

Mejoramiento de la resistencia a la sequía en trigo



Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo

Mejoramiento de la resistencia a la sequía en trigo :

Memoria del taller

Breeding for Drought Resistance in Wheat:

Proceedings of the Workshop

Marcos Juárez, Argentina,
28 al 30 de agosto de 1989

Man Mohan Kohli
Editor

Centro Internacional de Mejoramiento de Maiz y Trigo

El Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) es una organización internacional, sin fines de lucro, que se dedica a la investigación científica y la capacitación. Tiene su sede en México y lleva a cabo programas de investigación a nivel mundial sobre el maíz, el trigo y el triticale, orientado a mejorar la productividad de los recursos agrícolas en los países en desarrollo. El CIMMYT es uno de los 13 centros internacionales sin fines de lucro que realizan investigaciones agrícolas y capacitación con el apoyo del Grupo Consultivo sobre la Investigación Agrícola Internacional (CGIAR, *Consultative Group on International Agricultural Research*), que a su vez cuenta con el patrocinio de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), el Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento (Banco Mundial) y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). El CGIAR está compuesto por un grupo de 40 donadores, entre los que figuran países, organismos tanto internacionales como regionales y fundaciones privadas.

A través del CGIAR, el CIMMYT recibe fondos para su presupuesto básico de varias fuentes, entre ellas, los organismos de ayuda internacional de Alemania, Australia, Austria, Brasil, Canadá, China, Dinamarca, España, Estados Unidos de Norteamérica, Filipinas, Finlandia, Francia, India, Irán, Irlanda, Italia, Japón, México, Noruega, Países Bajos, Reino Unido y Suiza, así como la Comisión Económica Europea, la Fundación Ford, el Banco Interamericano de Desarrollo, el PNUD y el Banco Mundial. Asimismo, fuera del CGIAR, el Centro percibe apoyo económico para proyectos especiales de Bélgica, el Centro de Investigación para el Desarrollo Internacional, la Fundación Rockefeller y muchos de los donadores arriba mencionados.

El CIMMYT es el único responsable de esta publicación.

Cita correcta: Kohli, M.M., ed. 1991. Mejoramiento de la resistencia a la sequía en trigo: Memoria del taller, Marcos Juárez, Argentina, del 28 al 30 de agosto de 1989. Mexico, D.F.: CIMMYT.

ISBN: 968-6127-59-3

Descriptor AGROVOC/AGROVOC descriptors: *Triticum aestivum*, Resistencia a la sequía, Fitomejoramiento, Relaciones planta agua/*Triticum aestivum*, Drought resistance, Plant breeding, Plant water relations.

Categorías AGRIS/AGRIS category codes: F30, F60

Clasificación Decimal Dewey/

Dewey decimal classifications: 633.11

INDICE

Reconocimientos/Acknowledgments	v
Prefacio/Preface	vi
Mejoramiento de trigo para resistencia a sequia en Marcos Juarez , Jorge Nisi, Jorge Fraschina, Carlos Bainotti, María T. de Gallich y José Salines, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria-INTA, Estación Experimental Agropecuaria Marcos Juárez, Argentina	1
Mejoramiento de trigo para el noroeste Argentino , Isidro R. Cettour, Fitomejorador de trigo.EEA-INTA Sáenz Peña, El Chaco, Argentina	18
Incidencia de las sequias estacionales en el cultivo de trigo de la region semiarida pampeana. Zona de influencia de la EEA Bordenave en particular , Juan Ramón López, EEA-INTA Bordenave, Buenos Aires, Argentina	26
El fitomejoramiento y la resistencia a la sequia , A.D. Golberg, E.E.A. Anguil INTA y Fac. Agronomía, Univ. Nac. La Pampa, La Pampa, Argentina	40
Relaciones hidricas y comportamiento genotipico en trigo I. Ensayos 1986-87 , A.D. Golberg, E.E.A. Anguil INTA y Facultad de Agronomía Universidad Nacional de la Pampa, y R. Peinetti, C. Cabeza, A. Kin y H. Paccapelo, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de La Pampa	44
Relaciones hidricas y comportamiento genotipico en trigo II. Ensayo 1988 , A.D. Golberg, E.E.A. Anguil INTA y Facultad de Agronomía Universidad Nacional de la Pampa, y R. Peinetti, C. Cabeza, A. Kin y H. Paccapelo, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de La Pampa	63
Defensa antioxidante en cultivares de maiz y trigo resistentes y sensibles a la sequia , Victorio S. Trippi, Gabriela Pastori y Claudio González, Laboratorio de Fisiología Vegetal, Córdoba, Argentina	74
Características do estado do Mato Grosso do Sul , Joaquim Soares Sobrinho, Pesquisador da EMBRAPA-UEPAE de Dourados, Dourados, MS, Brasil	80

Aspectos da cultura do trigo nas regioes norte e oeste do estado do Paraná as condições edafoclimáticas e suas implicações no melhoramento genético , Manoel Carlos Bassoi, Francisco de Assis Franco e Fernando Bernardo Gomide, OCEPAR, Cascavel, PR, Brasil	88
Redução no rendimento de grãos e componentes de produção em genótipos de trigo em função do estresse hídrico , Lauro Akio Okuyama e Carlos Roberto Riede, Instituto Agronômico do Paraná-IAPAR, Londrina, Paraná, Brasil	104
Melhoramento para resistência a seca no IAPAR , Carlos Roberto Riede, Instituto Agronômico do Paraná, IAPAR, Londrina, Paraná, Brasil	109
Trigo: Fitomejoramiento y características de Algunas zonas agroclimáticas en Chile , I. Ramírez, A.; R. Novoa, S-A; y S. Villaseca, C., Proyecto Agrometeorología-INIA, Santiago de Chile	120
Comportamiento del trigo y otros cereales en áreas con deficit hídrico de la zona centro sur de Chile , Mario Mellado Z., Estación Experimental Quilamapu, Chillán, Chile	133
Mejoramiento de trigo para obtener tolerancia a la sequía: Perspectivas y opiniones , S. Rajaram, Programa de Trigo del CIMMYT, México, D.F., México	149
Mejoramiento de trigo para resistencia a sequia , Ricardo R. Pedretti, Ministerio de Agricultura y Ganadería, Dirección de Investigación, Asunción, Paraguay	163
Bread wheat breeding for the dryland areas of West Asia and North Africa , G. Ortiz Ferrara, CIMMYT/ICARDA, Aleppo, Syria	177
Improvement of winter cereal crops in Mediterranean environments: Use of yield, morphological and physiological traits , E. Acevedo, International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), Aleppo, Syria	188
Role of the physiologist-breeder in a crop breeding program for drought resistance , E. Acevedo and S. Ceccarelli, International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), Aleppo, Syria	215
Participantes	236

RECONOCIMIENTOS

Quisiera hacer patente mi agradecimiento sincero al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Argentina; a las autoridades de la Estación Experimental Regional (INTA), Marcos Juárez; al Coordinador Nacional de Trigo, Ing. Jorge Nisi; y al personal del Programa de Trigo en Marcos Juárez por su fuerte apoyo en la organización de este taller. Asimismo, agradezco al Ing. Hugo Juan del INTA-Buenos Aires su ayuda en la organización del transporte y el recibimiento de los participantes.

Por otra parte, reconozco el esfuerzo que realizaron todos los participantes de la región y fuera de ella, en especial, S. Rajaram, E. Acevedo y G. Ortiz Ferrara por haber hecho viajes muy largos con el fin de compartir sus experiencias con el grupo y de enriquecer las discusiones. Agradezco también la ayuda de mi colega Pat Wall, sobre todo en la identificación de participantes para esta reunión.

Por último, agradezco la asistencia de las Sras. Ana María Chávez y Marilú Davelouis, secretarías de la oficina del CIMMYT en Paraguay, por haber mecanografiado manuscritos muy complicados en un período muy breve, y a Gene Hettel y el personal del CIMMYT en México por la producción final e impresión de esta memoria.

M.M. Kohli

ACKNOWLEDGMENTS

I would like to acknowledge my sincere appreciation to Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Argentina; the authorities of the Estación Experimental Regional (INTA), Marcos Juárez; the National Wheat Coordinator, Ing. Jorge Nisi; and the staff of the Wheat Program at Marcos Juárez for their tremendous support in the organization of this workshop. I also thank Ing. Hugo Juan of INTA-Buenos Aires for his help in organizing the transportation and receiving of the participants.

I also recognize all the participants from inside and outside the region, especially S. Rajaram, E. Acevedo, and G. Ortiz Ferrara for travelling long distances to come to share their experiences with the group and to enrich the discussions. Thanks also to my colleague, Pat Wall, for his help, particularly in identifying participants for this meeting.

Finally, I am thankful to Mrs. Ana María Chávez and Mrs. Marilu Davelouis, both secretaries at the CIMMYT-Paraguay office, for typing the difficult manuscripts in a very short time and to Gene Hettel and the Information Services staff at CIMMYT-Mexico for finalizing and printing these proceedings.

M.M. Kohli

PREFACIO

La agricultura de secano en todo el mundo invariablemente padece irregularidades en la precipitación pluvial de un año a otro. La sequía, que causa síntomas de estrés hídrico, es un factor limitante del rendimiento en muchos cultivos. Importantes regiones productoras de trigo, como el Subcontinente Indio, el Medio Oriente, el Norte y el Oeste de África, partes de Norteamérica y el Cono Sur de América del Sur, presentan niveles variables de sequía casi todos los años.

Los programas nacionales de investigación de trigo en estas regiones y el CIMMYT han identificado la sequía como un importante factor limitante y han estado trabajando en desarrollar germoplasma que manifieste un comportamiento superior en condiciones de estrés. El CIMMYT ha identificado cuatro tipos principales de estrés hídrico en el trigo:

- El estrés del Subcontinente Indio, donde el cultivo utiliza la humedad almacenada en el suelo.
- El estrés del Cono Sur, donde el cultivo padece estrés hídrico a mediados del ciclo de cultivo.
- El estrés del Mediterráneo, donde el cultivo padece estrés durante el llenado de grano.
- El estrés por riego reducido, donde el cultivo recibe una cantidad reducida de agua debido a la poca disponibilidad.

La variabilidad entre y dentro de estos tipos de estrés y su relación con otros factores climáticos como la temperatura dificultan aún más el desarrollo de germoplasma. No obstante, se han logrado algunos avances y se ha identificado germoplasma sobresaliente para cada tipo de estrés mediante un método indirecto de selección, es decir, el comportamiento de rendimiento en condiciones de sequía.

Los programas de trigo conjuntos en los países de América del Sur apoyados por el Programa de Investigación Conjunta del Cono Sur (PROCISUR) y el CIMMYT, permiten un intercambio ágil de germoplasma e información entre los países participantes.

En vista de la enorme importancia del mejoramiento para lograr la tolerancia a la sequía en el Cono Sur, se celebró este taller del 28 al 30 de agosto de 1989 en Marcos Juárez, Argentina, con los siguientes objetivos:

- Recopilar información meteorológica de las distintas partes de la región donde hay sequía durante el ciclo de trigo con el fin de entender la variabilidad o complejidad del fenómeno.
- Recopilar información sobre el trabajo que se está realizando en la región, incluido el tipo de germoplasma disponible y las características y metodologías fitotécnicas que se utilizan.
- Entender cómo manejar de manera más eficaz el mejoramiento para lograr la tolerancia a la sequía.

Esperamos que esta memoria les sea útil a mejoradores y fisiólogos en el establecimiento de estrategias y metodologías que definan mejor las áreas de investigación para lograr la tolerancia a la sequía.

M.M. Kohli
Editor Técnico

PREFACE

Rainfed agriculture around the world invariably suffers from precipitation irregularities from year to year. Drought, causing water-stress related symptoms, is an important yield limiting factor in many crops. Important wheat growing regions of the world such as the Indian Subcontinent, the Middle East, North and East Africa, parts of North America, and the Southern Cone region of South America suffer from drought to varying degrees almost every year.

The national wheat research programs of these regions and CIMMYT have identified drought as an important constraint and have been working toward developing germplasm that has superior performance under water stress conditions. CIMMYT has identified four major types of water stress in wheat:

- Indian Subcontinent stress, where the crop uses reserve moisture from the soil.
- Southern Cone stress, where the crop suffers water stress during the middle of the crop cycle.
- Mediterranean stress, where the crop suffers stress during the grain filling period.
- Reduced irrigation stress, where the crop gets a limited amount of water due to reduced availability.

The variability among these and within each drought type and their relationships with other climatic factors such as temperature make germplasm development all the more difficult. Yet, some advances have been made and superior germplasm has been identified for each type of stress based on an indirect method of selection, i.e., yield performance under stress conditions.

The cooperative wheat programs among the countries of South America supported by the Cooperative Research Program of the Southern Cone (PROCISUR) and CIMMYT allow rapid exchange of germplasm and information among the participants.

Considering the tremendous importance of breeding for drought resistance in the Southern Cone region of South America, this workshop was held August 28-30, 1989, in Marcos Juárez, Argentina, with the following objectives:

- To collect climatic information from different parts of the region suffering drought during the wheat crop cycle in order to understand the variability or complexity of the phenomenon.
- To bring together information on what is being done in the region, including the type of germplasm available and characters and breeding methodologies being used.
- To increase the understanding of how to handle drought resistance breeding in an efficient manner.

I hope that these proceedings will be of help to breeders and physiologists as they define strategies and methodologies for streamlining areas of research in drought resistance.

M.M. Kohli
Technical Editor

MEJORAMIENTO DE TRIGO PARA RESISTENCIA A SEQUIA EN MARCOS JUAREZ

Ing. Agr. Jorge Nisi, Coordinador de Cereales y Oleaginosas;
Ings. Agrs. Jorge Frascina, Carlos Bainotti,
María T. de Gallich y José Salines

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria-INTA
Estación Experimental Agropecuaria Marcos Juárez
Casilla de Correo No.21,
2580 Córdoba, Argentina

Resumen

En Argentina el cultivo de trigo se realiza en condiciones de secano y el déficit hídrico es el principal factor limitante de la producción. Así, el 60% del área triguera está afectada frecuentemente por sequía, mientras que el resto también puede presentar déficits hídricos importantes en algún momento del desarrollo del cultivo.

En Marcos Juárez (32°S, 62°O) el clima es templado continental subhúmedo, con un promedio de lluvia anual de 898 mm. Las precipitaciones están concentradas en primavera y otoño con un marcado déficit invernal.

Las características necesarias para los trigos en el área de influencia de Marcos Juárez son: ciclo intermedio, 145 días, y madurez de corta duración, 40 días para disminuir el efecto de las altas temperaturas y además permitir la siembra del cultivo de soja, sucesor más frecuente en el área.

Para esto, el Programa de Mejoramiento de Trigo en la E.E.A. Marcos Juárez desarrolla etapas de: a) Creación de variabilidad genética a través de cruzamientos, b) Selección de material segregante en distintos ambientes y c) Evaluación de las líneas estabilizadas en diferentes ambientes.

La selección simultánea en poblaciones F3 efectuadas sobre campo experimental en condiciones óptimas en cuanto a humedad y fertilidad y sobre rastrojo de soja con déficit de humedad en el suelo, mostró especificidad de algunas cruzas para el ambiente sobre soja.

Cultivares como Cruz Alta INTA, PROINTA Isla Verde y Don Ernesto INTA, difundidos por la EEA Marcos Juárez, se destacan por su estabilidad de rendimiento en diferentes ambientes de Argentina y otros países del Cono Sur.

Introducción

La escasez de humedad durante el crecimiento y desarrollo del trigo puede manifestarse en severas pérdidas de productividad especialmente en regiones semiáridas y subhúmedas. En estos ambientes juega un rol importante la cantidad de precipitaciones pero más aún su distribución.

La producción de trigo en estas áreas se caracteriza por marcadas fluctuaciones entre años, siendo su causa principal los déficits hídricos de distinta magnitud en diferentes estadios vegetativos de elevados requerimientos de humedad. Este es el caso del área de Marcos Juárez que se indica en la Figura 1.

El efecto de este factor limitante puede ser atenuado mediante la utilización de germoplasma con tolerancia a déficit hídrico, que junto a un adecuado manejo del cultivo conduzca a un mejor aprovechamiento de la humedad, permitiendo expresar el máximo potencial de rendimiento. De esta manera, es posible obtener en estas áreas una mayor estabilidad en los rendimientos a través de los años, sin aumentar significativamente los costos.

El trigo, uno de los cereales más importantes en la alimentación humana, se cultiva en aproximadamente 230 millones de hectáreas. La mayor parte de esta superficie se siembra en condiciones de secano y alrededor del 40% presenta problemas de déficit de humedad que limita con variada intensidad los rendimientos. En estas regiones este problema reviste particular importancia si se tienen en cuenta dos aspectos. Uno de ellos es la elevada frecuencia con que este factor limitante de la producción se presenta y otro es el momento de ocurrencia respecto a períodos críticos durante el ciclo de cultivo.

En Sudamérica algunos países del Cono Sur presentan esta limitante para el cultivo de trigo. Entre ellos se destaca por la superficie afectada la Argentina, con aproximadamente 3 millones de ha., Brasil con un área de 1 millón de ha. y Chile 150,000 Ha. Otros países como Paraguay y Bolivia también están afectados por esta adversidad (Figura 2).

Caracterización agroecológica de la Región Triguera Argentina

En la Argentina el cultivo de trigo se realiza en condiciones de secano, siendo el déficit hídrico el principal factor limitante de la producción. Sobre una superficie sembrada de aproximadamente 5.500.000 ha., el 60% está afectada frecuentemente por sequía. Debe señalarse que el resto del área también puede presentar déficit hídrico importante en algún momento del desarrollo del cultivo.

Por la gran extensión de la región considerada y por las distintas condiciones de ambiente ha sido necesaria su división en 5 subregiones ecológicas; dos de ellas subdivididas en zonas norte y sur. Las mismas son las siguientes: Subregión I, Subregión II N, Subregión II S, Subregión III, Subregión IV, Subregión V N y Subregión V S.

El régimen de precipitaciones se caracteriza por presentar un gradiente de este a oeste con tendencia decreciente desde 900 mm anual en las subregiones III, II s y IV hasta 400 mm en las subregiones V N y V S. Generalmente, la mitad de esta cantidad ocurre durante el ciclo de cultivo de trigo, pero la variabilidad entre años es muy elevada.

En cuanto a la textura de los suelos presentan una variación desde franco-arcilloso al este, franco-limoso en la parte central y franco-arenoso a arenoso al oeste. Estas características, sumadas a la amplitud térmica y una marcada variabilidad climática entre años, provocan frecuentes balances hídricos negativos en etapas críticas del cultivo afectando los rendimientos, principalmente en el área oeste de la región triguera argentina. En esta área el INTA desarrolla tareas de mejoramiento genético y de manejo del suelo y del cultivo de trigo en las estaciones experimentales de Bordenave, R.Saénz Peña y Marcos Juárez.

Caracterización agroclimática de Marcos Juárez

El clima, subhúmedo con modalidad de templado-continental, se caracteriza fundamentalmente por la variabilidad de precipitaciones entre años, no solo en la cantidad, sino también en su distribución especialmente durante el ciclo de cultivo de trigo (Figura 3). Se observan los valores de temperaturas medias mensuales, evapotranspiración potencial y real, medias mensuales y precipitaciones medias mensuales.

La precipitación media anual es de 898 mm con una concentración primavera-otoño y un marcado déficit invernal, con coeficientes de variación muy elevados especialmente en los meses de junio, julio y agosto.

Las temperaturas medias del mes más cálido (Enero) es de 23,8°C y la del mes más frío (Junio) de 10°C. En estos meses las temperaturas máximas y mínimas absolutas fueron de 41,2°C y -10°C, respectivamente.

Observando las curvas de evapotranspiración potencial y real, se marcan déficits especialmente durante los meses de agosto, septiembre y noviembre en el ciclo de cultivo de trigo.

El período de siembra de Marcos Juárez comprende desde fines de mayo hasta mediados de julio. En este período la disponibilidad de humedad edáfica tiende a decrecer desde mayo a julio permitiendo una buena implantación. También se registran en este período frecuentes heladas pudiendo demorar la emergencia hasta 20 días (Figura 4).

La fase de macollaje se extiende desde mediados de julio hasta fines de agosto, se caracteriza por un marcado déficit de precipitaciones que continúa hasta fines de septiembre abarcando la fase de crecimiento de la espiga y comienzo de espigazón afectando los componentes de rendimiento. Como consecuencia, estas etapas del desarrollo del cultivo de trigo dependen de la humedad acumulada en el suelo.

A partir de antesis y en el llenado de grano aumenta la probabilidad de ocurrencia de precipitaciones suficientes para cubrir la demanda de estas fases de desarrollo. Sin embargo, durante esta última fase suelen ocurrir picos de elevadas temperaturas que pueden afectar el llenado del grano.

Estrategias de mejoramiento de trigo en la EEA Marcos Juárez

El Programa Trigo del INTA posee objetivos generales tales como rendimientos elevados y estables, junto a una calidad acorde a los mercados internos y de exportación. También existen objetivos regionales o específicos debidos a la diversidad de ambientes y de sistemas de producción en el área triguera argentina. Entre los objetivos específicos que son importantes para lograr estabilidad en los rendimientos se considera la resistencia a enfermedades y la tolerancia a déficit hídrico. Esto último reviste especial importancia si se tiene en cuenta que aproximadamente 7 de cada 10 años se presenta este problema en Marcos Juárez.

Los cultivares obtenidos en la EEA Marcos Juárez se difunden fundamentalmente en las subregiones trigueras II N y V N presentando adaptación a los sistemas de producción agrícola-ganaderos de la zona.

