



Cultivos perennes: beneficios, especies promisorias, resultados en Uruguay y su nicho

Foto: Andrés Locatelli

Andrés Locatelli¹ y Valentín Picasso^{2,3}

1- Profesor Adjunto, CENUR Litoral Norte, Universidad de la República.

2- Professor, Dept. of Crop Production Ecology, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Suecia.

3- Profesor Agregado del Departamento de Producción Animal, Facultad de Agronomía, Universidad de la República.

1- INTRODUCCIÓN

Los granos de cereales han sido una fuente primaria de alimentación para los seres humanos durante miles de años (Awika et al., 2011). Actualmente, granos como el maíz, arroz y trigo, son la principal fuente mundial de energía, hidratos de carbono y proteínas vegetales de la dieta humana (Poutanen et al., 2021). Sin embargo, los sistemas agrícolas predominantes donde estos granos anuales se producen se han asociado a diversos impactos negativos. El actual sistema alimentario mundial ejerce una presión insostenible no solo sobre el uso de la tierra, sino también sobre el medio ambiente, debido al agotamiento del agua dulce, el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero, la alteración de los ciclos del nitrógeno y el fósforo, la pérdida de biodiversidad y la contaminación (Fanzo et al., 2021).

La perennización de las especies cultivadas y el aumento de la diversidad de cultivos a escala de campo, explotación y región es un enfoque alternativo para abordar la problemática de la pérdida de servicios ecosistémicos asociados a los sistemas agrícolas anuales, ya que consiste en alterar fundamentalmente el propio ecosistema agrícola (Crews et al., 2018). Debido a estaciones de crecimiento más cortas y sistemas radiculares menos desarrollados, los cultivos anuales proporcionan menos protección contra la erosión del suelo, tienen una menor eficiencia en el uso del agua y los nutrientes, almacenan menos carbono en el suelo y hacen que el sistema de producción sea menos resistente a los estreses bióticos y abióticos que las comunidades de plantas perennes (Sanford et al., 2021, Osterholz et al., 2019).

En diversas instituciones a nivel mundial se están desarrollando cultivos de grano perenne, entre los que se encuentra; Tinopiro [*Thinopyrum intermedium* (Host) Barkworth & D. R. Dewey], trigo perenne (*Triticum* spp./*Thinopyrum* spp.), sorgo perenne [*Sorghum bicolor* (L.) Moench/*S. halepense* (L.) Pers.], girasol Maximilia (*Helianthus maximiliani* Schrad.), girasol perenne (complejos de híbridos de *Helianthus* spp.), *Desmanthus illinoensis* (Michaux) MacMillan y el arroz perenne (híbridos de *Oryza* spp.) (Cox et al., 2010).

Aunque muchas especies han mostrado potencial para su domesticación como cultivo de grano perenne, Tinopiro ha resaltado entre ellas (Wagoner y Schauer, 1990). Tinopiro es una gramínea perenne, hexaploide ($2n = 6x = 42$), está relacionado genéticamente al trigo común (*Triticum aestivum*), presenta alogamia y autoincompatibilidad, y pertenece a la tribu de las triticeas y a la familia de la poaceas (Mahelka et al., 2011). Es nativo del sur de Europa, medio-oeste de Asia Central, y su zona de influencia primaria llega hasta el oeste de Pakistán (Tzelev, 1976). Introducido a EE. UU., con el nombre de *intermediate wheatgrass* en 1932, fue implementado como cultivo forrajero en el área superior del medio oeste debido a su resistencia al frío y a su calidad de forraje (Moore et al., 1995, Hitchcock, 1951). A causa de sus aptitudes tanto forrajeras como graníferas, Tinopiro es considerado como un cultivo perenne con alto potencial doble propósito, lo que implica su capacidad para proporcionar una doble fuente de ingresos y mayor flexibilidad en empresas agrícolas ganaderas (Bell et al., 2008).

El rendimiento de grano de Tinopiro en el hemisferio norte, aunque ha mostrado un mejoramiento constante (40 kg/ha/ciclo), aún está entre tres y cuatro veces por debajo del trigo comercial (DeHann et al., 2018; DeHann, 2022). Su producción forrajera puede situarse alrededor de los 7000 kg MS/ha/año (Franco et al., 2021).

