuando el vuelco ocurre antes de que los tallos hayan terminado de elongarse (antes de floración) los entrenudos superiores pueden retomar el crecimiento erecto, sin que el rendimiento se afecte marcadamente. Si el vuelco se produce finalizado el llenado de los granos, no afecta el rendimiento directamente, pero dificulta la cosecha pudiendo desmejorar la calidad del grano. El vuelco puede reducir el peso hectolítrico y la calidad molinera del grano, pero suele aumentar el porcentaje de proteína.

Desde los años 60 (Pinthus, 1967) se ha considerado el uso de reguladores de crecimiento en trigo, como el cloromequato (CCC, cloruro de cloro-colina, con varias marcas comerciales), para reducir el vuelco del cultivo y aumentar el rendimiento.

Otros reguladores más modernos, difundido en cultivos extensivos más que en trigo son el etefón (Ethrel[®]) y el trinexapac-etil (Moddus[®]). El uso de reguladores de crecimiento en trigo se difundió principalmente en Europa, típicamente en trigos invernales (de ciclo muy largo) con escaso grado de enanismo y con clima más favorable para el crecimiento que el de Región Pampeana. La obtención de cultivares tolerantes al vuelco, es sin duda la alternativa más deseable, pero requiere de un proceso de mejoramiento genético lento y podría ir en detrimento de otras características deseables (p.ej. exacerbar la competencia entre los tallos y los órganos reproductivos).

¿Es posible lograr en nuestro ambiente cultivos más seguros reduciendo la incidencia del vuelco, e incluso lograr mayor rendimiento en ausencia de vuelco, con el uso de reguladores en los cultivares que hoy disponemos? A comienzos de los años 70 se realizaron algunas experiencias con CCC en la Unidad Integrada Balcarce (Ruiz, 1971; Godoy, 1973). En esa oportunidad se estudiaron trigos sin genes de enanismo, en cultivos con bajo rendimiento (menor a 15 qq/ha). Es poco lo que se sabe en nuestra zona de la respuesta a los reguladores en cultivos de alto potencial de rendimiento. El presente trabajo resume los resultados presentados por Abbate et al. (1997 y 1998) al evaluar el efecto del CCC sobre diferentes cultivares de trigo bajo riego, alta fertilidad y con aplicación de fungicidas foliares, en Balcarce y Azul.

Tabla 1. Lugar de realización de los experimentos, momento de aplicación (estado Zadoks, 1974), dosis de producto activo aplicado y cantidad de cultivares evaluados en cada caso (los cultivares se listan en Tabla 2).

| Exp. | Localidad | Reguladores | Momento aplicación ^a | Dosis (l/ha) | CV |
|------|-----------|--------------|---------------------------------|--------------|----|
| C95 | Balcarce | CCC | 3.3 | 3.2 | 5 |
| G96 | Balcarce | CCC | 3.1 | 3.0 | 1 |
| | | etefón | 3.7 | 0.36 | 1 |
| U96 | Balcarce | CCC | 3.3-4.3 ^b | 2.0 | 14 |
| G97 | Balcarce | CCC temprano | 3.0-3.1 | 3.0 | 4 |
| | | CCC tardío | 3.6-3.7 | | |
| U97a | Balcarce | CCC | 3.0-3.1 | 2.3 | 19 |
| U97b | Balcarce | CCC | 3.2-3.7 | 2.3 | 19 |
| AG97 | Azul | CCC temprano | 3.0-3.2 | 3.0 | 2 |
| | | CCC tardío | 3.6-3.7 | | |

^a Estado Zadoks; 31-33: 1-3 nudos detectable; 37: comienza a verse la hoja bandera; 41: vaina de la hoja bandera extendida; los rangos muestran la variación de estados entre cultivares.

^b Solo dos cultivares en estado avanzado (estado mayor a 4.1).

Materiales y métodos

En la Tabla 1 se resumen las principales características de siete experimentos conducidos en Balcarce y Azul (Tabla 1), y en la Tabla 2 se listan los cultivares involucrados.