Las características que deben presentar los trigos son las siguientes: ciclo intermedio de aproximadamente 145 días de germinación a madurez para siembras en el mes de junio con la finalidad de aprovechar la humedad superficial. El período de germinación a espigazón debe ser de aproximadamente 100 días de manera que la espigazón ocurra alrededor del 10 de octubre, luego del período de riesgo de heladas tardías. Es conveniente que el lapso de espigazón a madurez sea de corta duración, 40 días, para disminuir el efecto de elevadas temperaturas y permitir la siembra en época más favorable del cultivo de soja, sucesor más frecuente en el área.

Para cumplir con los objetivos fijados, el programa de mejoramiento de la EEA Marcos Juárez desarrolla etapas de creación de variabilidad genética, selección de material segregante y evaluación de líneas estabilizadas (Figura 5).

Creación de variabilidad: se realiza a través de hibridaciones efectuándose cruza simples, dobles y top en Marcos Juárez (Argentina) y Obregón (México) además de algunas cruza primaverales por invernales en Oregon (USA).

Selección de material segregante: las F1 sembradas en la EEA Marcos Juárez se descartan por tipo agronómico y sanidad.

En las poblaciones F2 con aproximadamente 600 individuos se seleccionan plantas individuales por caracteres agronómicos, adversidades climáticas y reacción a enfermedades especialmente a *Puccinia recondita*, *P. graminis* y *Septoria tritici* y *Fusarium graminearum*. Luego de la cosecha se seleccionan por tipo de grano.

En la EEA Sáenz Peña a 27° Lat. Sur, se seleccionan masalmente las poblaciones F3 para resistencia a *P. graminis*, *P. recondita*, *Helminthosporium* sp. Además la siembra en esta latitud posibilita la selección de materiales de amplia adaptación con tolerancia a déficit hídrico y a elevada temperatura en el período de formación del grano.

La cosecha se realiza a fines de octubre posibilitando la realización de pruebas rápidas de calidad previa a la siembra de poblaciones F4 en el vivero de verano de Balcarce a fines del mes de noviembre.

Balcarce, ubicado a 38°S presenta condiciones óptimas para seleccionar a *P. graminis* y eventualmente a *P. recondita* permitiendo a su vez el avance de una generación anual. La generación F5 se siembra en la EEA Marcos Juárez seleccionándose plantas individuales y cosechándose en masa en F6 previa selección de enfermedades y caracteres agronómicos.

En el área de influencia de la EEA Marcos Juárez el trigo normalmente sucede al cultivo de soja. Esto implica un reducido barbecho que sumado a la distribución estacional de precipitaciones trae como consecuencia que a la siembra del cultivo de trigo, el agua acumulada en el suelo sea insuficiente para las primeras etapas de desarrollo del cultivo.

Por esta razón se piensa que la selección para este tipo de ambiente podría ser más eficiente seleccionado desde generaciones tempranas sobre soja.

A partir de 1986 las mismas poblaciones F3 se sembraron bajo 3 condiciones: campo experimental, sobre soja y sobre maíz (Cuadro 1).

Estas poblaciones, 2.152 en total, estaban constituidas por un 64% de cruza realizadas en Marcos Juárez, 18.2% de cruza realizadas en Obregón para el Cono Sur, 8.7% F2 Dryland y 3,6% Universidad del Estado de Oregon (OSU).

Las selecciones F4 y F5 se condujeron en los mismos ambientes donde fueron seleccionadas en F3. Actualmente las líneas F6 están en multiplicación con la finalidad de comenzar el próximo año las pruebas de rendimiento en los distintos ambientes seleccionados.

En 1988 en F6 se seleccionaron 83 poblaciones sobre campo experimental, ocho sobre soja y ocho sobre maíz (Cuadro 2).

Cabe destacar que de las poblaciones probadas en los tres ambientes solamente coincidieron cuatro cruzamientos seleccionados en el campo experimental y sobre maíz no existiendo coincidencia en las otras comparaciones. Estos resultados preliminares podrían indicar que con esta metodología se podría detectar genotipos con adaptación específica a la sucesión trigo-soja.

Esta hipótesis será validada a través de ensayos comparativos de rendimientos, comparando las líneas avanzadas obtenidas sobre el campo experimental y las obtenidas sobre maíz y soja en condiciones de campo experimental y sobre soja.

Actualmente con las líneas avanzadas en el segundo año de E.C.R. están siendo probadas bajo condiciones de campo experimental y sobre soja con la finalidad de seleccionar genotipos con buen comportamiento en ambos ambientes.

Evaluación de líneas: con los materiales estabilizados se efectúan ensayos comparativos de rendimiento con evaluaciones por rendimiento, sanidad y análisis completos de calidad industrial. Posteriormente las mejores líneas del Programa conforman los ensayos regionales que se siembran en todo el país. Los materiales de siembras tempranas que generalmente son los que mejor se adaptan a las condiciones de déficit hídrico de nuestro país forman un ensayo regional que se siembra en las EEA Bordenave, Marcos Juárez, Sáenz Peña y Pergamino.

Debe señalarse que las líneas más promisorias se prueban también en ensayos en campos de productores con la finalidad de observar el comportamiento de las mismas bajo condiciones menos favorables que el campo experimental en lo referente a nivel de disponibilidad de humedad edáfica y fertilidad.

El programa de mejoramiento de Marcos Juárez ha producido cultivares que han alcanzado elevada difusión debido principalmente a su amplia adaptación a diferentes ambientes.

Este hecho está reflejado en los análisis de estabilidad con los métodos de Finlay y Wilkinson y Shukla realizado con ensayos regionales conducidos en Marcos Juárez y Pergamino en el período 1984-1988. Se utilizaron para el análisis los cultivares Las Rosas INTA, Buck Pangaré, PROINTA Isla Verde y PROINTA Oasis.

En la Figura 6 se observa que Las Rosas INTA presentan un comportamiento ligeramente inferior al promedio de los cuatro cultivares considerados.

PROINTA ISLA VERDE: mostró un comportamiento levemente superior al promedio con una leve inestabilidad.

BUCK PANGARE: Se observa un comportamiento similar al promedio de los cultivares en ambientes menos favorables, decreciendo su rendimiento en ambientes favorables.

PRONTA OASIS: demostró ser la más estable y de mayor nivel de rendimiento en todos los ambientes.

Además se analizaron los ensayos regionales de Marcos Juárez y Pergamino en el período 1981-1985 (Figura 7) estudiándose las variedades Don Ernesto INTA y Cruz Alta INTA, en 12 ambientes.

Don Ernesto INTA se comparó con los testigos Klein Chamaco, Victoria INTA, Leones INTA y Marcos Juárez INTA. Este cultivar es un material de alto potencial de rendimiento con excelente comportamiento en ambientes favorables.

Con respecto a Cruz Alta INTA (Figura 8) se lo comparó con los cultivos Cargill 800, Chaqueño INTA, Marcos Juárez INTA y Buck Napostá. Cruz Alta INTA demostró mayor respuesta en ambientes óptimos superando a los testigos en ambientes desfavorables.

En los ensayos regionales de rendimiento de variedades de trigo del Cono Sur (ERCOS) que se conducen en Brasil, Bolivia, Chile, Paraguay, Uruguay, Argentina y México se realizó un estudio de estabilidad en el aspecto rendimiento considerando el período 1986-1987 en 14 ambientes.

(Figuras 9 y 10). De 15 cultivares que participaron los más destacados por su comportamiento en distintos ambientes son: Cordillera 3 (Paraguay), Millaleu INIA (Chile), Onda INIA (Chile), PROINTA Oasis (Argentina), Granero INTA (Argentina), Cordillera 4 (Paraguay) e IAPAR 17 Caetes (Brasil) siendo esta última la más estable.

Por otra parte, en el vivero de observación de líneas avanzadas del cono sur (LACOS) (Cuadro 3) conducidos en el período 1981-1987 en los países del cono sur se observan las mejores líneas según frecuencia de selección visual.

Los materiales más destacados en 7 años y en numerosas localidades son: PROINTA ISLA VERDE (Argentina) en 3 años BOBWHITE (Paraguay), PROINTA OASIS y CRUZ ALTA INTA ambas de Argentina y BR14 de Brasil en dos años. Debe señalarse que algunos de estos materiales son actualmente cultivares de amplia difusión en distintos países del cono sur.

En la EEA Marcos Juárez se han conducido viveros de observación para sequía organizados por CIMMYT en el período 1983-1988. En el Cuadro 4 se indican los materiales destacados.

Drought Tolerance Breeding in Wheat at Marcos Juarez

Abstract

In Argentina, the wheat crop is produced under rainfed conditions, and the lack of sufficient moisture is the principal limiting factor. Approximately 60% of the wheat area is frequently affected by drought, while the remaining may also have severe water deficits during some stages of the crop's development.

In Marcos Juarez (32°S, 62°), the climate is temperate with low humidity and has an average annual rainfall of 898 mm, which is concentrated in spring and fall causing a large moisture deficit during the winter.

The essential requirements for wheat at Marcos Juarez are: an intermediate cycle (145 days) and a short grain filling period (40 days) to reduce the effect of high temperatures during this period and to permit the timely sowing of the soybean crop.

The breeding methodology includes: a) establishing genetic variability through crossing, b) selection of segregating materials in different environments, and c) evaluation of the fixed lines in different environments.

The simultaneous selection of F3 populations under high moisture and fertility conditions and drought stress conditions demonstrates the specificity of some germplasm for drought stress.

Cuadro 1. Selección de material segregante en distintas secuencias de cultivo.

AÑO	MATERIAL	Secuencia de Cultivo		
		TRIGO/DESCANSO/TRIGO Agua útil 1,5 Mt: 145 mm NO3 capa arable: 130 ppm Fósforo asimilab: 60 ppm	TRIGO/SOJA/TRIGO Agua útil 1,5 Mt: 70mm NO3 capa arable: 35 ppm Fósforo asimilab: 40 ppm	SOJA/MAIZ/TRIGO Agua útil 1,5 Mt: 95 mm NO3 capa arable: 35 ppm Fósforo asimilab: 30 ppm
1985	F2 (sel.indiv.)			
1986	F3 (sel.indiv.)	2.152 poblaciones	2.152 poblaciones	2.152 poblaciones
1987	F4 (sel.masal)	3.530 poblaciones	173 poblaciones	614 poblaciones
1988	F5 (sel.masal)	330 poblaciones	17 poblaciones	50 poblaciones
1989	F6 (indiv.de masa y sel.masal)	83 poblaciones	8 poblaciones	8 poblaciones
1990	Ensayo de Rendimiento	Ensayo de Rendimiento	Ensayo de rendimiento	

Cuadro 2. Selección de material segregante en distintas secuencias de cultivo.

Cruzamiento Seleccionado	Trigo/Descanso/Trigo	Soja/Maíz/Trigo	Trigo/Soja/Trigo
HPO'S/4/CNO'S/GLL/3/NAPO/CDL//BB/CNO'S'	AMJ.8032(1)	2X	
HPO'S'/SNB'S'	AMJ.9187(1)	X	
CRUZ ALTA INTA/3/JAR'S'/CHR//CNO	AMJ.8059(1)	X (*)	
JUP/ALD'S'/3/2*RAF T26/V.MAR//SOREN/4/RAF T26/VMAR//SOREN	AMJ.8242(2)	2X	
NS713/PCI'S'/4/YD'S'/3/TOB/ERA//TOB/CNO	AMJ.9203(1)	X	
RETACON INTA/4/KVZ/TI/3/MAYA'S'//BB/INIA	AMJ.8183(1)	X	
NOR/TOR//AZ/3/KVZ/INIA/4/HPO	AMJ.8109(1)		2X
AU/UP301//HPO'S'/4/CNO/SON//CNO/INIA/3/PVN	AMJ.9279(1)	2X	
C.T.800//KVZ/K 4500 LA4/3/CHAT'S'	AMJ.9220(1)		X
ODESSA 4/BBL'S'	SWM.13710(4)		X
KLEIN ATALAYA/BUCK PANGARE	AMJ.8010(1)		X
JUP/ALD'S'//SARA	CM.83993(6)		X

(*) Reciproca (1) Origen F1 MJ (2) F2 TOP MJ (4) F2 SWM-Y (6) CONO SUR-Y

Cuadro 3. Mejores entradas según índice de selección, LACOS 1981-87.

Cultivar/Línea	País	Índice de Selección	Cultivar/Línea	País	Índice de Selección
LACOS 1981(6)*			LACOS 1985(12)		
PF70354/Ald'S'	Brasil	100	Goshawk'S'	Argentina	67
PF79655	Brasil	100	Titmouse'S' =PROINTA Isla Verde	Argentina	67
Cruz Alta INTA	Argentina	80	Kvz/K4500 L.A.4	Brasil	58
Towhee'S'	Bolivia	80	Kvz/K4500 L.A.4	Paraguay	58
PF79675	Brasil	80	Cochicó INTA	Argentina	50
			Chova'S'		
LACOS 1982(14)			BR14	Argentina	50
Cruz Alta INTA	Argentina	57	Trap'S'	Brasil	50
BR14	Brasil	57	Bobwhite'S'	Brasil	50
PF79791	Brasil	57		Paraguay	50
CC/Inia/B20	Brasil	50	LACOS 1986(20)		
LAP 1090	Argentina	50	Fink'S'	Uruguay	40
Hoopoe'S'	Argentina	50	Bjy/Jup	Brasil	35
			IAC5'2/3/CNT7' /LD//IAC5/HAD	Brasil	35
LACOS 1983(16)					
Cno'S' /Gill//Bon	Argentina	56	My/3/Npo/Cdl//Bb/Cno	Argentina	35
KIFt/CNT7//Ald'S'	Brasil	50	Titmouse'S' =PROINTA Isla Verde	Argentina	35
Au/UP301//G11/Sx	Brasil	50	Oasis/Torim=PROINTA Oasis	Argentina	35
			LACOS 1987(17)		
LACOS 1984(19)			Titmouse's' =PROINTA Isla Verde	Argentina	47
Bobwhite'S'	Paraguay	56	Fink'S'	Paraguay	41
Mrs/Kal//Bb/3/Az	Paraguay	50	Thornbird'S'	Paraguay	41
Buck Buck'S'	Bolivia	50	Cno/RS//1160.147/3/Bb/G11/4/Kvz	Argentina	35
Bv9461/82	Argentina	50	Oasis/Trm=PROINTA Oasis	Argentina	35
			Dga/BJY = Tyrant	Argentina	35

∞ Índice de selección = Frecuencia de selección visual en relación al total de ambientes.

* Cifras en paréntesis indican número total de ambientes.

Cuadro 4. Líneas destacadas en Marcos Juárez en ensayos de sequía.

	1983	1984	1986	1987	1988
DROUGHT SN (CIMMYT)					
JUNCO	X		X	X	
K 4500.2/BJY				X	X
BUC/CHRC				X	X
MYNA/VUL'S'			X	X	X
BOW/BUC				X	X
BWON-MRA (ICARDA)					
TESIA/VEE				X	X
BOW		X			X
SUNBIRD'S'					X
K 4500.2/BJY					X
RBWYT-MRA (ICARDA)					
CC//CAL/SR/3/KAL/BB					X
CHILERO'S'					X
SHAM 4					X
PROINTA ISLA VERDE (Testigo local)					X
TESIA/VEE					X
W 3918A/JUP					X
KAL/CONDOR					X
ANZA/TOB//ALD					X

Marcos Juárez, datos climáticos, período 1967-1983.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Temp. máx. °C	30.5	29.0	27.5	24.2	20.7	16.2	16.8	18.3	21.2	23.7	26.7	30.2
Temp. mín. °C	17.4	16.4	14.8	11.4	8.6	5.0	4.7	4.8	7.0	10.5	13.3	16.5
Temp. med. °C	23.8	22.7	20.8	17.3	14.3	10.0	10.4	11.4	14.3	17.2	20.0	23.3
Precip. (mm)	130	98	125	72	38	30	29	19	51	94	102	110
Humedad relativa	46	48	52	53	55	57	56	52	50	49	46	44
Evap. tanque(*)	185	145	119	74	47	30	35	57	90	130	163	186
Heliofanía	65	65	61	59	52	49	50	57	62	61	66	64
Radiación	740	694	587	431	308	254	272	386	525	666	773	779
Vel. med. viento	8.9	8.2	8.1	8.0	8.9	9.0	9.7	9.9	10.4	10.1	9.7	9.3

Suelo: Molisol (tipo Brunizem)

Textura: Franco-limosa

Descripción del perfil: A=0-18 cm B1 = 18-25 cm B2 = 28-85 cm

Capacidad de almacenamiento de agua: Agua útil promedio 1 mm/cm profundidad

Cultivo

Rotación común: Siembra de trigo 80% soja, 15% maíz

Fechas de siembra (Dif. cultivos): Trigo: junio-julio, Soja: nov-dic, Maíz: sep-oct.

Fechas floración: Trigo: 1a semana octubre, Soja: febrero, Maíz: fin de diciembre

Fechas cosecha: Trigo: fin de noviembre, Soja: abril-mayo, Maíz: marzo.

Densidad de siembra: Trigo: 300pl/m², Soja: 35PL/m², Maíz: 55.000 pl/ha

Profundidad de siembra: Trigo: 5-8 cm, Soja: 5-7 cm, Maíz: 5-8 cm.

Espaciamiento entre surcos: Trigo: 15-17.5 cm, Soja: 70 cm., Maíz: 70 cm.