Aunque son evidentes las fortalezas agro-ecosistémicas de este cultivo, existen varias limitantes o huecos en la información para lograr su expansión geográfica a regiones templadas como la nuestra. La presencia de requerimientos de vernalización en la especie (Ivancic et al., 2021) son una de las principales limitantes para la expansión geográfica de Tinopiro en regiones con inviernos más templados como los de Uruguay. El comportamiento agronómico, así como las bases para el mejoramiento genético de Tinopiro bajo regiones templadas, son temáticas aún no exploradas en la especie. Por otro lado, a nivel mundial hay consenso en afirmar la existencia de una disminución del rendimiento en grano conforme avanzan los años de producción (Law et al., 2021, Pinto et al., 2021). La generación de conocimiento en estas áreas podría otorgar las herramientas básicas necesarias para la adopción de Tinopiro en regiones templadas con inviernos suaves.

2- MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Cuantificación de los requerimientos y diversidad de Vernalización en la especie

Semillas de ocho diferentes poblaciones de mejoramiento de Kernza/Tinopiro se evaluaron en macetas en cámaras de crecimiento. Las plántulas se cultivaron en el invernadero a 25 °C y con 16 horas de luz (8 horas de luz natural invernal más 8 horas de luz incandescente de baja intensidad) hasta que las plantas alcanzaron el estado de tres hojas. En cámara las plantas se mantuvieron a una temperatura promedio de 5 °C y con 10 horas de luz, durante 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9 semanas. Al salir de cámara, las plantas fueron mantenidas en invernadero a 25 °C y con 16 horas de luz. La floración y componentes de rendimiento en grano fueron medidos en un total de 384 plantas individuales.

2.2. Comportamiento agronómico de Tinopiro en Uruguay

Dos poblaciones de Tinopiro del programa del Land Institute, Kansas, USA (primer germoplasma introducido a Uruguay, ciclo 0), y el efecto de tres tasas de fertilización con nitrógeno fueron evaluadas por primera vez en un experimento de campo parcelario durante dos años (2018-2019, 2019-2020) en Uruguay. Se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado y un factorial completo (dos poblaciones y tres dosis de N) como diseño de tratamientos con 6 repeticiones, totalizando 36 parcelas. Durante dos años la calidad y producción de forraje, tiempo a floración, rendimiento en grano y sus componentes fueron evaluados.

2.3. Bases para el mejoramiento genético de Tinopiro en zonas templadas

Treinta familias de medios hermanos fueron plantadas a campo con espaciamiento de 60 cm en la Estación Experimental “Dr. Mario A. Cassinoni”, Paysandú, Uruguay, bajo un diseño de bloques completamente aleatorizado con tres repeticiones. De forma individual se midieron en 1080 plantas, características fenológicas, de grano y de forraje para cada planta durante dos años (Figura 1).



Figura 1. Imágenes de Tinopiro en experimentos realizados en Paysandú (Uruguay): plántulas de las familias de medios hermanos (a), rebrote otoñal de las familias de medios hermanos (b), y espigazón de las familias de medios hermanos en el segundo año ©.

3- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Requerimientos de vernalización

El porcentaje de plantas que florecieron aumentó del 30 al 96% a medida que la duración del período de incubación en frío se incrementó de 3 a 7 semanas, siguiendo un modelo sigmoide (Figura 2a). Para las espigas por planta, así como para la mayoría de los componentes del rendimiento, no se observaron cambios después de las 7 semanas de incubación en frío (Figura 2b). Si comparamos los requerimientos de frío con otras especies de gramíneas perennes invernales, se puede confirmar que las poblaciones de Tinopiro evaluadas tienen requerimientos de vernalización moderados. Para las variables evaluadas no se detectó variabilidad genética entre las poblaciones, aunque fue posible estimar una alta variabilidad dentro de las poblaciones.

3.2. Comportamiento agronómico

La producción de forraje promedio para las poblaciones fue de 14.5 y 6.0 tMS/ha para el primer y segundo año respectivamente. Aumentar la dosis de nitrógeno a 160 kg ha⁻¹ incrementó el rendimiento de grano en un 63% y el de forraje en un 28% en ambas poblaciones. Los rendimientos de forraje y los valores nutritivos fueron similares a los reportados en el hemisferio norte. Sin embargo, los

rendimientos de grano, tanto en el primer año (316 kg/ha) como en el segundo (41 kg/ha), fueron más bajos debido a una floración reducida y a la competencia con malezas.