En un primer experimento (C95), se evaluó CCC sobre cinco cultivares de trigo. En un segundo experimento (C96) se aplicó etefón sobre un cultivar comercial sin genes de enanismo (B. Charrúa). En un tercer experimento (G96) se comparó CCC vs. etefón, en Granero INTA. En otros tres experimentos (U96, U97a y U97b) se analizó el efecto de CCC en un mayor número de cultivares (14 a 19). El exp. U96 combinó cultivares de ciclo largo y corto, mientras que los exp. U97a y U97b incluyeron solo cultivares de ciclo largo o corto, respectivamente. Finalmente, en los exp. G97 y AG97 se evaluaron dos momentos de aplicación de CCC.

Tabla 2. Cultivares evaluados en los siete experimentos de Balcarce y Azul listados en la Tabla 1.

| Experimento: | C95 | C96 | G96 | U96 | G97 | U97a | U97b | AG97 |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|
| B. Ambar | | | | | | | | X |
| B. Arrayán | | | | | | X | | |
| B. Candil | | | | | | X | | |
| B. Catriel | | | | | | X | | |
| B. Charrúa | | X | | X | | X | | |
| B. Cristal | | | | | | | | X |
| B. Fogón | | | | | | X | | |
| B. Guaraní | | | | X | | | | X |
| B. Ombú | | | | | | | | X |
| B. Poncho | | | | X | | X | | |
| B. Yapeyú | | | | X | X | | | X |
| B13994 | X | | | | | | | |
| Bon. I. Cumenay | | | | | | | | X |
| Bon. Pericón | | | | X | | X | | |
| Bon. Quilacó | | | | | | | | X |
| Coop. Calquín | | | | X | | | | X |
| Coop. Maipún | | | | X | | X | | |
| Coop. Nahuel | | | | | | X | | |
| Granero I. | X | | X | | | | | |
| K Dragón | | | | X | | | X | X |
| K. Brujo | | | | X | X | | X | |
| K. Cacique | | | | X | | X | | X |
| K. Cobre | | | | | | | X | |
| K. Estrella | | | | X | | X | | |
| K. Pegazo | | | | | | X | | |
| P. Calidad | | | | | | | X | |
| P. Cinco Cerros | | | | | | X | | |
| P. Elite | | | | | | | X | |
| P. Federal | X | | | | X | | X | |
| P. Granar | | | | | | | X | |
| P. Granero | | | | X | | | | |
| P. Guazú | | | | | | | | |
| P. Imperial | | | | X | | | X | |
| P. Oasis | X | | | | X | X | | |
| P. Pigüé | | | | | | X | | |
| P. Pronto | | | | | | | X | |
| P. Puntal | X | | | | | X | | |
| P. Quintal | | | | X | | | | |
| P. Real | | | | | | | X | |
| P. Redomón | | | | | | X | | |
| P. Super | | | | | | X | | |
| P. Supremo | | | | | | | X | |

P. se refiere a PROINTA; B. a Buck; K. a Klein; e I. a INTA.

Los exp. C95, G96, G97, U97a y U97b fueron conducidos bajo riego, sin limitaciones hídricas; en los experimentos restantes el aporte de lluvia fue abundante. Todos los experimentos recibieron una dosis de fertilizantes lo suficientemente alta como para garantizar la ausencia de limitaciones por nutrientes. El regulador se aplicó en la misma fecha en todos los cultivares de cada experimento (Tabla 2). Se utilizaron dosis medias a altas para tener efectos claros. Las fechas de siembra fueron las recomendadas para cada cultivar. Cuando se incluyeron cultivares de distinto ciclo en un mismo experimento, estos se agruparon en dos fechas de siembra. Los exp. U96, U97a y U97b se cosecharon mecánicamente y los restantes a mano. Los rendimientos se expresaron con humedad de comercialización (14%).