(*) Evapotranspiración potencial media. (1): Período 1948 - 1983

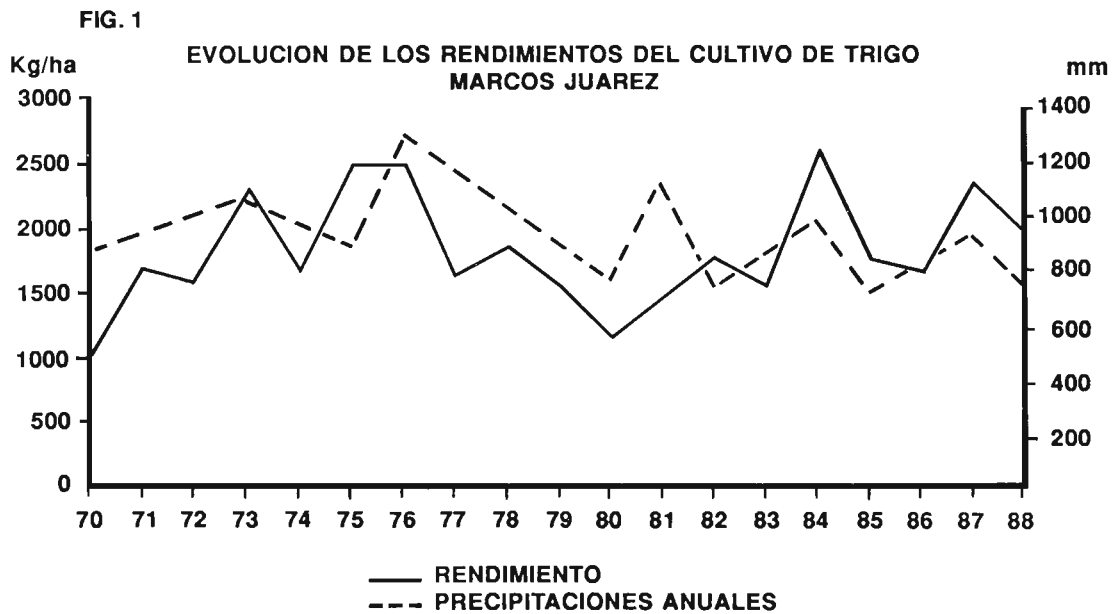


FIG. 3

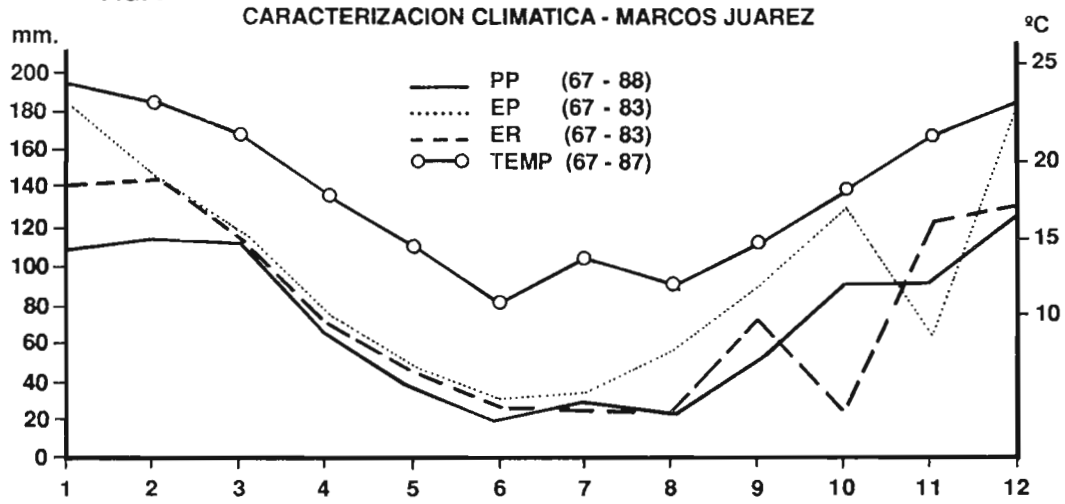


FIG. 4

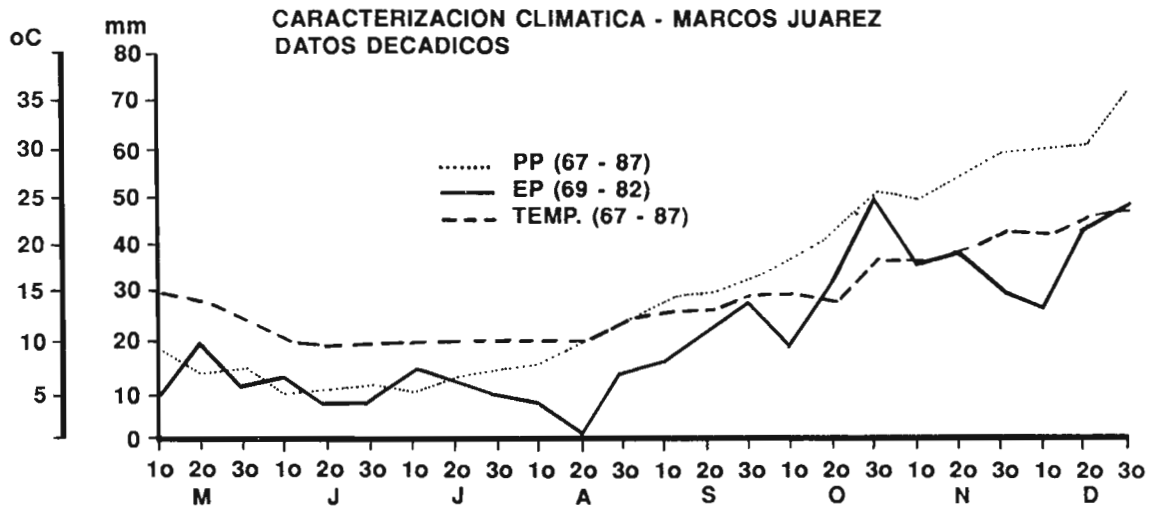
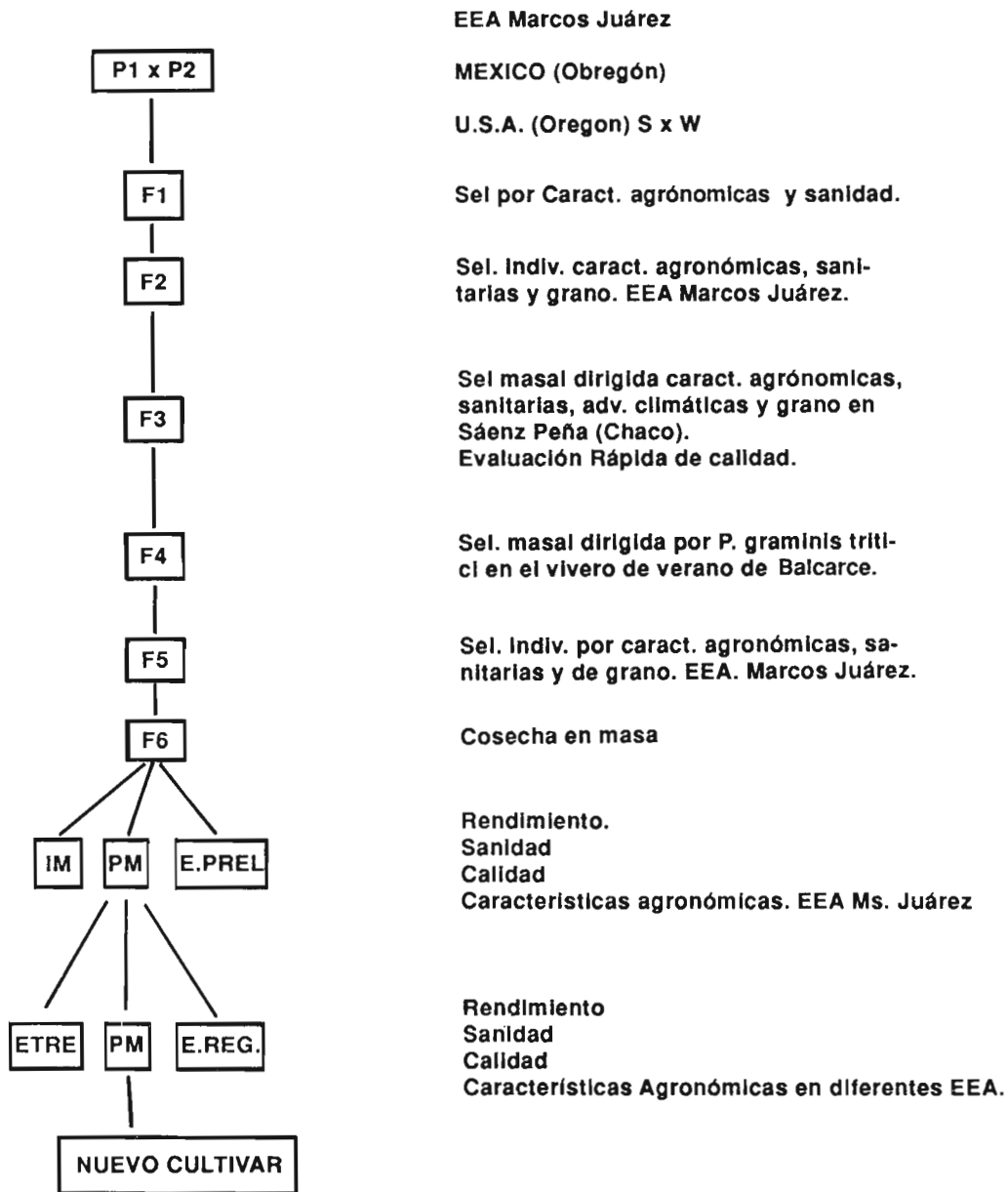


Figura 5
PROGRAMA DE MEJORAMIENTO GENETICO DE TRIGO DE INTA M. JUAREZ



IM: Individuales en Masa
PM: Parcelas de Multiplicación

FIG. 6

Análisis de estabilidad de rendimiento de Las Rosas INTA, PROINTA Isla Verde, PROINTA Oasis, Buck Pangaré en los 10 ambientes .

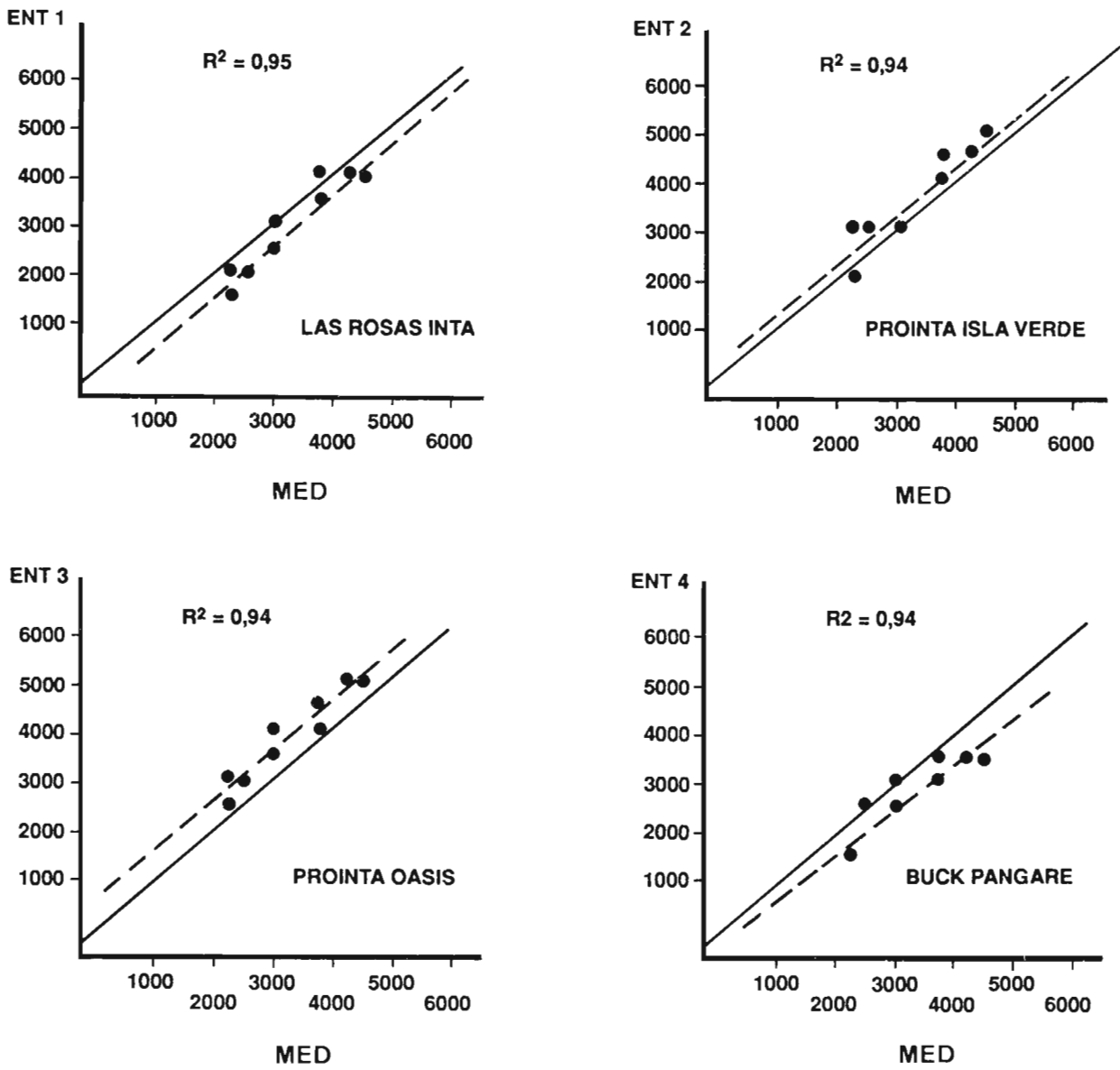


FIG. 7

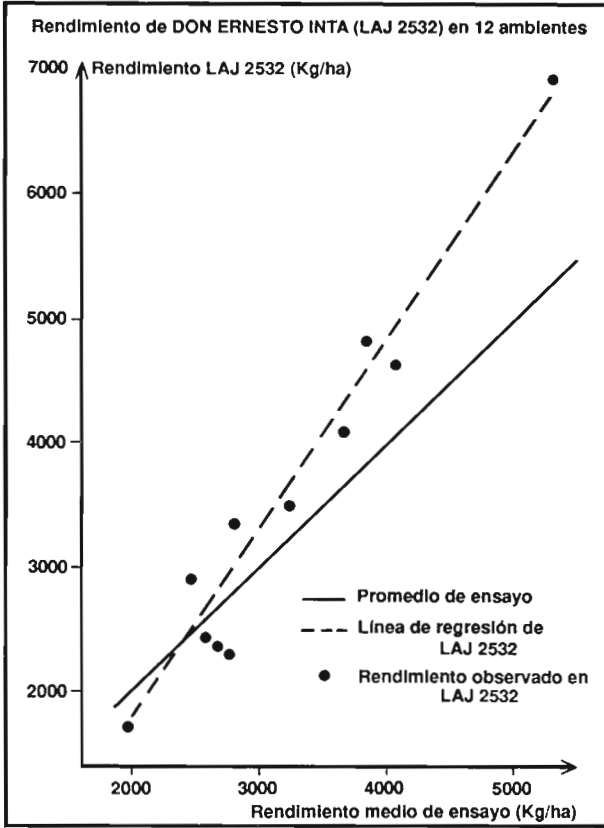


FIG. 8

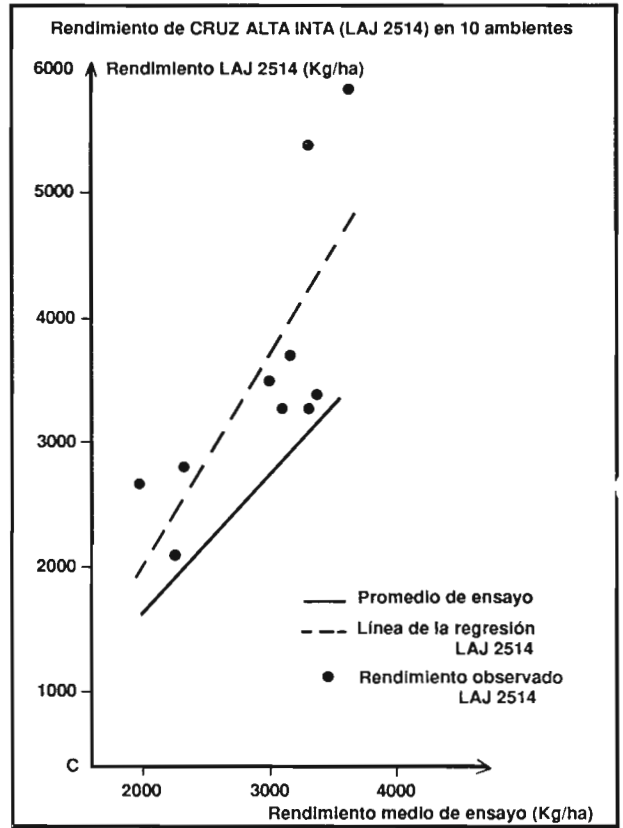


FIG. 9

Análisis conjunto de los ERCOS años 1986 y 1987 de 15 cultivares y líneas avanzadas de trigo en 14 ambientes.

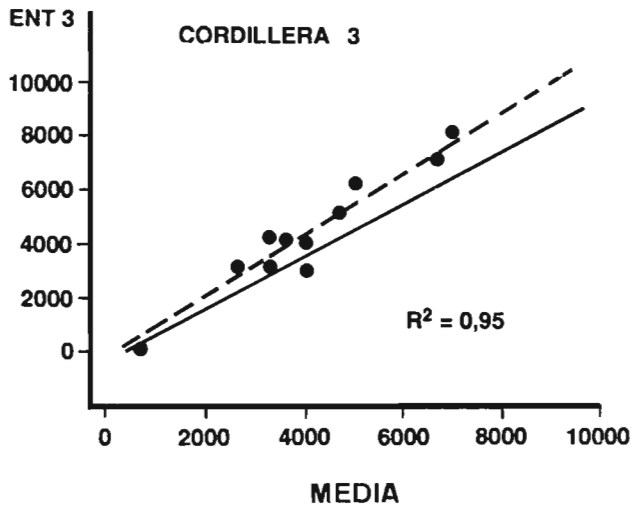
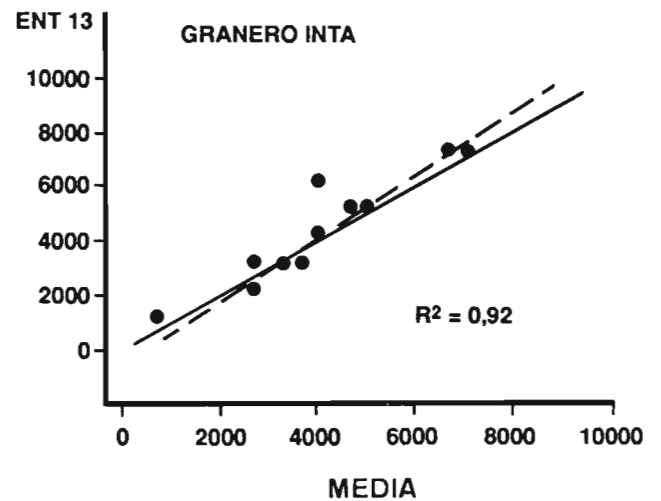
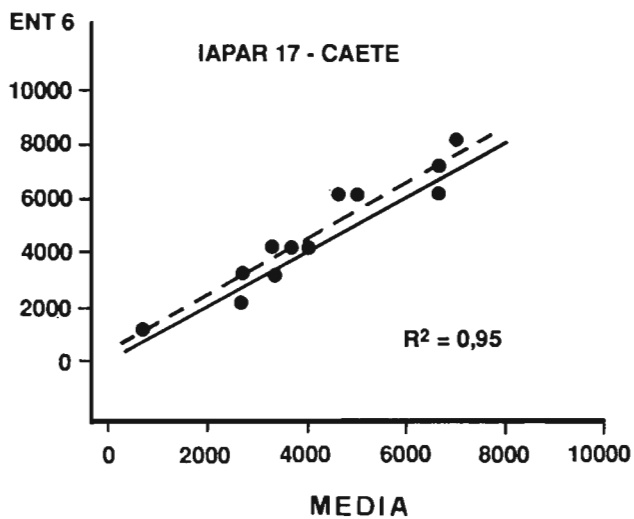
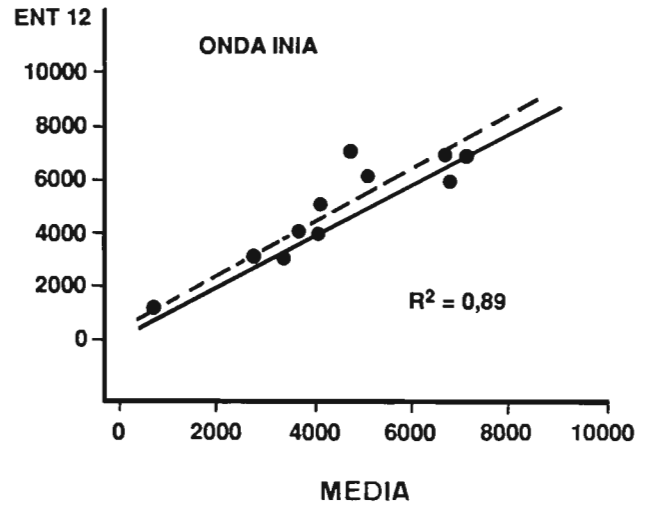
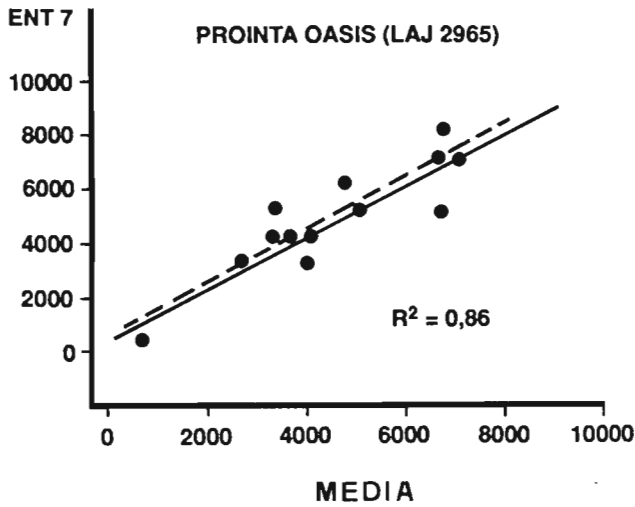
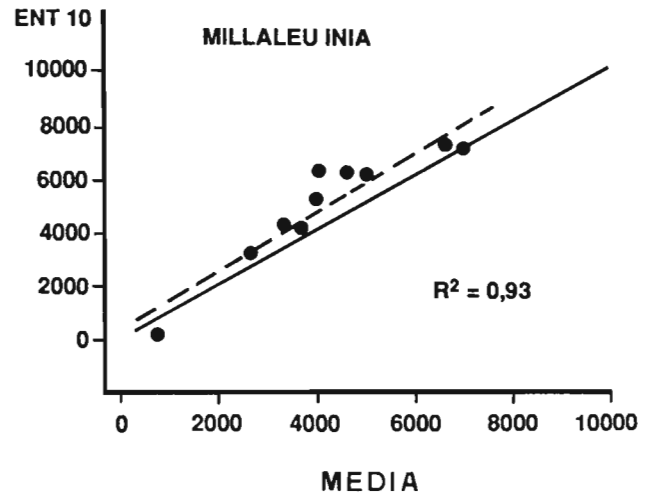


FIG. 10

Análisis de estabilidad de rendimiento de Millaleu Inia, Onda Inia y Grañero INTA



MEJORAMIENTO DE TRIGO PARA EL NOROESTE ARGENTINO

Agr. Isidro R. Cettour

Fitomejorador de trigo. EEA-INTA Sáenz Peña, Chaco
Casilla de Correo 164, 3700 Pte. Roque Sáenz Peña,
El Chaco, Argentina

Resumen

La siembra de trigo en el noreste argentino (Chaco, Formosa y norte de Santa Fe) se hace en las rotaciones agrícolas siguiendo al girasol, soja, algodón, sorgo y algunas veces después de pasturas permanentes.

La producción presenta fluctuaciones a través de los años debido principalmente a déficits hídricos en períodos de máximos requerimientos durante el ciclo de cultivo. Los resultados de la producción están en función del agua acumulada en el suelo en presembrado y de las precipitaciones que se registran en el ciclo del cultivo.

Los trabajos de Mejoramiento de Trigo que se conducen en la E.E.A. Sáenz Peña comprenden dos aspectos:

- *Vivero de selección de poblaciones de F3 del Programa Cooperativo de Trigo para resistencia de Puccinia graminis, P. recondita y Helminthosporium sp. y tolerancia a déficit hídrico y elevadas temperaturas en madurez.*
- *Obtención de cultivares adaptadas a la región del Chaco y Formosa.*

Para lograr estos objetivos se efectúan selecciones desde generaciones tempranas (F2) en Sáenz Peña y se avanzan generaciones en el vivero de verano Balcarce, efectuándose las evaluaciones del material estabilizado en Sáenz Peña.

Como logros del Programa de Mejoramiento de Sáenz Peña, debemos mencionar el cultivar "Chaqueño INTA", de ciclo largo, que logró amplia difusión en la región del NEA. En 1989 se ha recomendado el cultivar PROINTA Oasis, que fue seleccionado y evaluado en Sáenz Peña y Marcos Juárez. Esta variedad tiene alto potencial de rendimiento de grano y resistencia a P. graminis, P. recondita y Septoria tritici.

Introducción

La siembra de trigo en la región del Noreste Argentino (NEA) abarca las provincias de Chaco, Formosa y norte de Santa Fe (Figura 1), mientras que en Corrientes y Misiones el cultivo tiene superficies reducidas, sin mayor importancia económica.