La calidad del forraje aumentó desde el verano hacia el invierno, es decir, los valores de FDN (fibra detergente neutro) y FDA (fibra detergente ácido) fueron más altos en verano, intermedios en otoño y más bajos en invierno. Por el contrario, el contenido de proteína cruda (PC) y el valor relativo de forraje (VRF) fueron más bajos en verano, intermedios en otoño y más altos en invierno (Tabla 1).

3.3. Bases y avances para el mejoramiento genético en Uruguay

La mayoría de los caracteres no mostraron interacción entre genotipo y edad del cultivo, lo que sugiere que la selección de caracteres medidos en el primer año de producción proporcionará un mayor progreso genético por unidad de tiempo en comparación con la selección en el segundo año, lo que normalmente se realiza en este tipo de especies. Las estimaciones de heredabilidad en sentido estricto fueron de moderadas a altas para la mayoría de los caracteres evaluados, por lo que la selección fenotípica (selección masal) sería efectiva en esta especie. Se identificaron caracteres secundarios candidatos, como el rendimiento de grano por espiga y el número de espigas por planta, para su uso en la selección indirecta del rendimiento de grano por planta. No se detectaron compensaciones

Tabla 1. Fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), proteína cruda (PC) y valor relativo de forraje (VRF) del primer año de Tinopiro manejado para doble propósito (cosecha de forraje en otoño e invierno, y grano y forraje en verano) en Paysandú, Uruguay.

Parámetro	Verano	Otoño	Invierno
FDN(g/kg DM)	706 ±0.4 a	663± 0.3 b	561± 0.4 c
FDA (g/kg DM)	430± 0.5 a	352± 0.3 b	305± 0.5 c
PC (g/kg DM)	82± 0.3 c	142± 0.2 b	197± 0.3 a
RFV	73± 0.9 c	86± 0.7 b	109± 1.2 a

Los valores se presentan como media ± error estándar. Medias con la misma letra dentro de cada parámetro no difieren significativamente ($p = 0.05$).

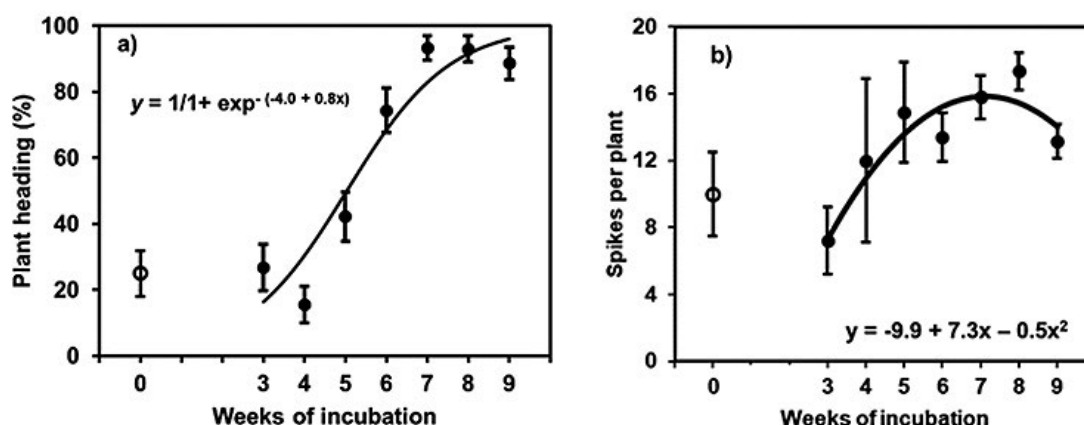


Figura 2. Efecto de la duración del período de incubación en frío a 5 °C y 10 horas de luz sobre el porcentaje de floración (a) y sobre las espigas por planta (b). Se muestran los promedios ± error estándar (SE) en cada semana de incubación (círculos cerrados) y las ecuaciones de regresión. El tratamiento control (círculos abiertos) no fue incluido en los modelos de regresión.

(trade-offs) entre caracteres relacionados con el rendimiento de grano y de forraje, lo que indica que es posible mejorar ambos tipos de caracteres simultáneamente.

Desde la introducción de Tinopiro a Uruguay (año 2018 – ciclo 0) por selección masal recurrente por características como espigas por planta, tiempo a floración corto, rendimiento por planta y en el segundo ciclo, también por rendimiento por espiga, se lograron importantes avances al llegar al tercer ciclo de selección. Los porcentajes de floración se duplicaron, el tiempo a floración se redujo en 700 GDD (40 días aproximadamente), las espigas por planta, el rendimiento por espiga y el rendimiento por planta aumentaron 4.5, 2 y 7 veces, respectivamente (Figura 3 y 4). En ensayos parcelarios a campo en la EEMAC, Paysandú y La Estanzuela, Colonia, el ciclo 3 en el verano 2024-2025, logró rendimientos de primer año de 1076 y 2273 kg/ha..

4- CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

Los resultados obtenidos hasta el momento son alentadores acerca de la posibilidad real de desarrollar en el mediano plazo germoplasma de Tinopiro con adaptación agronómica básica a regiones de baja latitud. El comportamiento agronómico de Tinopiro como cultivo forrajero fue más que aceptable, comparable a varias especies ya adaptadas a la región. Las magnitudes de heredabilidad en sentido estricto estimada para la mayoría de los componentes de rendimiento en grano fueron la base para explicar las altas respuestas a la selección obtenidas en los primeros ciclos de selección en nuestra región. Aspectos como el manejo de la defoliación y su impacto en el forraje y grano, comportamiento en mezclas con leguminosas, así como explorar las posibilidades de utilización del grano con germoplasma nacional, son puntos clave para su adopción a nivel local. Estos componentes están siendo investigados actualmente. La integración de cultivos perennes en los sistemas agrícolas puede convertirse en un hito para aumentar los servicios ecosistémicos en la producción de alimentos. Tinopiro, uno de los granos perennes con mayores avances en el mundo, está dando sus primeros pasos en la región.



Estudiantes de maestría Marcos Dissimoz y Guillermo Beasley mostrando una planta de Tinopiro de primer año previo a la floración. Noviembre 2025, EEMAC, Paysandú.

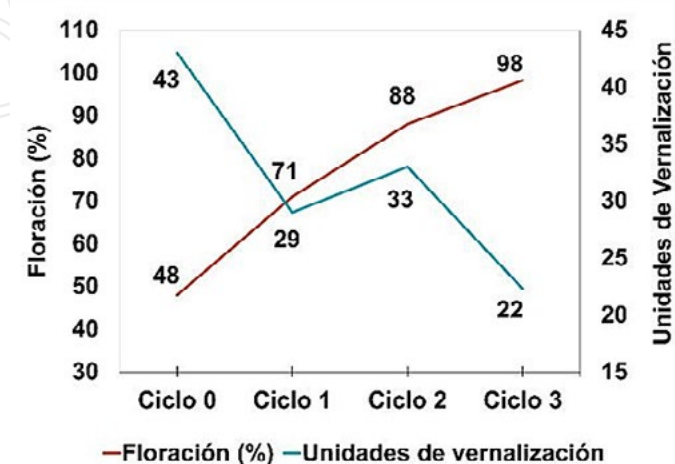


Figura 3. Respuesta a la floración en función de los ciclos de selección y la oferta de frío.

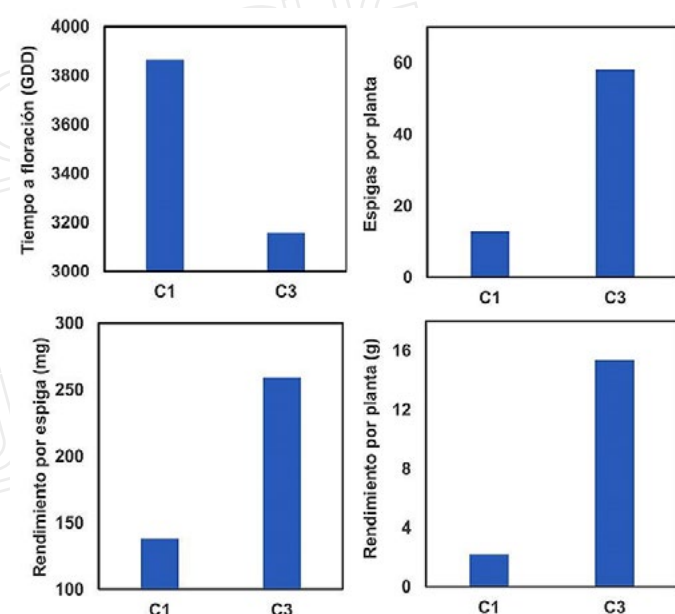


Figura 4. Respuesta en tiempo a floración, espigas por planta, rendimiento por espiga y rendimiento por planta en función de los ciclos de selección.