El vuelco se evaluó por medio de un índice (Stapper y Fischer, 1990) que tiene en cuenta el ángulo de inclinación de los tallos respecto de la vertical (A) y la superficie afectada (S), que se calculó como: $A/90 \times S \times 100$; de acuerdo con el cual 0% indica ausencia de vuelco y 100% todos los tallos horizontales. La altura del cultivo, tomada desde el suelo hasta el ápice promedio de las espigas, se evaluó haciendo al menos dos mediciones en cada parcela. El diseño experimental de G96 fue en bloques completos aleatorizados, el de U96 en fajas, y el del resto de los experimentos en parcelas divididas, con Regulador como parcela principal. El número de repeticiones fue 3 o 4.

Resultados y discusión

Vuelco, altura y rendimiento

El efecto del vuelco fue bajo en los experimentos del año 1996 y sustancialmente mayor en los de 1997 (Fig. 1a). Cuando se produjo vuelco éste se debió a que los entrenudos de la base del tallo se doblaron, en ningún caso se observó vuelco por pedúnculos doblados ni por desprendimiento de raíz.

Aunque B. Charrúa fue el único cultivar sin genes de enanismo, todos los cultivares estudiados tuvieron una altura considerable bajo riego; el promedio de los tratamientos no tratados fue 96 cm. La aplicación del regulador siempre tendió a reducir la altura del cultivo (promedio general 7%, Fig. 1b) pero la respuesta varió entre cultivares. Solamente se encontraron 3 casos con reducción en altura igual o mayor a 15% correspondientes a P. Federal, Granero I. y K. Brujo. Pese a la reducción de altura, el CCC fue poco efectivo para controlar el vuelco, la respuesta del índice de vuelco fue baja o errática (Fig. 1a). Cuando el vuelco sin regulador resultó importante (índice mayor a 30 %) solo se encontraron diferencias a cosecha en el índice para unos pocos cultivares (ver exp. G97, Fig. 1a).

Considerando todos los experimentos, la aplicación de CCC produjo una respuesta promedio sobre el rendimiento de 8% (Fig. 1c). De los 70 datos presentados en la Fig. 1c, la respuesta resultó igual o mayor al 10% en 24 casos (34% de los casos) y mayor al 15% en 10 casos (14% de los casos). En los cultivares evaluados dos o más veces, la máxima respuesta promedio encontrada fue de 16% (B. Charrúa y Maipún). Solamente se observó depresión del rendimiento (caída mayor a 5%) en 3 casos aislados (aplicación tardía en K. Brujo del exp. G97, B. Arrayán en el exp. U97a y P. Granar en el exp. U97b). En coincidencia con lo observado en experiencias tempranas en Inglaterra (Humphries et al., 1967), el regulador tendió a aumentar el rendimiento aún en ausencia de vuelco en las parcelas no tratadas. Nótese que este fenómeno se pudo evaluar gracias a la disponibilidad de experimentos con bajo vuelco del año 1996 (Fig. 1a). En tal circunstancia, el aumento del rendimiento se pudo explicar por un aumento paralelo en el número de granos/m².

Las respuestas promedio en rendimiento y altura obtenidas con CCC son iguales o mayores que las mencionadas para EE.UU. (Crok y Ennos, 1995) pero menores a las de Europa (Prew et al., 1983 y 1986). En la Tabla 3 se compara el efecto del CCC con el del etefón. Según nuestros datos, el etefón aplicado en el momento comercialmente recomendado (durante encañazón) produciría un efecto equivalente al del CCC. No obstante, la información internacional (Tripathia et al., 2003 y 2004) indica que con el primero se podría lograr una mayor reducción en la altura, pero también indica que puede producir reducción del rendimiento respecto de un cultivo no tratado cuando en éste no se produce vuelco. Lozano y Leaden (2001 y 2004) encontraron que el trinexapac-etil, al igual que el CCC, fue capaz de aumentar el rendimiento aun en ausencia de vuelco.

Comparando los cultivares presenten en más de un experimento, surge que la respuesta a una aplicación de CCC en encañazón resultó razonablemente estable (dato no mostrado). Por otro lado, con la aplicación temprana del exp. G97 y AG97 hubo una menor respuesta en la altura y mayor en rendimiento (Fig. 2). Así, los datos sugieren que aplicaciones tempranas de CCC (al inicio de encañazón) serían menos efectivas para controlar el vuelco a través de la reducción en la altura del cultivo, pero tendrían mayor respuesta en el rendimiento cuando el vuelco tiene poca incidencia en el cultivo no tratado. Aplicaciones más tardías producirían el efecto inverso.