En las provincias de Chaco y Formosa el cultivo de trigo comenzó a expandirse a partir de 1962 con aproximadamente 2.000 ha hasta llegar a un máximo de 82.000 ha en 1968; esto fue coincidente con la mayor crisis económica del principal cultivo de la región, el algodón. Como consecuencia de este problema, se hizo necesario la diversificación de la producción, y entre otros cultivos se incorporó el trigo.

- Condiciones climáticas adversas en períodos de siembra (sequía o exceso de precipitaciones).
- Escasez de cultivares de ciclo adecuado para cubrir el período de siembra.
- Prácticas de manejo del suelo y cultivos inadecuados para la región del NEA.

Caracterización agroclimática de Chaco y Formosa

Actualmente el trigo en el NEA se cultiva siguiendo al girasol, soja, algodón, sorgo, trigo y en otras alternativas como comienzo de rotaciones, siguiendo a pasturas permanentes.

Los suelos en la zona triguera de Chaco-Formosa, presentan una gran heterogeneidad, comprendiendo suelos entre los que predominan: Natruscol y Argiustol con textura generalmente arcillosa. La aptitud de estos suelos para el trigo, permitiría extender este cultivo a una superficie de aproximadamente 200.000 ha.

En cuanto a la distribución de las precipitaciones varían entre 1,200 mm año en el este, hasta 600 mm en el extremo oeste, limitando con la provincia de Salta.

Las temperaturas oscilan entre una media de enero de 27°C y una media de julio de 15,5°C, temperatura máxima absoluta en enero de 43°C y una mínima absoluta en julio de -5°C.

Las heladas en la región es una factor limitante cuando se presentan tardíamente hasta mediados de septiembre y el cultivo se encuentra en estado de antesis.

En la primavera pueden registrarse temperaturas elevadas que cuando son acompañadas por vientos del norte afectan el llenado del grano.

Observando la figura 2 de balance hídrico de Sáenz Peña, existe un período de acumulación de agua entre los meses de marzo y abril. A partir de mayo comienza un déficit hídrico que se prolonga durante el ciclo del cultivo de trigo desde mayo hasta noviembre. En consecuencia, los resultados de la producción están en función del agua acumulada en el suelo en pre-siembra y de las precipitaciones que se registren durante el ciclo de cultivo.

Estrategia del mejoramiento

Los trabajos de mejoramiento de trigo que se conducen en la EEA Sáenz Peña, comprenden dos aspectos:

- Vivero de selección de poblaciones de F3 del Programa Cooperativo de Trigo para resistencia a enfermedades y tolerancia a déficit hídrico y elevadas temperaturas en madurez.
- Obtención de cultivares adaptados a la región del Chaco y Formosa.

En cuanto a la obtención de cultivares para la región del NEA, está orientado hacia la obtención de cultivares con elevado rendimiento y estabilidad. Para alcanzar este último objetivo se da énfasis a la resistencia a las enfermedades de mayor incidencia tales como *Puccinia graminis*, *P. recondita*, Helmintosporiosis. Asimismo, se tiene en cuenta la tolerancia sequía y las elevadas temperaturas en madurez.

Para lograr estos objetivos se desarrollan las siguientes acciones:

- Selección individual de poblaciones F2 provenientes de la EEA Marcos Juárez y CIMMYT.

EEA Sáenz Peña: selección individual en poblaciones provenientes de la EEA Marcos Juárez y CIMMYT en F2 y F3. En F4 se seleccionará masalmente en el Vivero de Verano de Balcarce para resistencia a *P. graminis* y avanzar una generación.

- F5: selección individual en Sáenz Peña y se cosecha en masa en F6 en adelante. Luego los materiales estabilizados se evalúan en Ensayos Comparativos de rendimiento, en los primeros años en Sáenz Peña, posteriormente, las líneas avanzadas mas destacadas participan en la red de ensayos cooperativos del programa trigo y a su vez, se realizan pruebas a nivel del NEA.

Resultados

Como logros del programa de mejoramiento de Saenz Peña, debemos mencionar el cultivar "Chaqueño INTA", liberado en 1979 de ciclo largo que presentó amplia difusión en la región del NEA. Posteriormente la susceptibilidad a *P. graminis*, limitó su difusión.

En 1989 se presentó el cultivar PROINTA Oasis, que fue seleccionado y evaluado en Saenz Peña y Marcos Juárez, con alto potencial de rendimiento de grano y excelente comportamiento a *P. graminis*, *P. recondita* y *Septoria tritici*.

En cuanto a materiales seleccionados en Sáenz Peña de buen comportamiento a déficit hídrico están indicados en el cuadro 2.

Breeding Wheat for Northeastern Argentina

Abstract

The planting of wheat in northeastern Argentina follows sunflower, soybean, cotton, sorghum, and, in some cases, permanent pastures.

Over the years, the production fluctuations have primarily been related to drought stress during the critical periods of crop growth. Production is limited by the amount of water present in the soil before seeding and the precipitation during the crop cycle.

The wheat breeding at Saenz Peña Experiment Station involves two activities:

- *Selection of the cooperative program's F3 populations for resistance to stem and leaf rust and spot blotch and tolerance to drought and high temperature.*
- *Identification of varieties adapted to the Chaco and Formosa regions.*

To reach these objectives, early generation (F2) selections are done in Saenz Peña and advanced to other nurseries at Balcarce. Fixed material is evaluated at Saenz Peña.

The achievements of the program have been the release of the variety "Chaqueño INTA", which has a long cycle and is well adapted to the NEA region. In 1989 another variety, "PROINTA Oasis", was selected and evaluated at Saenz Peña and Marcos Juarez. This variety is resistant to the rusts and septoria leaf blotch and has very high yield potential.

Cuadro 1. El cultivo de trigo en la Provincia del Chaco-Superficie sembrada y cosechada, producción y rendimiento de granos por año y promedio.

Años	Superficie sembrada ha	Superficie cosechada ha	Producción Tn	Rendimiento kg/ha
1975/76	72.600	61.500	92,4	.503
1976/77	8.100	4.900	4,1	831
1977/78	41.200	25.300	22,8	900
1978/79	27.700	9.600	6,4	662
1979/80	14.200	11.000	13,2	1.201
1980/81	44.500	7.900	8,0	1.021
1981/82	11.630	11.130	17,3	1.562
1982/83	33.450	32.050	29,7	929
1983/84	16.600	15.650	20,2	1.295
1984/85	11.360	10.650	11,6	1.090
1985/86	12.400	11.900	11,2	941
1986/87	11.900	11.900	10,9	981
1987/88	12.550	12.050	12,9	1.070
1988/89	10.950	10.080	11,5	1.140

Fuente de Información: Chaco en cifras y otros.

Cuadro 2. Materiales de trigo pan con buen comportamiento a sequía.

Seleccionado en Sáenz Peña (Chaco) (F5 origen F2 Bulk Dryland CIMMYT)

VEE 5'S'/JUN'S'

BAU'S'/SERI

MON'S'/IMU//URES

CRUZ ALTA INTA/BOW'S'

HOOPOE/BUCK OMBU

LAS ROSAS INTA/ VEE 7

Seleccionado en Marcos Juárez, Sáenz Peña (Argentina) y Obregón (México)

VICTORIA INTA/KLEIN ATALAYA

AMJ.9950-3J-ON-OYA-2N-ON

HOOPOE/LAS ROSAS INTA

AMJ.9996-16J-ON-OYA-2N-ON

VEE'S'//JUP'S'/ALD'S'

AMJ.10349-3J-ON-OYA-2N-ON

TSH'S'/BUC'S'

CM.93345-50OYA-1J-ON-OYA-ON

PIMA/SAKA//VEE'S'

AMJ.10125-6J-ON-OYA-2N-ON

NOR/TOR//AZ67/3/KVZ/INIA66
/4/KLEIN CHAMACO

AMJ.10077-1J-ON-OYA-2N-ON

PRL'S'/VEE'S'//MYNA'S'/VUL'S'

CM.90722-500YA-44J-ON-OYA-ON

Datos climáticos: Saenz Peña (CHACO).

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
(30/88) Temp. máx. oC	34.1	32.7	31.1	26.5	24.6	21.9	22.6	24.6	26.8	29.3	30.8	33.2
(30/88) Temp. mín. oC	20.2	19.7	18.4	14.7	12.4	9.9	9.0	9.8	11.8	14.8	16.4	19.1
(30/88) Temp. med. oC	27.3	26.3	25.4	20.7	18.0	15.6	15.5	16.6	19.2	22.2	24.3	26.4
(24/88) Precipit., (mm)	140.6	122.0	135.4	113.7	50.4	26.9	22.0	22.0	40.0	87.3	117.5	119.2
(65/88) Humed. rel., %	69	71	75	77	77	78	73	69	66	66	68	67
(68/88) Evap. tanque	158.6	130.9	115.0	78.8	61.7	48.5	65.0	84.1	112.2	144.3	146.5	164.4
(68/88) Heliofania	9.1	8.8	7.3	6.4	6.2	5.1	5.9	6.4	7.0	8.1	8.8	9.5
(77/88) Radiación	460	432	362	255	217	176	196	247	324	400	423	475
(68/88) Vel.med.viento	5.4	5.2	4.8	4.5	4.5	5.3	6.1	6.4	7.3	7.3	6.8	6.0
(61/88) Nubosidad	4.3	4.4	4.4	4.3	4.3	4.6	4.2	3.8	3.8	3.9	4.0	4.2

Cultivo: Trigo en rotación con algodón, soja, girasol o pasturas

Fechas de siembra (Dif. cultivos): Trigo (15 Mayo), Girasol (15 Agosto), Algodón (Fin Sep/ Comienzo Oct)

Fechas de floración: Trigo (1 sem.Sep), Girasol (15 al 30 Oct), Algodón (5 Enero)

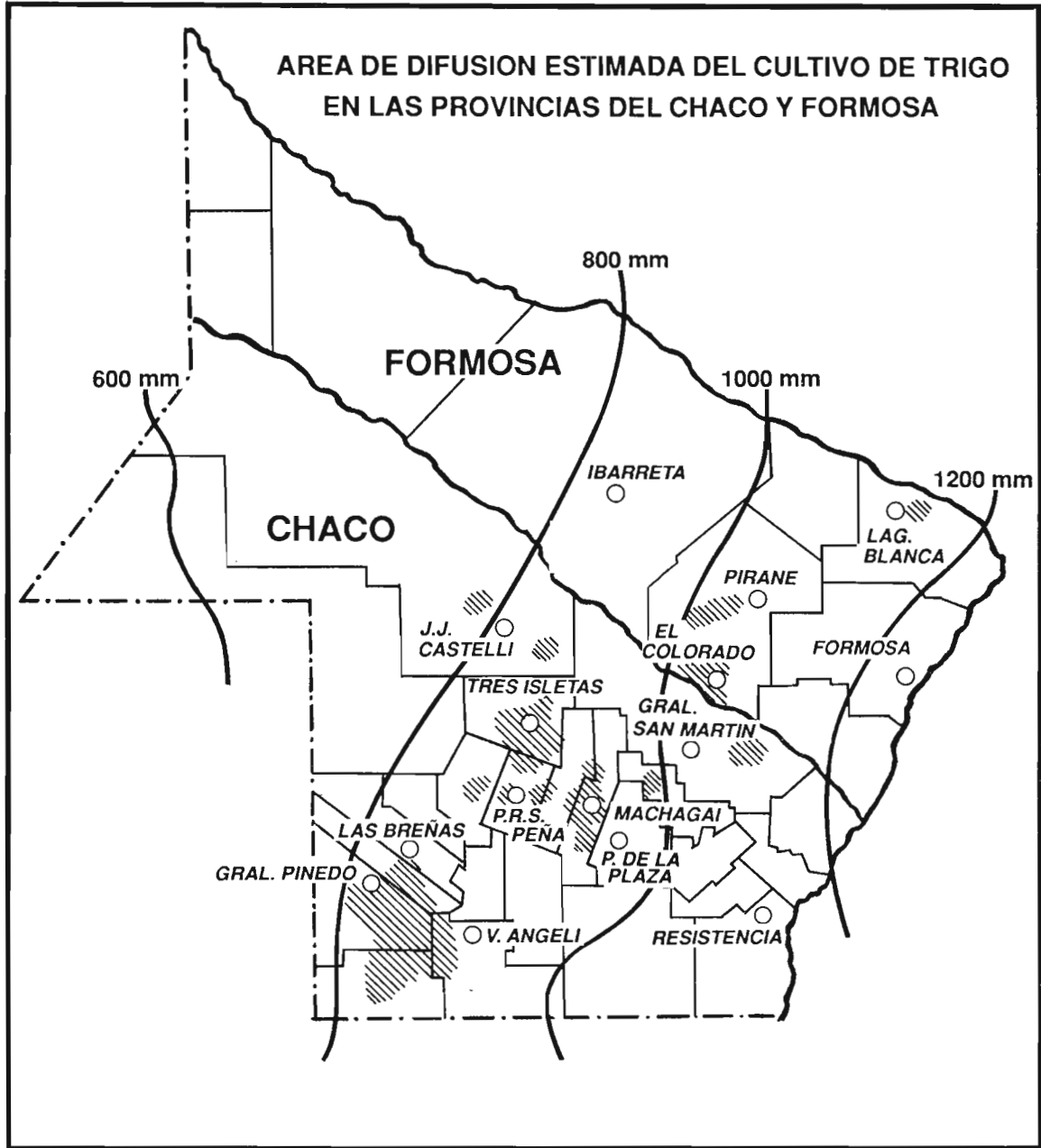
Fechas cosecha: Trigo (15 Oct), Girasol(Enero), Algodón (Marzo-Abril)

Densidad de siembra: Trigo (300 pl/m²), Girasol (55,000 pl/ha), Algodón (60,000 pl/ha)

Profundidad de siembra: Trigo (5-8 cm), Girasol (5-8 cm), Algodón (5-8 cm)

Espaciamiento entre surcos: Trigo (15-17 cm), Girasol (80 cm), Algodón (1 mt)

FIG. 1



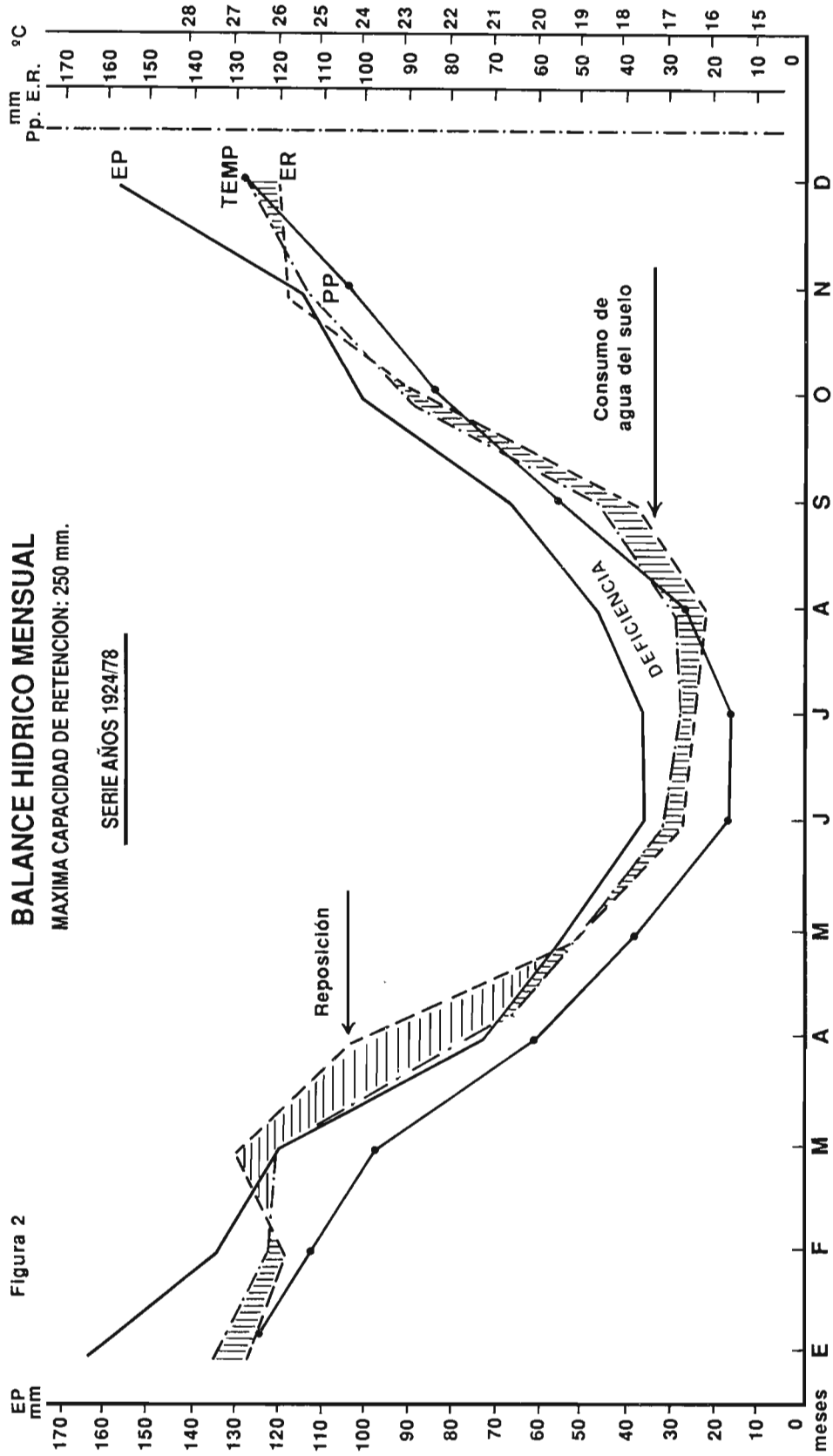


Figura 2

INCIDENCIA DE LAS SEQUIAS ESTACIONALES EN EL CULTIVO DE TRIGO DE LA REGION SEMIARIDA PAMPEANA. ZONA DE INFLUENCIA DE LA EEA BORDENAVE EN PARTICULAR

Ing. Agr. Juan Ramón López

EEA-INTA Bordenave, Casilla de Correo #44
8187 Bordenave, Buenos Aires, Argentina

Resumen

La región semiárida pampeana se halla ubicada al sur de la provincia de Córdoba, este de San Luis, noroeste de La Pampa y sudoeste de la provincia de Buenos Aires con una superficie aproximadamente 24.000.000 ha.

El trigo es el principal cultivo, representando en superficie y producción la zona mas importante del país (38% y 35%, respectivamente).

Las precipitaciones oscilan entre 700 mm al oeste y 300 mm al sudoeste, sufriendo anualmente grandes variaciones que se manifiestan en sequías o períodos húmedos. Es frecuente observar fracasos de cosecha, seguidos de excelentes rendimientos.

La zona de influencia de la EEA Bordenave, es una región en que predomina el sistema mixto ganadero-agrícola en rotación, siendo el trigo la principal actividad agrícola con una superficie cercana al 1.000.000 de hectáreas.

Se trata de un área de marcado déficit hídrico que alcanza a los 153 mm/año. Los meses invernales muestran un "equilibrio inestable", sin sequía manifiesta, pero dificultando a veces la posibilidad de siembra.

Agosto resulta ser un mes crítico para los cultivos invernales, pues reaparece el déficit hídrico; los meses de septiembre y octubre producen una nueva recarga del suelo. Las posibilidades de cosecha dependen mucho del comportamiento hídrico de dichos meses y del mes de noviembre que es deficitario.

La siembra del trigo cumple generalmente en condiciones adecuadas de humedad edáfica, pero en la encañón-fecundación puede ser afectado por "stress" hídrico. La magnitud y alcance de esta sequía estacional, decide en forma sustantiva el volumen de la cosecha.

La gran variabilidad de régimen climático de un año a otro, hace necesario pensar en un ideotipo de planta que sea suficientemente estable, capaz de aprovechar en buena medida la condición más favorable y no se deprima en su performance ante situaciones de stress.

El método utilizado en forma preponderante ha sido efectuar la selección por resistencia a sequía indirectamente por rendimiento, desarrollo de grano y peso hectolítrico, observando el comportamiento y estabilidad del material en una serie de años de condiciones ambientales diferentes. También se han utilizado las pruebas multilocacionales y la correlación de observaciones empíricas como indicadoras del grado de resistencia a sequía, tales como: senescencia de las hojas, viabilidad y supervivencia de macollos, pubescencia y cerosidad, crecimiento y lozanía de la planta

en condiciones de stress, enrollamiento foliar en condición de stress hídrico, desarrollo y llenado de grano, buen desarrollo radicular al seleccionar plantas por arranque.

Esta metodología básicamente empírica ha permitido individualizar un conjunto de líneas y cultivares de buen comportamiento a sequía.

Introducción

La región semiárida pampeana se halla ubicada al sur de la provincia de Córdoba, este de San Luis, noroeste de La Pampa y sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Figura 1). La superficie total es de aproximadamente 24.000.000 has. de las cuales los cereales (5.233.800) y la ganadería (12.966.200) ocupan la mayor superficie con 18.200.000 hectáreas.

El trigo es el principal cultivo, representando en superficie y producción la zona mas importante del país con algo más del 38% y 35%, respectivamente. En cambio, los rendimientos se pueden considerar bajos, 1280 kg/ha., con respecto al promedio general del país.

Los suelos de la región se caracterizan por su gran heterogeneidad constitutiva debido a la gran influencia que ejerció sobre ellos el clima y la vegetación. La mayor parte de los suelos se consideran jóvenes y que han evolucionado sobre materiales depositados por procesos de erosión eólica e hídrica. Los suelos predominantes son de textura mediana a gruesa de buena permeabilidad y de variable profundidad, limitado por un horizonte petrocálcico (tosca). En términos generales el clima que domina esta región es el semiárido templado. Dada su extensión los factores climáticos difieren notablemente de norte a sur, modificando debido a su influencia la aptitud y modalidad de producción.