Plantas de segundo año del cuarto ciclo de selección del programa de mejoramiento de Tinopiro. Julio 2026, EEMAC, Paysandú.

Bibliografía

Awika, J. M. (2011). *Major cereal grains production and use around the world. In Advances in cereal science: implications to food processing and health promotion* (pp. 1-13). American Chemical Society.

Bell, L. W.; Byrne, F.; Ewing, M. A.; & Wade, L. J. (2008). A preliminary whole-farm economic analysis of perennial wheat in an Australian dryland farming system. *Agricultural Systems*, 96(1-3), 166-174.

Cox, T. S.; Van Tassel, D. L.; Cox, C. M.; & DeHaan, L. R. (2010). Progress in breeding perennial grains. *Crop and Pasture Science*, 61(7), 513-521.

Crews, T. E.; & Cattani, D. J. (2018). Strategies, advances, and challenges in breeding perennial grain crops. *Sustainability*, 10(7), 2192.

DeHaan, L.; Christians, M.; Crain, J.; & Poland, J. (2018). Development and evolution of an intermediate wheatgrass domestication program. *Sustainability*, 10(5), 1499.

DeHaan, L. 2022. Kernza breeding progress at TLI. En: *Kernza[®] Meeting* (Abril 2022, Salina, Kansas). The Land Institute Kernza breeding updates.

Fanzo, J.; Bellows, A. L.; Spiker, M. L.; Thorne-Lyman, A. L.; & Bloem, M. W. (2021). The importance of food systems and the environment for nutrition. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 113(1), 7-16.

Franco, J. G.; Berti, M. T.; Grabber, J. H.; Hendrickson, J. R.; Nieman, C. C.; Pinto, P.; ... & Picasso, V. D. (2021). Ecological intensification of food production by integrating forages. *Agronomy*, 11(12), 2580.

Hitchcock, A. S. (1951). *Manual of the grasses of the United States*, 2.^a edición. Revised by A. Chase. United States Department of Agriculture Miscellaneous Publication, 200: 1-1051.

Ivancic, K.; Locatelli, A.; Tracy, W. F.; & Picasso, V. (2021). Kernza intermediate wheatgrass (*Thinopyrum intermedium*) response to a range of vernalization conditions. *Canadian Journal of Plant Science*, 101(5), 770-773.

Law, E. P.; Pelzer, C. J.; Wayman, S.; DiTommaso, A.; & Ryan, M. R. (2021). Strip-tillage renovation of intermediate wheatgrass (*Thinopyrum intermedium*) for maintaining grain yield in mature stands. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 36(4), 321-327.

Mahelka, V.; Kopecký, D.; & Paštová, L. (2011). On the genome constitution and evolution of intermediate wheatgrass (*Thinopyrum intermedium*: Poaceae, Triticeae). *BMC evolutionary biology*, 11(1), 127.

Moore, K. J.; Vogel, K. P.; Klopfenstein, T. J.; Masters, R. A.; & Anderson, B. E. (1995). Evaluation of four intermediate wheatgrass populations under grazing. *Agronomy journal*, 87(4), 744-747.

Poutanen, K. S.; Kårlund, A. O.; Gómez-Gallego, C.; Johansson, D. P.; Scheers, N. M.; Marklinder, I. M.; ... & Landberg, R. (2022). Grains—a major source of sustainable protein for health. *Nutrition reviews*, 80(6), 1648-1663.

Osterholz, W. R.; Renz, M. J.; Jokela, W. E., & Grabber, J. H. (2019). Interseeded alfalfa reduces soil and nutrient runoff losses during and after corn silage production. *Journal of Soil and Water Conservation*, 74(1), 85-90.

Pinto, P., De Haan, L., & Picasso, V. (2021). Post-harvest management practices impact on light penetration and Kernza intermediate wheatgrass yield components. *Agronomy*, 11(3), 442.

Sanford, G. R.; Jackson, R. D.; Booth, E. G.; Hedtcke, J. L., & Picasso, V. (2021). Perenniality and diversity drive output stability and resilience in a 26-year cropping systems experiment. *Field Crops Research*, 263, 108071.

Tzvelev, N.N. (1976). Poaceae, URSS. In: A. A. Fedorov (Ed.), *Triticeae Dum.* Nauka Publ. House, Leningrad, USSR. (pp. 105—206).

Wagoner, P., & Schauer, A. (1990). *Intermediate wheatgrass as a perennial grain crop.*