Tabla 3. Respuesta en la altura y en el rendimiento al cloromecuato (CCC) y etefón, en dos cultivares de trigo.

| Exp. | Regulador aplicado | Altura | | | Rendimiento | | |
|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------|-----------------------|-----------------------|---------------|
| | | Sin regulador (cm) | Con regulador (cm) | Respuesta (%) | Sin regulador (kg/ha) | Con regulador (kg/ha) | Respuesta (%) |
| Granero INTA | | | | | | | |
| G96 | etefón | 96 | 88 | -8 | 5834 | 6334 | 9 |
| G96 | CCC | 96 | 78 | -19 | 5834 | 5956 | 2 |
| mds | | | 6 | | | ns | |
| Buck Charrúa | | | | | | | |
| C96 | etefón | 118 | 109 | -8 | 6976 | 7694 | 10 |
| mds | | | 4 | | | 17 | |
| U96 | CCC | 108 | 102 | -6 | 3429 | 3695 | 8 |
| mds | | | 5 | | | 63 | |

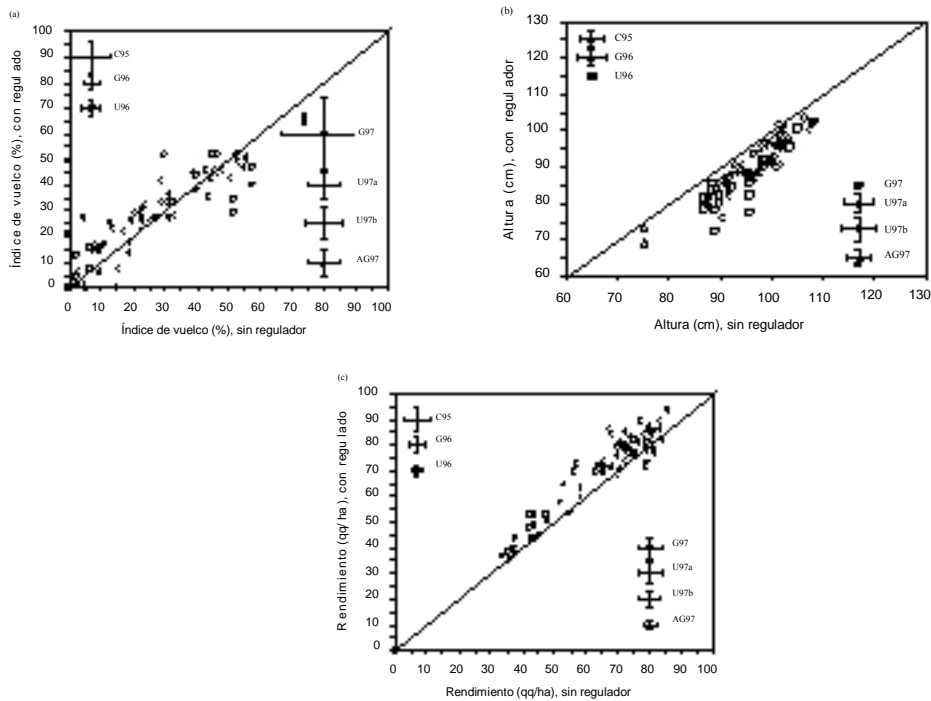


Fig. 1. Efecto del cloromecuato (CCC) sobre (a) el índice de vuelco en madurez, (b) la altura del cultivo a floración y (c) el rendimiento (expresado con 14% de humedad), en 7 experimentos de Balcarce y Azul (total 70 casos evaluados). La diagonal representa la relación 1:1. Las barras indican los errores estándar.