Las precipitaciones oscilan hacia el este de la región semiárida en 700 mm y disminuyen progresivamente a 300 mm en el límite oeste.

Las precipitaciones sufren anualmente grandes oscilaciones que se manifiestan en sequías o períodos húmedos, con resultados para los cultivos, muy diferentes. Es frecuente observar fracasos de cosecha, seguidos de excelentes rendimientos. Debido a las características de los suelos son de escaso contenido de materia orgánica y elementos nutritivos. La deficiencia de nitrógeno se ha generalizado en la región y se manifiesta en bajos rendimientos y calidad de los granos. El 50% de los suelos presentan deficiencia de fósforo y tan solo el 25% muestran valores de buena disponibilidad.

La producción de granos expresada en kg/ha son bajos y erráticos, utilizándose para ello los sistemas convencionales de producción supeditados en gran medida a la variación climática regional. Los efectos sobre el suelo son muy conocidos a nivel zonal, como la degradación física y la pérdida de fertilidad.

Zona de influencia de la EEA Bordenave

El área de influencia de la EEA Bordenave está ubicada totalmente dentro de este Región Semiárida Pampeana, comprendiendo partidos del SO de la Provincia de Buenos Aires y Este de La Pampa. Está representada esta región por una dilatada planicie suavemente ondulada e interrumpida solamente por las sierras del sistema de la Ventana.

El trigo tiene gran importancia en esta zona de influencia de la E.E.A. Bordenave, siendo la principal actividad agrícola con una superficie cercana a 1.000.000 de hectáreas. Constituye aproximadamente un 50% de la ocupada con trigo en la subregión triguera V Sur, la mas importante del país en superficie sembrada y producción.

Los principales factores que revisten capital importancia son el suelo y el agua, que inciden directamente sobre la economía de la explotación regional.

Siendo el suelo la base económica de la agricultura y ganadería, no se le brinda el cuidado necesario para su conservación y productividad.

Estimada la productividad del suelo a través de los rendimientos logrados por los cereales de invierno, y receptividad ganadera de los campos de pastoreo, se observa una constante fluctuación que se agrava en años críticos, de baja humedad.

En la región citada, las precipitaciones no se producen de manera uniforme a través del tiempo, ni en las estaciones anuales. Esta desuniformidad trae aparejado frecuentes períodos de escasez de agua. Últimamente las lluvias son más abundantes, observándose visibles signos de erosión hídrica, por exceso de escurrimiento.

El déficit de agua, en períodos de sequía afecta no sólo a los cultivos de cereales, sino también a las praderas naturales, fuentes de alimentación de la ganadería. Por tal motivo ambas explotaciones, sufren profundos períodos de crisis.

La ganadería constituye, en la actualidad, la actividad que ocupa mayor superficie (60%) seguida por la agricultura. La alimentación básica de la ganadería le proporcionan los rastrojos de cereales, praderas naturales y en menor proporción los cereales forrajeros. En situaciones críticas de escasez de forraje, se pastorea el trigo, en el período de macollaje.

La falta de un plan de reservas forrajeras y de pastoreo estivales, provocan el sobrepastoreo de los campos naturales y rastrojos imposibilitando su incorporación como materia orgánica y elementos nutritivos del suelo.

Dada la necesidad de utilizar los rastrojos para pastoreo, no se practica el barbecho estival. El agricultor no aprovecha la acción protectora de la cubierta de rastrojo, para captar y almacenar el agua en el suelo.

En la mayor parte de la región, los fenómenos de erosión son comunes tanto por agua, como por acción del viento, siendo este último factor, por exceso de precipitaciones, el de menor incidencia en la actualidad. En general el manejo que se le brinda al suelo son comunes a las practicadas en regiones húmedas y llanas, sin problemas visibles de erosión. De este modo se observan frecuentes problemas de erosión y disminución de la capacidad productiva de los suelos.

En la actualidad, todavía son pocos los agricultores que semi-entierran los rastrojos, en la primera labor, para realizar una buena preparación del suelo. En general el productor conoce las bondades de la preparación temprana del suelo (barbecho), pero la falta de una buena planificación del campo imposibilitan su aplicación correctamente. Este hecho es agravado por parte del productor por el desconocimiento de los sistemas modernos de labranza e implementos adecuados para la roturación del suelo y siembra.

El continuo uso del arado de reja o arado rastra, motivan serios problemas de erosión y desgaste prematuro del suelo, siendo frecuentemente observada la formación de pisos de arado a la profundidad de trabajo de estos implementos.

El afloramiento de tosca, principalmente en lomas o sobre pendientes, es causa frecuente de los efectos de la labranza y erosión. Por lo tanto, la preparación del suelo se realiza previamente a la siembra, sin una buena acumulación de agua y fertilidad.

Mediante repetidas labores de suelo previo a la siembra, se destruyen los terrones de mayor tamaño y malezas. Se completa el desterronado y emparejamiento de la superficie del suelo, mediante el uso repetido de las rastras de discos y dientes.

La siembra se realiza con sembradoras comunes, o convencionales a las que se agrega como norma, cadenas o pequeños cuerpos de rastra de dientes. El rolado es práctica común en primaveras secas, posterior a la germinación del trigo.

Bajo tales condiciones, el peligro de la erosión por planchado, voladuras, o corrimiento de las lluvias, subsiste hasta entrada la primavera, o sea hasta cuando el cereal comienza a macollar y a cubrir la superficie del suelo.

La producción de trigo bajo el manejo común, no brinda un excelente recurso económico, debido a los bajos rendimientos y fracasos de cosecha.

Esta forma de trabajar los suelos y repetir los cultivos, es llamada también, agricultura tradicional o agricultura de cenizas. La misma trae como consecuencia efectos negativos bastante conocidos por todos, como la compactación del suelo, disminución de materia orgánica, cambios en la constitución química del suelo y por último escasa y variable producción.

Caracterización climática

La Estación Experimental Agropecuaria Bordenave se encuentra situada a los 63°01'20"O y a los 37°51'55"S, y 212 m S.N. en el partido de Puán, provincia de Buenos Aires.

En líneas generales, el clima que domina a esta región es el semiárido templado, con un régimen térmico que tiende a responder al clima continental, pero muy atenuado por la influencia del océano.

En esta región, por hallarse comprendida dentro del régimen de transición que abarca gran parte del país, la concentración de lluvias se produce durante dos estaciones bien definidas: otoño y primavera, una estación-seca a fines de invierno (agosto a mediados de setiembre) y otra semiseca de mediados de verano (enero a febrero).

En la estación seca del invierno, la escasez de las lluvias se acentúa por el aumento de la velocidad y frecuencia del viento, época en que suele alcanzar valores máximos y en donde la erosión eólica adquiere mayor intensidad, en determinados sectores de la región.

En la mayor parte de la región, la distribución de las precipitaciones oscila con respecto al promedio de las mismas. Estas desviaciones pueden llegar a valores extremos de 319 a 1020 mm., registros estos que caracterizan a regiones áridas o muy húmedas. La suma de estas desviaciones nos muestran por ejemplo que para la Estación Experimental Agropecuaria Bordenave, durante 60 años, 26 han estado por encima del promedio de 635 mm y 34 años por debajo de este promedio.

Esta irregular distribución de las lluvias determina una tendencia a persistir durante más de un año por encima o por debajo del promedio anual de 635 mm. Esta tendencia da lugar al llamado movimiento cíclico o también marcha secular, que en definitiva significa la ocurrencia de varios años húmedos, secos y medianamente secos (Figura 2).

En la región en estudio la mayor precipitación se halla en el límite Este que corresponde a la isoyeta de 700 mm. Desde este límite hacia el Oeste o Suroeste la intensidad de las lluvias disminuye paulatinamente a razón de 1 mm. por kilómetro de distancia.

En cuanto al régimen térmico tiende a responder al clima continental pero atenuado por la influencia del océano.

La temperatura media anual es de 15°C. La media en el mes de enero varía entre 19° y 25° y en el mes de julio de 7° a 9°C.

Las temperaturas máximas extremas superan los 40°C en el verano y las mínimas extremas llegan a valores por debajo de -15°C. Por altitud las temperaturas más bajas se registran en los partidos de Tornquist, Saavedra, Sudoeste de Coronel Suárez y Puán. La humedad relativa media varía del 70% en el este al 60% hacia el sudoeste.

En lo que se refiere al período de heladas, en general se observa en toda la región una frecuencia media de 245 días, aumentando a 275 días (Pigue-Bordenave) a medida que se superan los 200 m sobre el nivel del mar y disminuyendo cuando se reduce la altitud.

El balance hídrico de la región semiárida pampeana es negativo, siendo la evapotranspiración potencial mayor que la cantidad anual de lluvia. El déficit resultante de agua durante el año, surge de comparar las sumas anuales de evapotranspiración potencial y las sumas anuales de precipitación. Esto muestra que en la región semiárida faltan anualmente entre 100 y 400 mm de agua.

Para Bordenave, utilizando la técnica de Thornthwaits y en base a los datos de precipitaciones del período 1928/1988 y de temperaturas para 1952/1988, se efectuó el cálculo respectivo para cada mes, confeccionándose el balance hídrico medio (Cuadro 1).

Sintéticamente se concluye que se trata de un área con marcado déficit hídrico, que alcanza a 153 mm./año; los meses de verano, particularmente enero, febrero, diciembre y noviembre (en ese orden), son deficitarios. Ello explica el hecho comúnmente observado del frecuente fracaso de los cultivos de verano en la zona.

Con respecto a los cultivos de invierno, y el trigo en particular, las precipitaciones de marzo permiten una leve recarga del suelo, cortando al menos la sucesión de meses deficitarios que arrancan en octubre-noviembre; a excepción de agosto que es deficitario, el resto de los meses invernales muestra un "equilibrio inestable", pero sin sequía manifiesta, pero dificultando a veces la posibilidad de siembra. Agosto resulta ser un mes crítico para los cultivos invernales, pues reaparece el déficit hídrico: los meses de septiembre y octubre producen una nueva recarga del suelo. Las posibilidades de cosecha dependen mucho del comportamiento hídrico de dichos meses y del mes de noviembre que es deficitario. De lo dicho se desprende que la siembra del cultivo de trigo se cumple generalmente en condiciones adecuadas de humedad edáfica, pero en la encañazón-fecundación puede ser afectado por "stress" hídrico (Figura 3). La magnitud y alcance de esta sequía estacional, decide en forma sustantiva el volumen de la cosecha.

La irregularidad climática queda evidenciada por la ausencia de ciclos de precipitaciones bien definidos.

Resumiendo, el cultivo de trigo en el área de influencia de la EEA Bordenave debe adaptarse a una serie de factores climáticos adversos de mucha mayor incidencia en la producción que los aspectos fitosanitarios. Estos factores adversos se pueden graduar en orden de importancia por sus efectos sobre el rendimiento y frecuencia de aparición, en la siguiente escala: a) sequía, b) heladas (en nudo, floración, follaje) y c) Arrebato (achuzamiento del grano).

En el Cuadro 2, se relacionan una secuencia de 15 años del cultivo de trigo en la zona de Bordenave (rendimiento medio de los productores) asociado con las precipitaciones en el ciclo junio-noviembre (fase activa del cultivo de trigo) que coincide con el período germinación - premadurez y el total de precipitación anual. En el mismo se puede observar en forma global, la relación directa de precipitaciones-rendimiento, sin particularizar la oportunidad y densidad en fases decisivas del cultivo.

Acciones de mejoramiento para tolerancia a sequía en la EEA Bordenave

En el análisis previo de caracterización del área y del régimen climático, quedó marcada la gran variabilidad que puede presentarse de un año a otro, con una alternancia de un régimen subhúmedo al árido como extremos. Esta situación, hace necesario pensar en un ideotipo de planta que sea lo suficientemente estable, capaz de aprovechar en buena medida la condición mas favorable y no se deprima en su performance ante situaciones de stress.

Si bien las sequías estacionales son uno de los factores de mayor incidencia asociadas íntimamente con el manejo del cultivo, sobre la estabilidad y seguridad en la producción de trigo del área, la labor de mejoramiento para considerar este factor hasta el presente, se ha basado casi exclusivamente en lineamientos empíricos.

El método utilizado en forma preponderante ha sido efectuar la selección por resistencia a sequía indirectamente por rendimiento, desarrollo de grano y peso hectolítrico, observando el comportamiento y estabilidad del material en una serie de años de condiciones ambientales diferentes.

Otro criterio que se utiliza es la prueba en diversas localidades de la subregión de líneas estabilizadas, con un rango mas amplio de suelo y clima. En el material segregante, estabilizado y colección de germoplasma, en los años que se presenta incidencia de stress hídrico, se efectúan observaciones empíricas que se correlacionan con resistencia a sequía, estableciendo una escala de buen comportamiento utilizándolo como criterio de selección. Los indicadores considerados son los siguientes:

- Senescencia de las hojas,
- viabilidad y supervivencia de macollos,
- pubescencia y cerosidad,
- crecimiento y lozanía de la planta en condiciones de stress,
- enrollamiento foliar en condición de stress hídrico
- desarrollo y llenado del grano
- buen desarrollo radicular al seleccionar plantas por arranque.

Esta metodología básicamente empírica ha permitido individualizar un conjunto de líneas y cultivares que hemos catalogado como de buen comportamiento a sequía que se detallan en el Cuadro 3.

A partir de 1986 se establece contacto con un grupo de fisiólogos y fitomejoradores de la Universidad Nacional de La Pampa interesados en desarrollar y ajustar métodos de evaluación y selección para resistencia al stress hídrico. En cooperación con esta inquietud, la EEA Bordenave proporciona el material que empíricamente se ha identificado con diverso grado de tolerancia a la sequía, realizando el grupo de la U. de La Pampa el estudio y ajuste de metodologías. Anualmente se comentan los resultados obtenidos y se selecciona el material a evaluar en el próximo ciclo. Los test evaluados confirman o no las presunciones empíricas, pero permiten ir desarrollando metodologías prácticas e idóneas, que permiten al fitomejorador una mayor solidez en sus criterios de selección contra esta adversidad, procurando la mayor rapidez y economía del método.

Drought Incidence in the Wheat Crop in the Semi-Arid Pampa Region near the Bordenave Experiment Station

Abstract

The semi-arid Pampa region, comprising approximately 24 million hectares, is located south of Cordoba, east of St. Louis, northwest of La Pampa, and southeast of Buenos Aires province. Wheat is the most important crop representing 38% of the area and 35% of national production.

Precipitation varies between 700 mm in the west and 300 mm in the southeast, which causes severe variations of dry and wet periods annually. This frequently leads to excellent yields one season and crop failures the next. The region around the Bordenave Experiment Station is predominated by a mixed field crop-animal husbandry rotation, crops being the major activity covering around 1 million hectares.

This area is severely drought stressed averaging only 153 mm of water annually. During the winter months, drought is not necessarily persistent, but there are occasional moisture deficits during seeding. Wheat seeding is generally done under adequate moisture conditions, but the elongation and flowering stages can be seriously drought-stressed--the magnitude of which will determine whether harvest will be successful or not. Moisture deficits seem to be the most persistent during August. A successful harvest depends on September-November rainfall to recharge the water table.

The great variability in the rainfall makes it very important to identify plant types that can respond to adequate moisture one year as well as tolerate drought the next.

An empirical methodology has permitted the identification of a set of lines and varieties with good performance under these dry conditions. This involves selecting for yield, grain development, and test weight and observing material over a period of years that represent the variable climatic conditions. Multi-location tests and correlation of empirical observations are used. The empirical observations used to measure plant drought tolerance include leaf senescence, tiller viability and survival, pubescence and waxing, growth and turgidity under stress conditions, leaf rolling, grain development and filling, and good root development.

Cuadro 1. Balance hídrico medio 1988.

Método utilizado: DATOS	Precipitaciones : 1928/1988												
	Tabla de retención: 150 mm						Temperatura media: 1952/1988						
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	AÑO
Temp.media mensual	23.3	22.5	19.4	14.9	11.0	7.7	7.4	8.9	11.8	14.8	18.4	21.9	
Índice Calórico	10.28	9.75	7.79	5.22	3.30	1.92	1.81	2.39	3.67	5.17	7.19	9.36	67.85
Evapotranspiración	3.7	3.5	2.7	1.9	1.1	0.6	0.6	0.8	1.3	1.9	2.5	3.3	
E.P.M.A.	139	110	87	53	29	14	15	22	39	65	89	126	788
Precipitación	62	62	98	54	35	25	22	20	42	78	73	67	638
P - E.P.	-77	-48	11	1	6	11	7	-2	3	13	-16	-59	
Almacenaje	25	18	29	30	36	47	54	54	57	70	63	42	
Evapotranspiración:													
Real	79	69	87	53	29	14	15	20	39	65	80	88	638
Exceso	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Déficit	60	41	-	-	-	-	-	2	-	-	9	38	150

Cuadro 2. Rendimiento medio del trigo registrado en el área de influencia de la EEA. Bordenave (1974-1988).

Año	kg/ha	Lluvias Jun-Nov	Precipitación anual
1974	1000	130.8	536.7
1975	900	115.6	568.0
1976	1600	542.2	894.6
1977	1200	258.1	825.2
1978	1700	274.2	970.4
1979	1100	244.2	663.3
1980	1100	150.0	591.4
1981	1000	167.7	560.3
1982	1900	266.6	953.4
1983	950	93.2	683.7
1984	2300	412.3	998.1
1985	1250	546.7	965.0
1986	1100	244.1	611.9
1987	1800	325.5	780.8
1988	900	178.1	647.1

Cuadro 3. Cultivares y líneas de buen comportamiento a sequía observados en la EE Bordenave.

A. Variedades Argentinas

Eureka F.C.S.	Buck Napostá
Bahiense F.C.S.	Cargill Trigal 800
Sureño M.A.	Chasicó INTA
Buck Austral	Cochicó INTA
Buck Necochea	Trigomax 200u
Klein 32	PROINTA Pigué
Guatraché Hucal M.A.C.	Klein Chamaco
Vilela Sol	PROINTA Oasis

B. Material extranjero de tipo invernal y primaveral

Invernal	Primaveral
Aurora	Pavón 76
Bezostaya 1	Bobwhite "S"
Kavkaz	Veery "S"
Vratza	Veery "S" / Nacozari 76
Stozher	Bow"S"/Buc
MV 22-77	Prl"S"/Pvn
F29 - 76	Vee"S"/Bow"S"
WW 336	MJl/Glen//Trt"S"
TAM W105	DWL 5046/2*Celaya
TAM 101/Newton	Cno 79** 2/He l
TX 71A562-6	Junco"S"
Century	Kvz/K4500 L.A.4
Scout 66	
Jasen	
Kirac 66	
Edh/Lfn"S"//Au/Era	
CA 8055	
Feng Kang 15	
81142	
Flamura 80	

C. Líneas de la EEA. Bordenave

LABv. 9	- Sdy/4/Bb/Cno"S"/3/Cno"S"/NO66/Pi62 - SWM 2977
LABv.42	- Nad//Tmp/CI 12406/3/Torim 73 - SWM 6338
LABv.47	- Son64/Bez - SWD 69194
LABv.48	- Au/Co 652337
LABv.67	- Ptz/Jun"S" - B.1499
LABv.55	- Nac 76//Wld*3/ERA - CM49600
LABv.107	- 093-44/Kvz/4/Cgñ/3/Pato/Bb/Cno - SWN 777308
	- Au/Co 652337//Dove"S" - SWM 12332
	- Csi/5/Sdy/4/Bb/Cno"S"/3/Cno"S"/NO66//Pi62 - B.2270
	- Coca/5/Sdy/4/Bb/Cno"S"/3/Cno"S"/NO66//Pi62 - B.2271
	- BNap//274-320/1A -B 2231
	- CCTP - F.7-7792-63/87
	- CCTP - F.7-7792-64/87
	- CCTP - F.7-7909-22/86



Datos climáticos--EEA Bordenave.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1952-88	Temp. máx. °C	30.1	28.8	25.5	21.1	16.7	12.9	15.5	18.3	20.9	24.7	28.3
1952-88	Temp. mín. °C.	14.7	13.8	11.9	8.3	4.8	1.9	2.2	4.7	7.3	10.5	13.3
1952-88	Temp. med. °C	23.3	22.5	19.4	14.9	11.0	7.4	8.9	11.8	14.8	18.4	21.9
1928-88	Precipit., mm	61.7	62.2	97.7	53.5	35.2	22.2	20.2	41.5	77.5	73.3	67.4
1962-88	Humed. rel., %	54	58	67	72	75	77	68	65	66	63	56
1979-88	Evap. tanque	201.5	168.6	136.9	73.8	51.8	40.8	73.4	90.4	117.4	132.9	192.1
1979-88	Heliofanía	10.1	9.8	8.0	6.4	5.1	4.4	6.0	6.7	8.1	9.3	10.0
1979-88	Radiac. mm/día solar neta	5.4	4.8	3.5	2.3	1.3	0.9	1.7	2.8	4.0	5.0	5.6
	Vel. med. viento a 2.00 m	9.6	9.6	8.6	8.2	8.0	8.4	8.7	9.0	8.7	8.3	8.9
1979-88	Nubosidad Total	4.0	3.6	3.7	4.1	4.5	4.3	4.0	4.0	4.1	4.1	3.9



FIGURA 1

Región Semiárida Argentina

-  Región Semiárida Chaqueña
-  Región Semiárida Pampeana

**ESTACION EXPERIMENTAL AGROPECUARIA BORDENAVE
REPRESENTACION GRAFICA DE LAS PRECIPITACIONES
PROMEDIO 57 AÑOS - PERIODO 1928 - 1984**

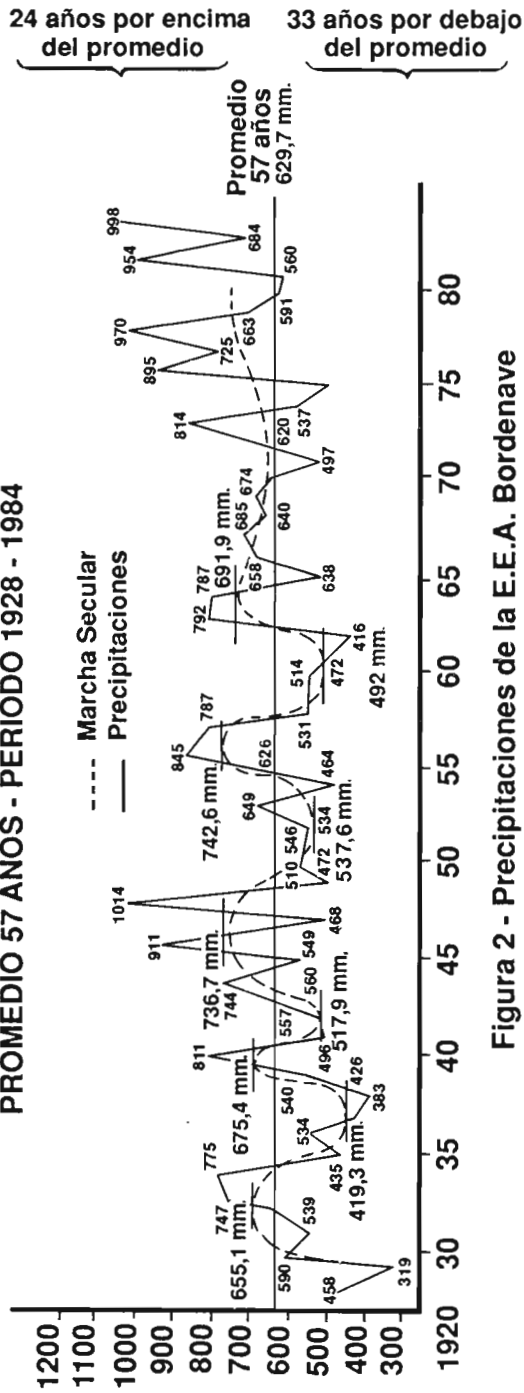


Figura 2 - Precipitaciones de la E.E.A. Bordenave

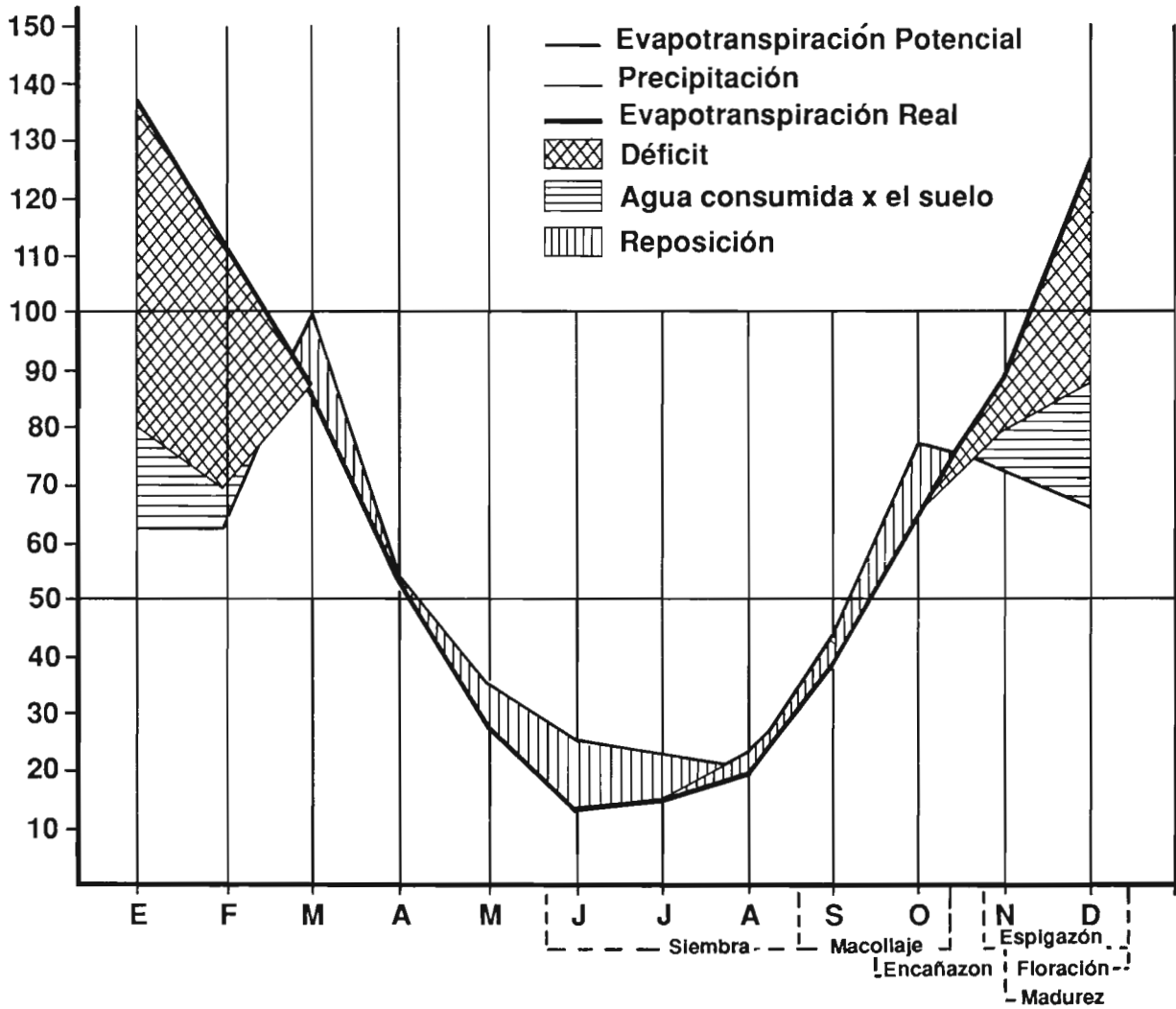


FIGURA 3. BALANCE HIDRICO MEDIO - METODO THORNTHWAITE

EL FITOMEJORAMIENTO Y LA RESISTENCIA A LA SEQUÍA

Alberto Daniel Golberg

E.E.A. Anguil INTA y Fac. Agronomía, Univ. Nac. La Pampa
Casilla de Correo 159-6300 Santa Rosa,
La Pampa, Argentina

Resumen

La resistencia a los diferentes estrésemos ambientales siempre ha sido muy difícil de ser manejada por los fitomejoradores. El rol de fisiología en desarrollo de resistencia al estrés hídrico está discutido. Los importantes conocimientos básicos aportados por los fisiólogos y bioquímicos deben ayudar en la elaboración de metodologías de prueba para determinar el nivel de resistencia a la sequía eficientemente.

Estas líneas están dirigidas a todos los profesionales de las ciencias agroeconómicas pero dedicados especialmente a los fitomejoradores, y tienden a superar toda una historia divergente entre estos y los fisiólogos vegetales. Y esto no constituye una particularidad de los especialistas de nuestro país, en casi todo el mundo ambas disciplinas han evolucionado separadamente en lo que respecta a la resistencia al estrés. Tal situación tiende a cambiar en otros países, como veremos más adelante. El cambio obedece a diferentes factores pero fundamentalmente a la advertencia de algunos investigadores de que el proceso de mejoramiento clásico está arribando a un "plateau" en el impresionante y constante aumento de rendimiento de los principales cultivos que caracterizó muchas décadas de la historia agronómica mundial.

Durante mucho tiempo la tarea de mejoramiento fue un hecho casi artesanal, dicho esto sin ningún ánimo peyorativo, reconociendo que el fitomejorador está armado de una sólida teoría y de importantes bases científicas. Sin embargo, los auxiliares más importantes de su labor han sido: el ojo clínico, una intuición exacerbada y sobre todo mucha perseverancia y aplicación al trabajo como para conducir de manera rutinaria ciento a miles de ascensiones hasta coronar su tarea con algún acierto ¿Cuántos fracasos quedan en el camino?, ¿Cuántos años de labor?

¿Es posible introducir alguna modificación metodológica? Mucho depende de otras disciplinas. El fitomejorador necesita referencias, señales que le marquen una senda por donde pueda transcurrir su marcha hacia la formación de una nueva variedad mejorada, cuyo rendimiento, estabilidad, resistencia a adversidades climáticas, plagas y enfermedades, marquen un progreso neto sobre cultivares en uso. Además es importante que las características señaladas puedan expresarse en diferentes ambientes.

¿Es posible crear un sistema de referencia o es una utopía? Los fisiólogos consideramos que es posible, y que dicho sistema debería tener una raigambre importante en esta disciplina.

Específicamente, en lo que se refiere a la resistencia al estrés hídrico, que está dentro de nuestra esfera de mayor interés, es mucho lo que la fisiología puede brindar al fitomejoramiento. Los párrafos que siguen constituyen una síntesis de las ideas de un fisiólogo (Blum 1983).

La metodología que desarrollaron los fisiólogos, basada fundamentalmente en la seguridad, resulta imposible de utilizar en los programas de selección vegetal.

La rutina de la selección está fundada primordialmente en la rapidez, la facilidad, e incluso en criterios económicos como el costo de determinada labor.

En este caso la seguridad no constituye un valor fundamental. Mientras el trabajo del fisiólogo requiere seguridad y se basa en criterios absolutos, el trabajo del seleccionador está relacionado con las probabilidades. El fitomejorador tiene sumo interés en reducir el tamaño de las poblaciones que él maneja aún a costa de un margen de error que podría ser inaceptable para un fisiólogo.

Dicho margen podría compensarse por repetición de la prueba de subsecuentes generaciones.

Por otra parte, existe muy poca información sobre las relaciones entre una característica adaptativa determinada en relación a la sequía y el rendimiento económico de una variedad dada en ambientes no sometidos a sequía. En la actualidad es muy difícil formular el ideotipo de una planta, en términos de la respuesta fisiológica de esta, en ambientes sin limitaciones hídricas y en aquellos sometidos a déficit. Es decir, un ideotipo que pudiere rendir en los niveles máximos de su potencialidad cuando no existan limitaciones de humedad y produzca satisfactoriamente en condiciones de estrés hídrico. Lamentablemente, muchas de las características favorables en relación a la resistencia al estrés hídrico tienen efectos negativos sobre el rendimiento en granos.

A pesar de estas restricciones, Blum (1983) expresa que: "Existe variación génica en los siguientes atributos de resistencia a la sequía, mantenimiento de un potencial hídrico relativamente elevado (dehidratación avoidance) bajo condiciones de estrés hídrico, ajuste osmótico, continuidad de crecimiento de la planta o de algún órgano en particular, recuperación de la planta después de un período de sequía, tolerancia del sistema fotosintético o de sus componentes, estabilidad de las membranas celulares, acumulación de prolina, desarrollo del sistema radical, y atributos morfológicos tales como: tamaño de la hoja, área foliar por planta, orientación de las hojas, sobrevivencia de macollos, contenido de ceras epicuticulares y pubescencia foliar".

El comportamiento estomático como característica a tener en cuenta en un programa de selección relacionado con la resistencia a la sequía, ha sido materia de controversias puesto que en algunos casos pudo observarse que altas resistencias estomáticas se hallan correlacionadas positivamente con resistencia a sequía, mientras que en otras ocasiones no se verificó tal comportamiento. Por otra parte, existen autores que consideran que una resistencia estomática elevada puede estar correlacionada negativamente con la tasa fotosintética.

El enrollamiento foliar y la senescencia son rasgos fácilmente observables a campo. Otros dos rasgos que pueden tener relevancia en programas de selección relacionados con la resistencia a la sequía son: el ajuste apropiado del proceso de maduración y, en el caso de especies que poseen cultivares aristados y no aristados (p.e. trigo), la presencia de aristas.

Tal vez la clave para producir la ansiada asociación entre el fisiólogo y el fitomejorador consista en que el primero ponga a disposición del segundo una serie de test rápidos y de fácil ejecución. Entre los muchos test existentes podríamos citar:

- El enrollamiento foliar en condiciones de estrés hídrico.
- La temperatura de la canopia medida con termómetro infrarrojo. Se considera que la temperatura foliar está correlacionada negativamente con el potencial hídrico de dicho órgano.
- La tasa de muerte de hojas bajo condiciones de estrés.
- En el caso de la tolerancia a estrés en post-antesis, debe destacarse que el llenado del grano depende parcialmente de los fotosintatos producidos durante dicho proceso y que otra

porción de los fotoasimilados se encuentran almacenados en órganos vegetativos y son translocados hacia los granos. Existe una marcada variación genotípica en relación a la participación relativa de ambas porciones en el llenado del grano y dicha variación permite el desarrollo de un test para estimar la capacidad de un genotipo dado para llenar el grano por medio de la translocación a partir de órganos de reserva, proceso menos sensible al estrés hídrico que a la fotosíntesis. El test está basado en la cuantificación del llenado del grano con fotosintatos translocables a partir del tallo. Para ello, se tratan los lotes con un desecante como el clorato de magnesio. El peso final de los órganos cosechados se compara con el planta testigo.

- Las membranas celulares son estructuras fundamentales para numerosísimos eventos fisiológicos. Dichas estructuras pueden ser muy afectadas por el estrés. Existe un método muy sencillo para cuantificar *in vitro* la tolerancia de las membranas celulares a la deshidratación, basado en la medida de tasa de flujo (hacia el agua desionizada) de iones provenientes de discos foliares previamente incubados en un producto osmótico como el polietilenglicol.
- Existe actualmente otro método de evaluación de la resistencia membranaria. En este caso la estructura evaluada son las membranas de los cloroplastos relacionados con el fotosistema II de la fotosíntesis. El método utilizado es el de la fluorescencia clorofílica.
- El crecimiento de la planta es otra característica importante a tener en cuenta en un proceso de selección de resistencia a la sequía. Puede medirse la producción total de materia seca, en condiciones de estrés, o bien el crecimiento lineal de algún órgano.

También el ángulo foliar de plantas sometidas a estrés muestra variaciones que son hereditarias y relacionadas con el grado de estrés.

La propuesta práctica que realiza Blum (1983), a quien consideramos el autor que más avanzó en la formulación de una metodología para asociar los procedimientos fisiológicos con los del mejoramiento vegetal, consiste en: Utilizar procedimientos simples y rápidos para testar material resistente a sequía. Blum utiliza en el caso del trigo, termometría de infrarrojo, y la determinación del rendimiento en granos luego de la desecación pos-antésis. Las líneas resistentes a la sequía seleccionadas son combinadas con las testadas por su alto rendimiento seleccionadas mediante los métodos fitotécnicos clásicos a nivel de F 5 para obtener posteriormente las variedades mejoradas de alto rendimiento y resistentes a sequía.

Consideramos que el camino del fitomejoramiento para resistencia al estrés recién comienza desbrozarse. Existe un substrato importante de conocimientos básicos aportados por los fisiólogos y bioquímicos; sobre esta base deberían elaborarse metodologías de prueba cada vez más confiables, simples y rápidas.

Desde el punto de vista de la colaboración fisiólogo-genética, debe avanzarse en la relación de estudios básicos sobre la herencia de algunas características de resistencia a sequía, existe al respecto algunas enzimas que podrían actuar como marcadoras.

Por último, debe tenerse en cuenta que el síndrome de la resistencia a la sequía de las plantas, es muy complejo y todo avance importante en la selección estará relacionado, no sólo con la necesaria colaboración fisiólogo-fitomejorador, sino con la posibilidad de construir equipos disciplinarios en los cuales intervengan además de los profesionales antes mencionados, bioquímicos, ingenieros genéticos y agrónomos.

Bibliografia

Blum, A. 1983. Genetic and physiological relationships in plant breeding for drought resistance. *Agricultural Water Management* 6:195-205.

Plant Breeding and Drought Tolerance

Abstract

Tolerances to different abiotic environmental stresses have always been difficult for breeders to incorporate into improved germplasm. The role of physiology in developing drought tolerance is discussed. Important basic knowledge generated by physiologists and biochemists can help in determining the best methodologies for efficiently incorporating drought tolerance.

RELACIONES HIDRICAS Y COMPORTAMIENTO GENOTIPICO EN TRIGO: I. Ensayo 1986-87

A.D. Golberg¹, R. Peinetti², C. Cabeza²
A. Kin² y H. Paccapelo²

¹E.E.A. Anguil. INTA y Facultad de Agronomía Universidad Nacional de la Pampa
Casilla de Correo 300

²Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de La Pampa

Resumen

Se realizaron observaciones sobre la evolución de los parámetros hídricos: potencial hídrico foliar, potencial osmótico, conductancia estomática y temperatura foliar en relación con el contenido de humedad edáfico y DPV atmosférico. Tampoco pudieron observarse diferencias significativas en los rendimientos respectivos ni en sus componentes, así como en parámetros de crecimiento tales como el Índice de Area Foliar, la Duración del Area Foliar, la Tasa de Crecimiento Relativa. Se observó una importante pérdida de macollos en los 4 cultivares hacia el fin del ciclo del cultivo (noviembre). La estabilidad de las estructuras membranas en relación al estrés hídrico, estimadas por medio de la prueba de Sullivan, mostró un grado similar de deterioro en los 4 cultivares.

El estrés hídrico

El concepto de estrés biológico fue definido por Levitt (1972) tomando como referencia el concepto físico según el cual el ESTRES es una fuerza aplicada a un cuerpo. Por otra parte la DEFORMACION (strain) es definida como un cambio en las dimensiones del objeto causado por el estrés.

Por analogía, el ESTRES BIOLOGICO es un cambio en las condiciones del medio ambiente que produce efectos adversos en los organismos. La DEFORMACION BIOLOGICA, es un cambio en el crecimiento y desarrollo del organismo ocasionado por el estrés.

La deformación biológica puede ser dividida en dos partes: una llamada elástica en la cual las funciones del organismo retornan a sus niveles anteriores cuando el estrés cesa; y una plástica, en la cual las funciones no retornan a su estado original. La relación entre la deformación y el estrés es presentada en la Figura 1.

La capacidad de la planta para resistir a un factor desfavorable es conocida como resistencia al estrés. Las distintas estrategias de resistencia fueron definidas por Levitt (1972).

La evasión consiste en cumplir todo el ciclo fuera del período de sequía. El otro grupo de respuesta es conocida como resistencia ya que la planta desarrolla alguna estrategia para hacer frente al estrés. El esquite se refiere a la capacidad de mantener un potencial hídrico elevado en condiciones de sequía. La planta responde de manera de evitar el impacto, utilizando ya sea la estrategia de conservar el agua (cierre de los estomas, etc.), o aumentando la permeabilidad de las raíces.

La tolerancia es definida como la capacidad de vivir con un potencial hídrico bajo. Dentro de la tolerancia, el mecanismo de mayor interés agronómico es la estrategia de evitar la deshidratación a través del ajustamiento osmótico. La resistencia a la sequía desde el punto de vista agronómico es mejor definida como la habilidad de la planta para minimizar las pérdidas en el rendimiento ocasionadas por una escasa disponibilidad de agua en el suelo (Sojka et al. 1981). De acuerdo a este concepto la variedad más resistente al estrés no será necesariamente la más productiva en condiciones de sequía, sino la que disminuye en menor proporción el rendimiento respecto del testigo.

De esta manera, la producción en granos es independiente a la resistencia al estrés.

Las respuestas de las plantas al estrés hídrico dependen en gran medida de la fase fenológica en la cual se produce el déficit hídrico. En general durante la fase generativa los efectos del estrés son mayores para el caso de los cereales, ya que en gran medida reduce la producción en granos.

El estrés hídrico en el trigo

En el trigo no existe una estrategia fisiológica en respuesta al estrés hídrico; por el contrario se observa una amplia variación genética de los componentes fisiológicos de resistencia al estrés (Blum 1983).

Una de las maneras de analizar la resistencia a la sequía es la de considerar la eficiencia en el uso del agua. Las tres variedades de trigo representadas en la Figura 2 ejemplifican tres comportamientos típicos en relación a este parámetro (Blum 1983).

Cajeme es una variedad muy productiva en buenas condiciones hídricas, pero muy susceptible al estrés. Miriam es más resistente al estrés pero la menos productiva en buenas condiciones. Por el contrario 676, representa una variedad con ambas características; resistencia a la sequía y alto potencial productivo en buenas condiciones, dos atributos deseables en un programa de selección.

Los periodos de sequía que ocurren durante la floración son los más perjudiciales desde el punto de vista del rendimiento en granos. En concordancia con lo expuesto Fagioli y Bono (1984) encuentra que en el periodo encañazón-espigazón es donde se observan los valores más altos en el uso consuntivo del agua.

Una mayor precisión del período de mayor sensibilidad de las plantas de trigo al estrés hídrico es obtenido del trabajo de Hochman (1982), esquematizado en el Cuadro 1.

El fitomejoramiento y la resistencia a la sequía

Estas líneas están dirigidas a todos los profesionales de las ciencias agronómicas pero dedicadas especialmente a los fitomejoradores, y tienden a superar toda una historia divergente entre estos y los fisiólogos vegetales.

Durante mucho tiempo la tarea de mejoramiento fue un hecho casi artesanal. Los auxiliares más importantes de su labor han sido: el ojo clínico, una intuición exacerbada y sobre todo mucha perseverancia y aplicación al trabajo como para conducir de manera rutinaria cientos o miles de ascensiones hasta coronar su tarea con algún acierto.