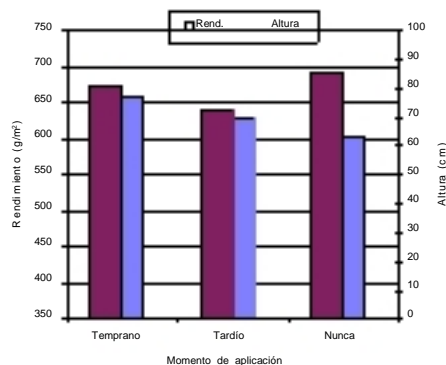


Fig. 2. Efecto del momento de aplicación (ver Tabla 1) de cloromecuato (CCC), promedio de dos experimento (G97 y AG7).

Crecimiento y rendimiento

Los reguladores del crecimiento son sustancias que inhiben la acción de hormonas vegetales de crecimiento. Existe consenso en que el CCC actúa bloqueando la producción de las giberelinas que promueven el alargamiento de los entrenudos y que el etefón actúa sobre las auxinas, hormonas que tienen efecto sobre el alargamiento de los últimos entrenudos. Esto puede explicar el efecto de los reguladores sobre la altura del cultivo. Pero ¿por qué se logran aumentos de rendimiento por medio del regulador en situaciones con poca incidencia de vuelco? En los exp. C95, C96 y G96 se realizaron mediciones de cultivo detalladas que permiten intentar responder esas hipótesis para CCC y etefón.

En los experimentos retenidos el regulador se aplicó alrededor del inicio *período de crecimiento de las espigas*. En nuestra zona, ese período comienza unos 25 días antes y termina una semana después de floración (Abbate et al., 1997), y durante su transcurso las espigas, ganan la mayor parte de su peso (excluido el peso de los granos). Para un cultivar dado, sin deficiencia de agua ni nutrientes, un mayor peso de las espigas determina un mayor número de granos/m² y rendimiento (Fischer, 1985; Abbate et al., 1997). En nuestros experimentos no hubo efectos importantes del regulador sobre el desarrollo (la duración del crecimiento); los tratamientos con regulador retrasaron la floración menos de 2 días. Sería esperable entonces, que los reguladores, al reducir la altura del cultivo, redujeran también el crecimiento de los tallos y el del cultivo.

El peso seco del cultivo una semana después de floración fue en promedio 3% menor en los tratamientos con regulador (media general 11.3 t/ha), diferencia que no es estadísticamente significativa (Fig. 3a). Sin embargo, el efecto de los reguladores sobre la distribución del crecimiento fue más marcado. A excepción del tratamiento de CCC del exp. G96, con regulador los tallos y las espigas crecieron en promedio 6% y 10% menos, respectivamente, y el peso seco de las hojas

aumentó en promedio 11%. Ninguna de estos cambios conduciría a un aumento del rendimiento cuando el vuelco tiene poca incidencia. Una menor proporción del peso de los tallos podría reducir la susceptibilidad al vuelco, pero no es por sí misma una ventaja si se lo compara con un testigo no tratando que no se volcó. Por otro lado, es de esperar que en un cultivo regado y fertilizado el área foliar no sea limitante para maximizar el crecimiento, por lo que un aumento del peso seco destinado a hojas tampoco es una ventaja evidente. Por el contrario las aplicaciones de regulador de crecimiento redujeron el peso seco de las espigas (Fig. 3b) lo que tendería a reducir el número de granos/m² y el rendimiento. Sin embargo, nuestros datos muestran que los reguladores aumentaron el número de granos/g de espiga (*el factor de fertilidad de las espigas*, (Fig. 3c). El aumento en este factor es lo que explicó la respuesta positiva del rendimiento. Sin embargo, el comportamiento descripto no se dio en el tratamiento de CCC del experimento G96. En ese tratamiento, no hubo respuesta en el rendimiento y si bien el motivo de esa ausencia de respuesta no es evidente, fue consistente con la ausencia de respuesta en el peso seco del cultivo, en el peso seco de las espigas y en el factor de fertilidad de estas, a los 7 días de antesis. Cabe hacer notar, que en ningún caso se encontraron diferencias en el peso por grano asociadas al regulador. Nuestros datos sugieren, entonces, que en ausencia de vuelco, los reguladores de crecimiento tendrían un efecto positivo sobre el número de granos/m² y el rendimiento, a través de un aumento en el factor de fertilidad de las espigas. Por medio de los genes de enanismo, también se ha logrado una menor susceptibilidad al vuelco a través de un menor crecimiento de los tallos. Pero a diferencia de lo que ocurre con el uso de reguladores, en los cultivares semienanos el menor crecimiento de los tallos contribuyó a un mayor crecimiento de las espigas cuya consecuencia es un mayor número de granos/m².