Es posible introducir alguna modificación metodológica? Los fisiólogos consideramos que es posible. Específicamente, en lo que se refiere a la resistencia al estrés hídrico, es mucho lo que la fisiología puede brindar al fitomejoramiento.

La metodología que desarrollaron los fisiólogos, basada fundamentalmente en la seguridad, resulta imposible de utilizar en los programas de selección vegetal. La rutina de la selección está fundada primordialmente en la rapidez, la facilidad, e incluso en criterios económicos como el costo de determinada labor. En este caso la seguridad no constituye un valor fundamental. Mientras el trabajo del fisiólogo requiere seguridad y se basa en criterios absolutos, el trabajo del seleccionador está relacionado con las probabilidades. El fitomejorador tiene sumo interés en reducir el tamaño de las poblaciones que él maneja aún a costa de un margen de error que podría ser inaceptable para un fisiólogo. Dicho margen podría compensarse por la repetición de la prueba en subsecuentes generaciones.

Tal vez la clave para producir la ansiada asociación entre el fisiólogo y el fitomejorador consista en que el primero ponga a disposición del segundo una serie de test rápidos y de fácil ejecución. Entre los muchos test existentes podríamos citar: (1) El enrollamiento foliar en condiciones de estrés hídrico, (2) La temperatura de la canopia medida con termómetro infrarrojo, (3) La tasa de muerte de hojas bajo condiciones de estrés, (4) Tolerancia a estrés en post-antesis basada en la cuantificación del llenado del grano con fotosintatos translocables a partir del tallo, (5) Estabilidad de las membranas celulares, (6) Evaluación de la resistencia membranaaria relacionada con el fotosistema II a través de la fluorescencia clorofílica, (7) El crecimiento de la planta medido como la producción total de la materia seca en condiciones de estrés, el crecimiento linear de algún órgano, o el ángulo foliar de plantas sometidas a estrés.

Consideramos que el cambio del fitomejoramiento para resistencia al estrés recién comienza a desbrozarse. Debe tenerse en cuenta que el síndrome de la resistencia a la sequía de las plantas es muy complejo y todo avance importante en la selección estará relacionado, no solo con la necesaria colaboración fisiólogo-fitomejorador, sino con la posibilidad de construir equipos pluridisciplinarios en los cuales intervengan además de los profesionales antes mencionados, bioquímicos, ingenieros genéticos y agrónomos.

La Provincia de la Pampa, algunas características ecológicas

El clima

Temperatura (Figura 3)—El clima de la provincia es templado, con una temperatura medial anual que varía entre 14° y 16°C. Existe una gran amplitud térmica (16°C) que está ligada a las características continentales del clima. La temperatura media del mes más frío (Julio) es de 8°C al Norte y 6°C al Oeste, y la del mes más cálido (enero) es de 24°C en el N-NE y 22°C en el S-SW. El periodo libre de heladas varía entre 140 y 160 días.

Precipitaciones (Figura 3)—El valor de las isoietas que caracteriza el régimen de lluvias de la provincia aumenta desde el Oeste (200 mm) al NE (700 mm). La distribución de las precipitaciones durante el año, muestra un máximo en la primavera y el verano (octubre-marzo), mientras que la estación más seca es el invierno (julio-agosto).

Vientos—Los vientos son un problema suplementario para la agricultura de la región pampeana. La velocidad promedio anual oscila entre 10 y 15 km/h.

Las velocidades más elevadas se registran en primavera, en coincidencia con el período de crecimiento de la planta de trigo y el final del período de menor precipitación. Los vientos aumentan la evaporación y acrecientan los riesgos de la erosión eólica, que es ya muy importante en los suelos ligeros.

El suelo

Sobre la base del sistema de clasificación americana, los tipos de suelos que se encuentran en esta región son los siguientes:

Molisoles: (al este de la provincia) Son suelos de poca estructura sin acumulación de arcillas. Los molisoles constituyen el grupo de suelos más importantes desde el punto de vista agrícola.

Entisoles: Tienen en general un perfil poco evolucionado. Se pueden encontrar diferentes tipos de entisoles según ocupen áreas de dunas, de pendientes muy pronunciadas o de planicies aluviales, etc. Los entisoles ocupan una vasta región situada en el centro y el oeste de la provincia.

Aridisoles: Son aquellos suelos que se desarrollan en condiciones muy áridas; son muy arenosos, delgados, y de poca evolución, normalmente desarrollados sobre capas calcáreas. Se encuentran en dos áreas separadas del territorio, en la extremidad Nor-Este y en el Centro-Sud en las mesetas calcáreas de Cuchillo-Co.

El cultivo de trigo en la Pampa

La superficie sembrada alcanzó las 491,000 ha en el año 1987. El rendimiento de 1054 Kg/ha ** está afectado por una gran variabilidad (Cv. 25%).

Los rendimientos en la provincia son inferiores a la media nacional (1620 kg/ha*).

Uno de los problemas más importantes para el cultivo de trigo es el déficit hídrico como factor determinante de los bajos rendimientos y de la falta de estabilidad de los mismos.

Torroba Gentilini (1983) expresa que en lo que concierne a los rendimientos la repartición de las precipitaciones es más importante que la precipitación total anual registrada. Son las precipitaciones que ocurren durante el período de floración (octubre y principios de noviembre) las determinantes en la producción de trigo.

Ensayos en condiciones de campo

Análisis de los parámetros hídricos

Se ha observado el comportamiento de cuatro cultivares comerciales de trigo bajo condiciones de campo en relación con su resistencia a la sequía.

Los cultivares estudiados son: Bordenave Puán, Trigal 800, Buck Pucará y Chasicó INTA. Se determinaron parámetros de condición hídrica en el sistema suelo-planta-atmósfera.

Las lluvias previas a la siembra y las que ocurrieron durante el mes de Junio, sumadas a la baja evapotranspiración invernal determinaron que al iniciarse el ensayo el suelo se encontrara con una buena disponibilidad de agua.

En el período de macollaje se produjo escasa o nula recarga hídrica del suelo. Durante encañazón y floración inclusive se produjeron lluvias ligeras a principios de septiembre y octubre. Estas causaron aumentos del contenido hídrico del suelo en la capa superficial, que no alcanzaron a reflejarse en las capas más profundas; las cuales probablemente eran exploradas por las raíces (Figura 4).

Paralelamente durante el mes de octubre se produjo un aumento en el déficit de saturación de la atmósfera. En este contexto edafo-climático el potencial agua foliar comenzó a disminuir (Figura 6) en consonancia con el aumento del déficit de saturación atmosférico y la disminución del contenido hídrico del suelo en las capas más profundas. Esta tendencia de decrecimiento del potencial agua foliar se mantuvo hasta finalizar el ciclo del cultivo. El potencial osmótico foliar presentó un comportamiento similar (Figura 5). En ninguno de los casos se observaron diferencias significativas entre los cultivares.

Por otro lado, la correlación entre el potencial agua foliar y el potencial osmótico foliar, durante los meses de octubre y noviembre, mostró ser significativa sólo para los cultivares Chasicó INTA y Bordenave Puán. En ese mismo período la temperatura foliar y la conductancia estomática (Figura 7), no presentaron diferencias significativas entre cultivares. Tampoco se encontró correlación significativa entre estos dos últimos parámetros.

A lo largo del período de medición no se encontraron diferencias significativas entre cultivares para los parámetros analizados; sin embargo como era dable de esperar, el potencial osmótico, el potencial agua y la temperatura foliar, presentaron diferencias altamente significativas en el tiempo.

El cuadro 2 detalla los rendimientos, tanto de grano como de materia seca, y el índice de cosecha correspondiente a los cultivares analizados no se observaron diferencias estadísticas significativas entre los rendimientos de grano, pero sí en el rendimiento de biomasa aérea; ello se tradujo en índices de cosecha diferentes.

El cuadro 3 describe los componentes del rendimiento; solo se hallaron diferencias en el número de granos por espiguilla en Trigal 800 y Buck Pucará.

Algunos parámetros de crecimiento

La evolución del índice de área foliar representado en la Figura 8 muestra que los cuatro cultivares alcanzaron un máximo en la primera quincena de octubre (110 días después de la siembra). En esa oportunidad el cultivar Chasicó INTA exhibió el valor más elevado 6,75, mientras que Trigal 800 en el mismo momento mostró el menor IAF 4,27.

Otro parámetro considerado fue la duración del área foliar (Figura 9). Este índice aumentó hasta alcanzar un máximo a mediados del mes de octubre, en este momento los cultivares Bordenave Puán y Chasicó INTA alcanzaron valores mayores que los dos cultivares restantes. Más adelante, si bien los valores disminuyeron en todos los casos, el cultivar Chasicó INTA mantuvo valores superiores al resto.

La tasa de crecimiento relativo (Figura 10) fue máxima al inicio de las determinaciones. El valor más elevado correspondió al cultivar Trigal 800. Los cultivares restantes presentaron valores similares entre sí.

Posteriormente la disminución fue constante e igual para todos los cultivares.

Finalmente se analizó la evolución en el tiempo del número de macollos (Figura 11). El número de macollos aumentó desde el comienzo del cultivo, hasta alcanzar los valores máximos a mediados de septiembre. A partir de ese momento el número de macollos se reduce notablemente y al final del ciclo del cultivo los valores medios alcanzan aproximadamente a un macollo por planta.

Ensayo en condiciones de invernáculo

Análisis de los parámetros hídricos--Se estableció un período de estrés determinado por la interrupción del riego. Se realizaron medidas del potencial hídrico y el contenido relativo en agua (CRA).

En la Figura 12 se observa la evolución del potencial hídrico en plantas que crecieron bajo sequía y los correspondientes testigos de los tres cultivares de trigo ensayados (Trigal 800, Buck Pucará y Chasicó INTA). Al cabo de 18 días de suspensión del riego las diferencias con los testigos era de alrededor de -0.1 MPa. La disminución del potencial hídrico fue acentuándose en los dos días subsiguientes, y al cabo de la primera semana de iniciadas las determinaciones (25 días después de la interrupción del riego) se registraron los valores más bajos del potencial agua. Fue sólo en este día que pudo apreciarse que uno de los cultivares (Trigal 800) se diferenciaba de los otros dos

exhibiendo valores más elevados (-0.87 MPa Trigo 800 y -1.12 los otros dos cultivares). Al reanudarse la irrigación, Trigo 800 mostró una recuperación del potencial agua notablemente rápida en relación con los otros dos cultivares, mostrando el primer día de recuperación valores aún superiores a los iniciales. Ya en la siguiente fecha Chasicó INTA había igualado los valores mientras que en Buck Pucará la recuperación fue menos notable.

El CRA (Figura 13) presentó al cabo de 18 días de suspensión del riego una diferencia de alrededor del 10% en relación a los testigos; en el lapso de 7 días de determinaciones efectuadas durante el período de sequía, los tres cultivares disminuyeron su CRA en un 20%.

La recuperación del CRA fue rápida una vez reanudado el riego, alcanzándose los valores del inicio.

Los parámetros hídricos de manera similar en las tres variedades, corroborando los resultados de campo.

Evolución de los componentes del rendimiento—Los resultados obtenidos están representados en el Cuadro 4. El cultivar más afectado por el estrés fue Trigo 800. De manera general puede estimarse que tanto en Buck Pucará, como Chasicó INTA el componente que intervino en la reducción del rendimiento fue el peso de 1.000 granos es decir la translocación de fotosintatos hacia el grano.

En Trigo 800 el número de granos por espiguilla fue el componente más afectado y secundariamente la cantidad de espigas por plantas (este último factor guarda relación con el hecho de que en el momento del corte del riego Trigo presentaba un desarrollo menor). Otras diferencias con respecto a los otros dos cultivares fueron: la reducción de espiguillas por espiga, la cual fue también importante, probablemente por haberse reducido de manera dramática la cantidad de locus hacia donde movilizar los fotosintatos, el peso de 1.000 granos no resultó afectado.

Fotosíntesis

La actividad fotosintética se ve reducida en condiciones de sequía; esta reducción se relaciona con el cierre de los estomas, que impide el ingreso del CO₂ a la planta, y/o con los daños causados por la sequía en el aparato fotosintético.

El análisis de la fotosíntesis neta, a diferencia del método de la fluorescencia integra los efectos estomáticos y no estomático del estrés hídrico.

Las medidas del potencial hídrico se obtuvieron con la bomba de presión mientras que las de la fotosíntesis se realizaron por medio del método IRGA (analizador de gas infrarrojo).

Las medidas de fotosíntesis están representadas en la Figura 15. Se observa que a 7 días del corte del riego las diferencias entre los tratamientos son altamente significativas, evidenciándose en ese momento diferencias entre cultivares; el cultivar Bordenave Puán era el más afectado.

El potencial hídrico medido en los días 4 y 7 a partir del corte del riego presentó un comportamiento similar al de la fotosíntesis neta (Figura 14). En este caso también Bordenave Puán era el más afectado y por otra parte Trigo 800 presentaba los valores más altos del potencial hídrico.

Al reanudarse el riego, desaparecen en el término de dos días las diferencias observadas entre el tratamiento y cultivares en el caso del potencial hídrico. Mientras que la fotosíntesis neta siguió siendo diferente para los tratamientos, si bien se observó una recuperación notable en el caso de las plantas sometidas a sequía. Esta recuperación fue similar para los cuatro cultivares no evidenciándose diferencias en ese momento.

Los bajos valores de fotosíntesis neta obtenidos en plantas que sufrieron sequía (día 7, Figura 14) se debieron sobre todo a la componente estomática. Por el contrario las medidas del día 11 (dos días después del riego) estarían en relación con los efectos no estomáticos del estrés hídrico.

Al comparar los cultivares se observa que todos resultaron altamente afectados por la sequía. En el periodo de máximo estrés Bordenave Puán resultó más afectado siendo Trigo 800 el que mostró un mejor comportamiento. Pero la recuperación fue más rápida y similar en los cuatro cultivares.

Utilización de test rápidos para evaluar resistencia a sequía

Parámetros de crecimiento

Angulo Foliar–Se analizó la evolución de ángulos foliares y del potencial agua de plantas que crecieron en dos niveles de estrés. Para provocar un nivel de estrés controlado las plantas fueron tratadas con Polietilenglicol 6.000, que fue agregado al suelo de las macetas, en dos concentraciones: 25% y 35%.

Se tomó el ángulo que forma la base de la lámina de la hoja con el pseudotallo, considerando que el eje vertical corresponde a un ángulo foliar igual a cero. Los valores obtenidos para el potencial hídrico y el ángulo foliar luego de 11 días de aplicado el producto se presenta en el Cuadro 5.

Conclusiones

La aplicación del producto osmótico produjo una disminución significativa en el potencial hídrico y en los valores del ángulo foliar.

El ángulo foliar fue más sensible que el potencial hídrico para detectar los dos niveles de estrés.

Los cultivares ensayados presentaron un comportamiento similar.

Largo de la hoja

Se obtuvieron medidas del largo de las hojas de plantas de trigo que crecieron en macetas pequeñas que contenían un alto porcentaje de arena como sustrato, lo que permitió la aplicación de un periodo de sequía controlado ya que la desecación del suelo una vez cortado el riego, ocurría rápidamente.

El riego fue cortado cuando la punta de la hoja número 4 estuvo visible. Por efecto de la sequía el largo de la hoja 4 fue menor en comparación con el testigo (Figura 16). Este efecto se manifestó a partir del quinto día del corte del riego, y consecuentemente el largo final de la hoja 4 fue significativamente menor en el tratamiento de sequía.

Desde la aparición de la hoja 5 (primer día) las diferencias entre tratamientos fueron significativas (Figura 17). Al tercer día de evolución de la hoja 5 se reanudó el riego; y si bien a partir de ese momento se observa una aparente recuperación del crecimiento, las diferencias entre los tratamientos se mantienen significativas durante todo el periodo de desarrollo de dicha hoja.

No se manifestaron diferencias entre cultivares en cuanto a su comportamiento en condiciones de sequía. (Las interacciones variedad-tratamiento no fueron significativas)

Prueba de Sullivan

Se ha comprobado que la estabilidad de las membranas biológicas puede ser alterada cuando la planta sufre periodos de sequía (Bewley 1979). El efecto sobre las membranas puede ser medido de manera indirecta por medio de la pérdida de electrolitos de la célula (Sullivan 1972).

El porcentaje de preservación de Sullivan se obtiene de la siguiente manera:

Porcentaje de preservación = 100 - porcentaje de daño
Los valores obtenidos se presentan en el Cuadro 6

Trigal 800 fue el cultivar cuyos porcentajes de preservación fueron los que menos difirieron del testigo, mostrando por consiguiente una mayor estabilidad de las estructuras.

Por otra parte, en los tres cultivares una vez reiniciados los riegos (día 26), los porcentajes de preservación se elevan nuevamente hasta valores similares a los respectivos testigos, evidenciando probablemente un reestablecimiento de las estructuras afectadas por el estrés.

Fluorescencia clorofílica

Se realizaron medidas de la fluorescencia clorofílica en plantas de cuatro cultivares de trigo: Bordenave Puan, Trigal 800, Buck Pucará, Chasicó INTA, que crecieron en condiciones de riego y en condiciones de sequía. Las medidas fueron realizadas con el fluorímetro modulado PAM (pulso de amplitud modeulada) descrito por Schreiber et al. (1986).

Los parámetros obtenidos luego de las mediciones fueron:

Quenching fotoquímico (Q_q) el cual es la medida de la caída de la fluorescencia debida a la reducción del aceptor Q.

Quenching electroquímico (Q_e) es la caída de la fluorescencia debida a procesos no fotoquímicos, entre los cuales el más importante es la energización de las membranas de los tilacoides.

$F_{max}-F_p/F_{max}$: esta relación entre la fluorescencia máxima y la fluorescencia mínima de una medida del estado fisiológico del fotosistema II.

El estrés hídrico afectó la fotosíntesis a nivel de la reoxidación del aceptor Q, mientras que el estado fisiológico del fotosistema II y las membrana tilacoideas no resultaron afectadas desde el punto de vista fotoquímico.

Por otra parte, la reducción de la fluorescencia fue similar en los cuatro cultivares ensayados.

Los resultados obtenidos no muestran diferencias de comportamiento frente a la deficiencia hídrica en los cultivares comparados.

A partir de estos resultados se podría elaborar una hipótesis a verificar en otros trabajos, en el sentido de que no hay diferencias de comportamiento en relación al estrés hídrico en los cultivares estudiados, dado que si no se incluyó previamente en el proceso de mejoramiento vegetal un programa de resistencia a la sequía resultaría casual constatar tal comportamiento.

La sensibilidad de los test usados en relación al estrés hídrico y la facilidad y rapidez de los métodos permiten la evaluación de gran cantidad de material, lo que los hace apropiados para el apoyo a las tareas de selección varietal.

Bibliografía

Bewley, J.D. 1979. Physiological aspect of dessication tolerance. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 30:195-238.

Blum, A. 1983. Genetic and physiological relationships in plant breeding for drought resistance. *Agricultural Water Management* 6:195-205.

Fagioli, M. y A. Bono. 1984. Variaciones del uso consuntivo del agua y del contenido de nitrógeno y de nitratos en el suelo en el ciclo vegetativo de los cultivos de trigo y sorgo en la región semiárida pampeana. Publicación técnica N° 30. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria 3-8.

Hochman, Z. 1982. Effect of water stress with phasic development on yield of wheat grown in a semi-arid environment. *Field Crop Research* 5:55-67.

Levitt, J. 1972. Responses of plants to environmental stress. Academic Press, 1-6. Londres, Nueva York.

Schreiber, V.; V. Schliwa y W. Bilger. 1986/ Continuous recording of photochemical and non photochemical chlorophyll fluorescence quenching with a new type of modulation fluorometer. *Photosynth. Res.* 10:51-62.

Sojka, R.E.; L.H. Stolzy y R.A. Fischer. 1981. Seasonal drought response of selected wheat cultivars. *Agron. J.* 73:834-844.

Sullivan, C.Y. 1972. Mechanisms of heat and drought resistance in grain sorghum and methods of measurement. Enc: N.G.P. Rao (Eds). *Sorghum in the Seventies*. Oxford & IBH Publishing Co. Nueva Dehli. India.

Water Parameter Relationships to Wheat Performance I. 1986-87 Trials

Abstract

In a physiological study of water parameters in four cultivars of wheat, as DPV increased and soil humidity decreased, decreases were observed in leaf water potential, osmotic potential, and stomatic conductance, while leaf temperature increased. No significant differences were observed in yield or its components or in growth parameters such as leaf area index, leaf area duration, and the rate of relative growth. An important loss of tillers in the four varieties was observed toward the end of the crop cycle in November. The stability of membrane structures, in relation to the water stress and estimated by the Sullivan Test, demonstrated a similar degree of deterioration in the four cultivars.

Cuadro 1. Reducción del rendimiento en granos en distintos periodos de aplicación de un déficit hídrico.

Período de aplicación del estrés	Disminución del rendimiento (%)
Macollaje hasta antesis	28
Estadío de bota hasta llenado de los granos	30
Llenado de los granos	16

Cuadro 2. Rendimiento en grano (kg/ha), biomasa aérea (kg/ha) e índice de cosecha de los cultivares analizados.

Cultivar	Rendimiento en grano	Biomasa aérea	Índice de Cosecha
Chasicó INTA	1733a*	7662a	0,30b
Buck Pucarά	1873a	8437a	0,38a
Bordenave Puán	2246a	9671a	0,34a
Trigal 800	2165a	6605b	0,32a

* Letras distintas en las columnas indican diferencias significativas. Prueba de Duncan (p:0,05).

Cuadro 3. Componentes del rendimiento de los cultivares analizados. P.M.G.: peso de mil granos.