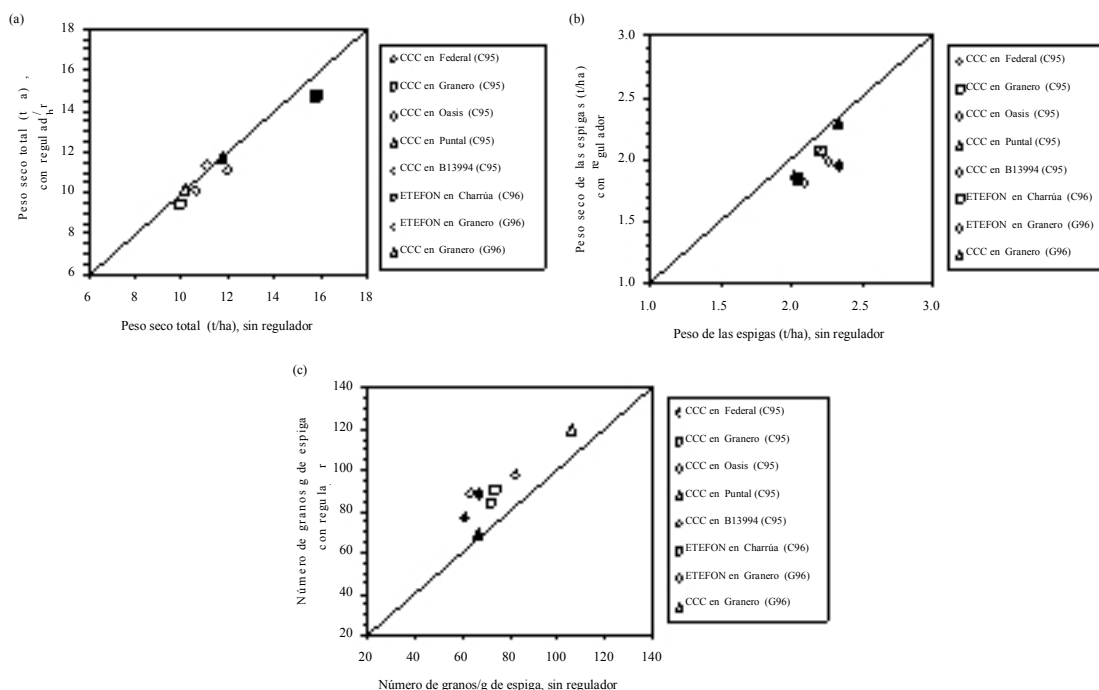


Fig. 3. Efecto de un regulador de crecimiento, cloromecuato (CCC) o etefón, sobre (a) el peso seco total del cultivo, (b) el peso seco de las espigas (excluido el peso de los granos), y (c) el factor de fertilidad de las espigas (número de granos/g de espiga), a los 7 días después de floración, en los experimentos C95, C96 y G96. La línea diagonal representa ausencia de respuesta al regulador.

Conclusiones

Con buena disponibilidad hídrica y nutricional una aplicación de CCC tendió a reducir la altura del cultivo y aumentar el rendimiento. Sin embargo, su capacidad para solucionar el problema del vuelco fue baja.

El retraso del momento de aplicación de CCC más allá de inicios de encañazón favoreció el efecto sobre la reducción de la altura del cultivo. Adelantando el momento de aplicación, se lograría un mayor efecto positivo sobre el rendimiento en caso de que no hubiera vuelco.

El aumento del rendimiento en ausencia de vuelco se pudo explicar a través del incremento del factor de fertilidad de las espigas (número de granos/g de espiga), que contrarrestó la pérdida de peso seco de las espigas.

Agradecimientos

A L. Lázaro, J.H. Bariffi, G. Belo, M.A. de Dios y F. Etchegoyen por su colaboración en la conducción de los experimentos y la obtención de los datos.

Referencias

- Abbate P.E., Bariffi J.H., Lázaro L., de Dios M.A. y Etchegoyen F. 1998. Efecto del cloromecuato sobre el rendimiento, la altura y el vuelco de trigo. 4° Congreso Nacional de Trigo. Mar del Plata, Buenos Aires.
- Abbate, P.E., Andrade, F.H., Culot, J.P. y Bindraban, P.S. 1997. Grain yield in wheat: Effects of radiation during spike growth period. *Field Crops Res.*, 54, 245-257.
- Abbate, P.E., Bariffi, J.H. y Lázaro, L. 1997. Reguladores de crecimiento en trigo. *Visión Rural*, 26, 54-58.
- Crook, M.J. y Ennos, A.R. 195. The effect of nitrogen and growth regulators on stem and root characteristics associated with lodging in two cultivars of winter wheat. *J. Exp. Bot.*, 46, 931-938.
- 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.
- Godoy J.L. 1976. Efectos de un retardador de crecimiento (cloruro de clorocolin) en la variedad de trigo Fontezuela INTA (*Triticum aestivum*). Tesis Ing. Agr., UNMPD, Balcarce, 44 pp.
- Humphries, E.C., Welbank, P.J. y Williams, E.D. 1967. Interacción of CCC and water deficit on wheat yield. *Nature*, 12, 782.
- Lozano C.M. y Leaden M.I. 2001. Efecto de reguladores de crecimiento sobre el rendimiento y altura en dos cultivares de trigo. 5° Congreso Nacional de Trigo. Villa Carlos Paz, Córdoba, 2 pp.
- Lozano C.M. y Leaden M.I. 2004. Respuesta del cultivar Premium 13 a la aplicación de un regulador de crecimiento solo y en mezcla con fungicida. 6° Congreso Nacional de Trigo. Bahía Blanca, Bs. As., 21-22 oct., 2 pp.
- Prew, R.D., Beane, J., Carter, N., Church, B.M., Dewar, A.M., Lacey, J., Penny, A., Plumb, R.T., Thorne, G.N. y Todd, A.D. 1986. Some factors affecting the growth and yield of winter wheat grown as a third cereal with much or negligible take-all. *J. Agric. Sci., Camb.*, 107, 639-671.
- Prew, R.D., Church, B.M., Dewar, A.M., Lacey, J., Penny, A., Plumb, R.T., Thorne, G.N., Todd, A.D. y Williams, T.D. 1983. Effects of eight factors on the growth and nutrients uptake of winter wheat and on the incidence of pests and diseases. *J. Agric. Sci., Camb.*, 100, 363-382.
- Ruiz G. 1971. Efectos de un regulador de crecimiento (cloruro de 2-cloroetil trimetil amonio), en tres variedades de *Triticum aestivum* (Tacuará INTA, Klein Impacto, Klein Toledo) y una variedad de *Triticum durum* (Tagnarog Buck Balcarce). Tesis Ing. Agr., UNMPD, Balcarce, 52 pp.
- Stapper, M. y Fischer, R.A. 1990. Genotype, sowing date and plant spacing influence on high-yielding irrigated wheat in Southern New South Wales. II. Growth, yield and nitrogen use. *Aust. J. Agric. Res.*, 41, 1021-1041.
- Tripathia, S.C., Sayreb, K.D., Kaulc, J.N. y Narang R.S. 2003. Growth and morphology of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) culms and their association with lodging: effects of genotypes, N levels and ethephon. *Field Crops Res.*, 84, 271-290.
- Tripathia, S.C., Sayreb, K.D., Kaulc, J.N. y Narang, R.S. 2004. Lodging behavior and yield potential of spring wheat (*Triticum aestivum* L.): effects of ethephon and genotypes. *Field Crops Res.*, 87, 207-220.