Componente	Chasicó INTA	Buck Pucarά	Bordenave Puán	Trigal 800
Espiga/m ²	330*	390a	380a	413a
Espgl/espiga	14.85a	13.15a	13.92a	16.07a
Granos/espgl	1.49b	2.14a	1.75b	2.26a
P.M.G.	41a	39a	38a	39a

* Letras distintas en las hileras indican diferencias significativas. Prueba de Duncan (p=0.05)

Cuadro 4. Reducción del rendimiento por planta y de sus componentes al cabo de 25 días de suspensión del riego, expresados como porcentajes del testigo.

Componente/Cultivar	Buck Pucará	Trigal 800	Chasicó INTA
Rend/Planta	53.4	99.9	42.1
Espigas/planta	28.3	37.5	7.2
Espiguillas/espiga	0	28.8	4.1
Granos/espiguilla	0	99.0	10.3
Peso 1000 granos	39.6	1.1	25.2

Cuadro 5. Valores medios correspondientes a los ángulos foliares (A, grados) y al potencial agua (PA, MPa) a los 11 días de aplicado el polietilén glicol (PEG).

Cultivar Tratamiento	Bordenave Puán		Trigal 800		Buck Pucará		Chasicó INTA		X Tratamiento	
	A*	PA	A	PA	A	PA	A	PA	A	PA
Testigo	51	-1,3	47	-1,3	51	-1,1	53	-1,1	50	-1,2
PEG 25%	31	-2,3	34	-2,2	24	-2,0	27	-2,3	29	-2,2
PEG 35%	23	-2,4	28	-2,3	21	-2,1	20	-2,2	23	-2,2

* La diferencia mínima significativa para ángulo fue 5,1 grados y para potencial agua -0,21 MPa.

Con la excepción del ensayo 2, las experiencias se llevaron a cabo en fitotron en las siguientes condiciones: Temperatura 25°C, fotoperiodo 12 h 30 min y radiación fotosintética activa 700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{seg}^{-1}$. El ensayo 2 se realizó en condiciones de invernáculo.

Cuadro 6. Porcentajes de preservación de los cultivares Buck Pucará, Trigal 800 y Chasicó INTA sometidos a sequía.

Cultivar	Día 25		Día 26 (recuperación)	
	Testigo	Sequía	Testigo	Sequía
Buck Pucará	93.35 (1.65)*	58.73 (5.81)	89.68 (0.83)	86.60 (3.93)
Trigal 800	93.23 (1.53)	87.46 (3.27)	93.20 (1.88)	92.08 (4.47)
Chasicó INTA	84.66 (3.34)	53.27 (8.26)	88.35 (0.98)	77.63 (3.17)

* Las cifras entre paréntesis indican el desvío estándar.

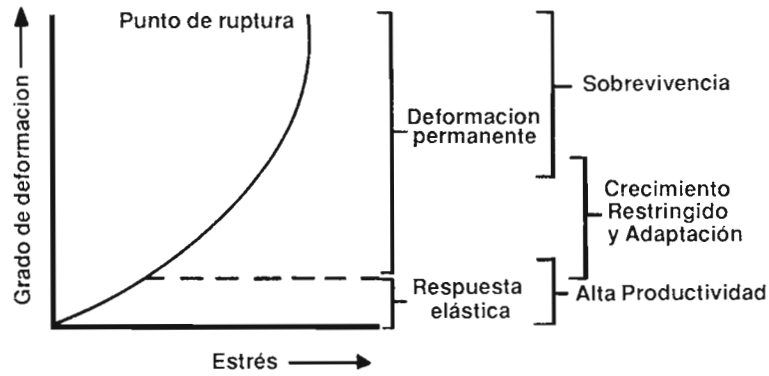


Figura 1. Generalización del diagrama fuerza-deformación como modelo de las respuestas de la planta al estrés hídrico. Las respuestas en términos de crecimiento y productividad, correspondiente a las distintas regiones de la deformación física, están dadas en el margen derecho de diagrama. Tomado de Bradford y Hsiao 1982.

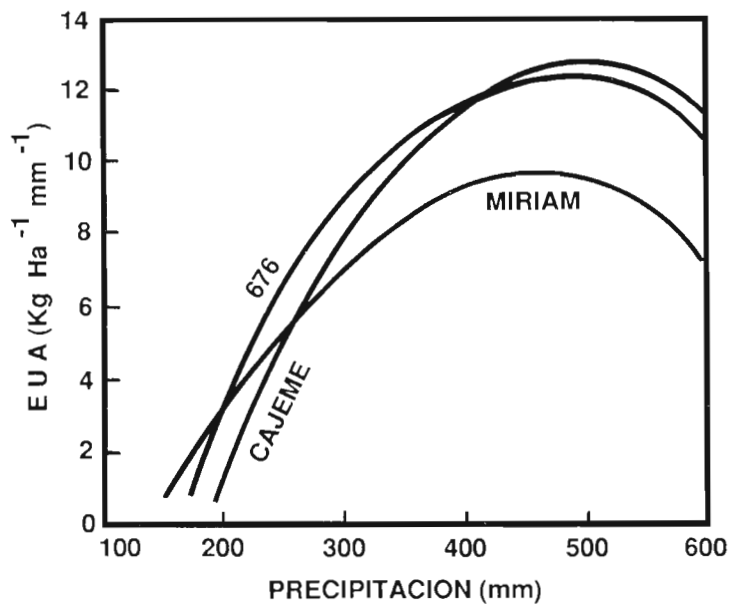


Figura 2. Eficiencia en el uso del agua en función de la precipitación (irrigación) tomadas sobre 31 tests de campo en tres variedades de trigo. Tomado de Blum 1983.

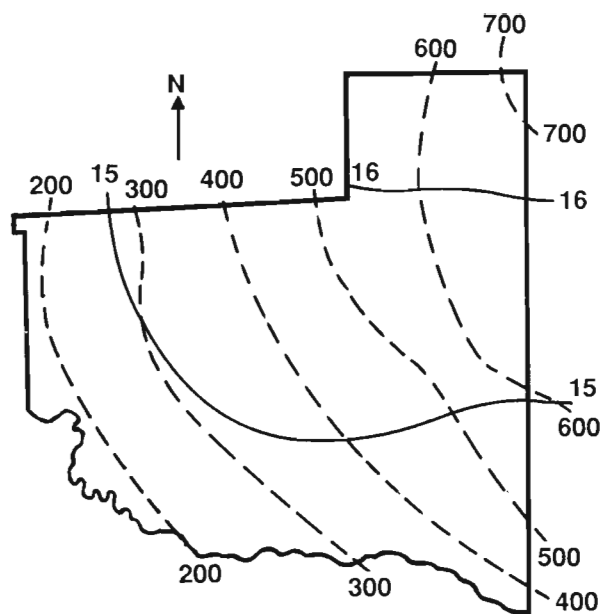


Figura 3. Distribución de isotermas e isohietas en la provincia de la Pampa. Temperatura media anual ($^{\circ}\text{C}$)—, precipitación media anual (mm)---. Tomado del inventario integrado de recursos naturales de la provincia de la Pampa 1980.

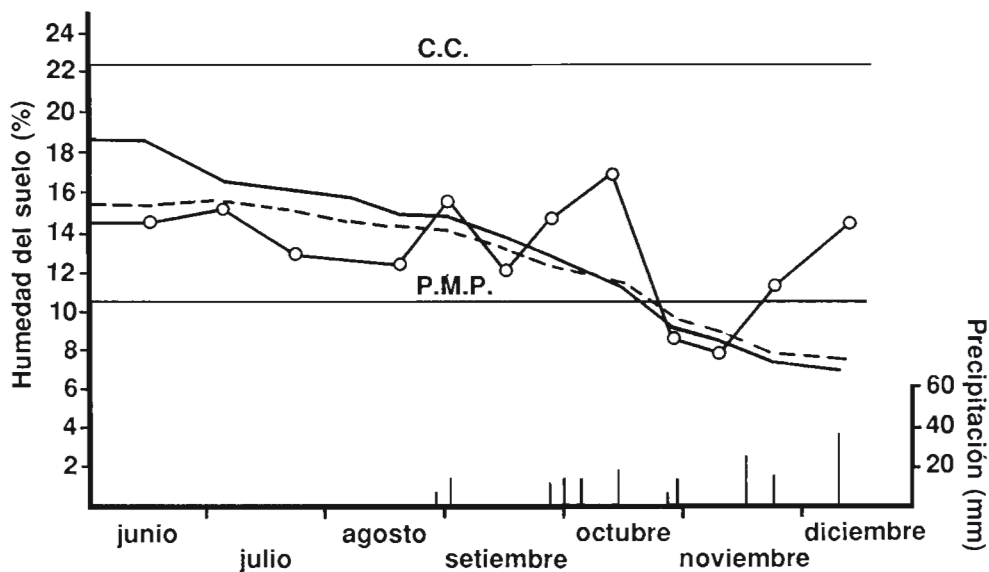


Figura 4. Evolución de la humedad del suelo en tres profundidades en el perfil, a lo largo del ciclo del cultivo y las precipitaciones ocurridas durante ese periodo. C.C. : Capacidad de Campo, P.M.P.: Punto de Marchitez Permanente, \circ — \circ 0-15 cm, --- 15-50 cm, — 50-100 cm.

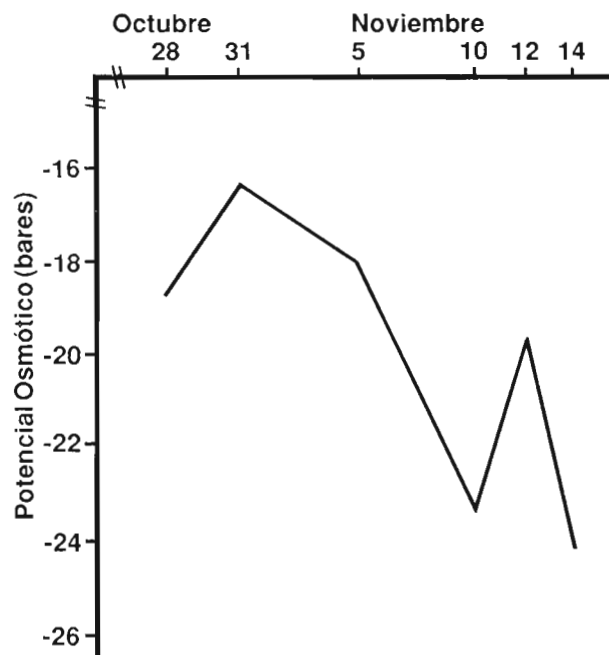


Figura 5. Evolución del potencial osmótico en función del tiempo. Cada punto representa al promedio de los cuatro cultivares: Bordenave Puán, Buck Pucará, Trigal 800 y Chasicó INTA.

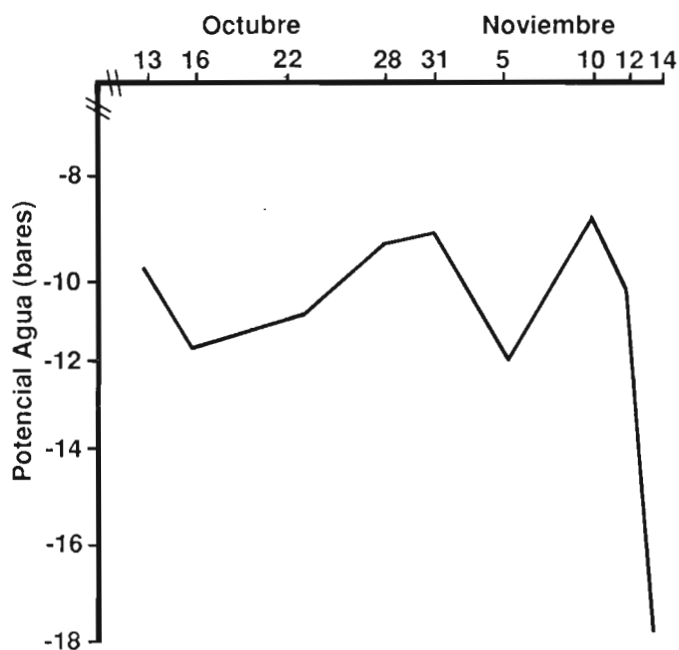


Figura 6. Evolución del potencial agua en función del tiempo. Cada punto representa al promedio de los cuatro cultivares: Bordenave Puán, Buck Pucará, Trigal 800 y Chasicó INTA.

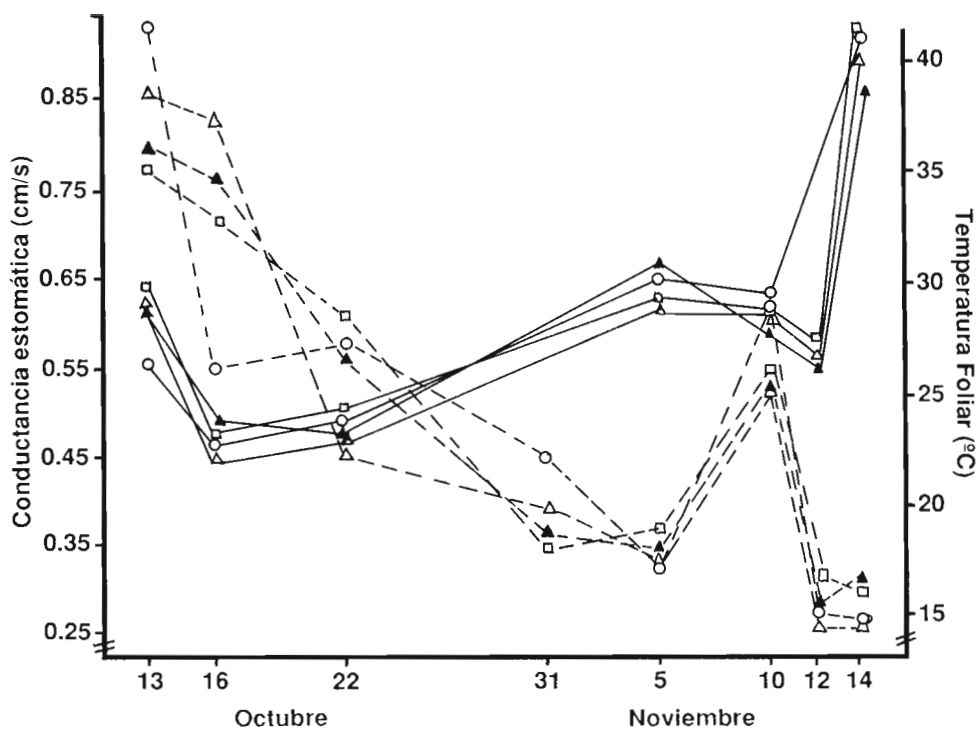


Figura 7. Evolución en el tiempo de la conductancia estomática. --- y la temperatura foliar —, correspondiente a los cultivares: Bordenave Puán(Δ), Trigal 800 (□), Buck Pucará(▲) y Chasicó INTA (○).

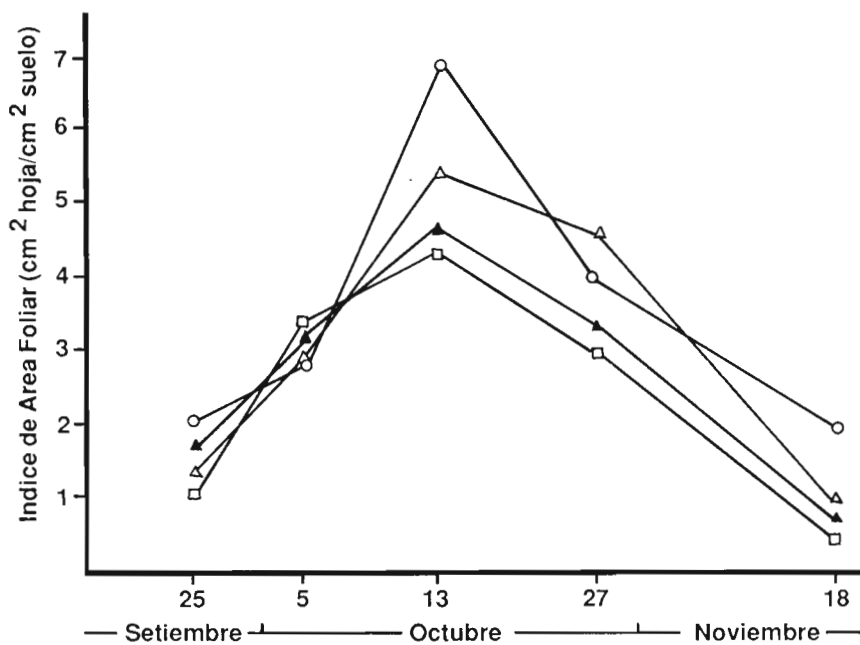


Figura 8. Evolución en el tiempo del Índice de Area Foliar, correspondiente a los cultivares: Bordenave Puán (Δ), Trigal 800(□), Buck Pucará(▲) y Chasicó INTA (○).

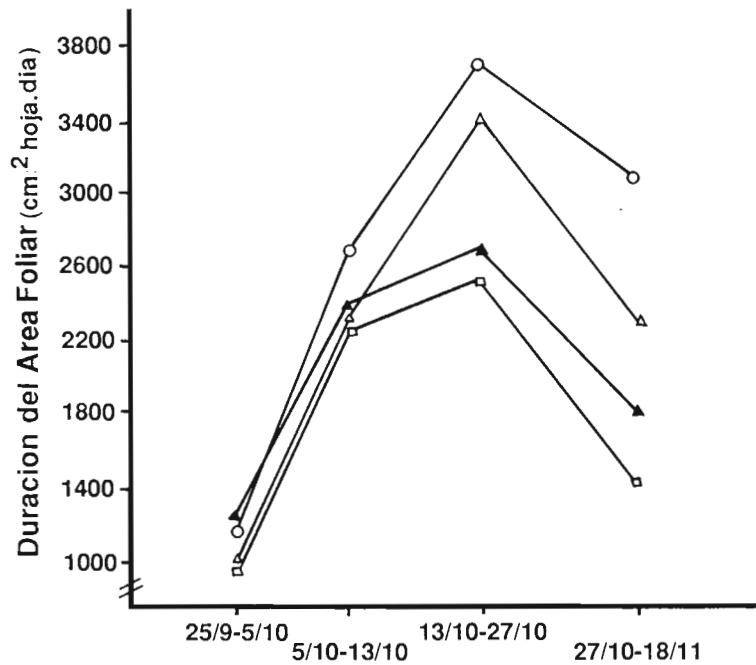


Figura 9. Evolución en el tiempo de la Duración del Area Foliar, correspondiente a los cultivares: Bordenave Puán(Δ), Trigal 800(□), Buck Pucará(▲) y Chasicó INTA (○).

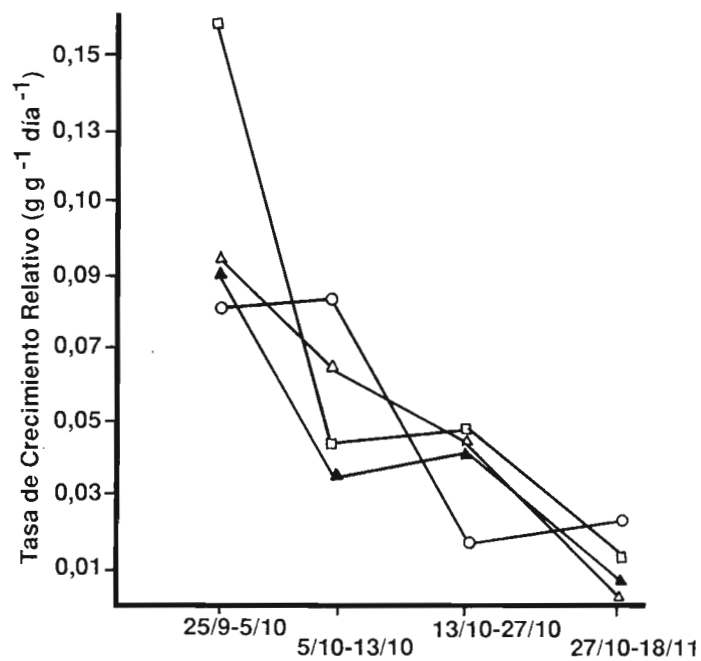


Figura 10. Evolución en el tiempo de la Tasa de Crecimiento Relativo, correspondiente a los cultivares: Bordenave Puán(Δ), Trigal 800(□), Buck Pucará (▲) y Chasicó INTA (○).

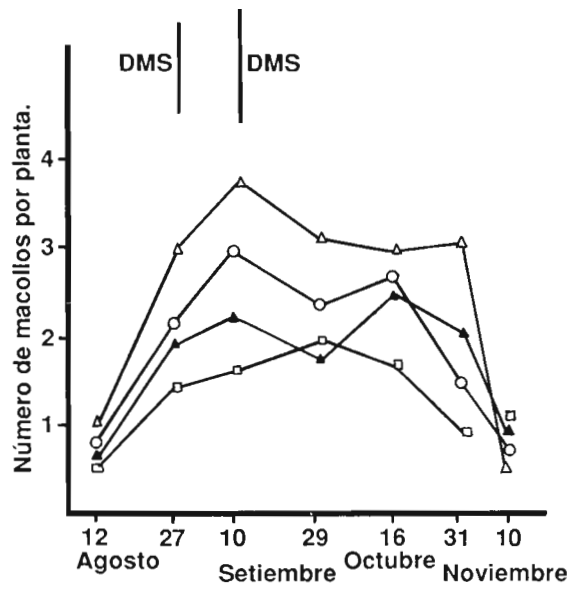


Figura 11. Evolución del número de macollos por planta a lo largo del ciclo del cultivo, correspondiente a los cultivares: Bordenave Puán (Δ), Trigal 800(\square), Buck Pucará (\blacktriangle) y Chasicó INTA (\circ).

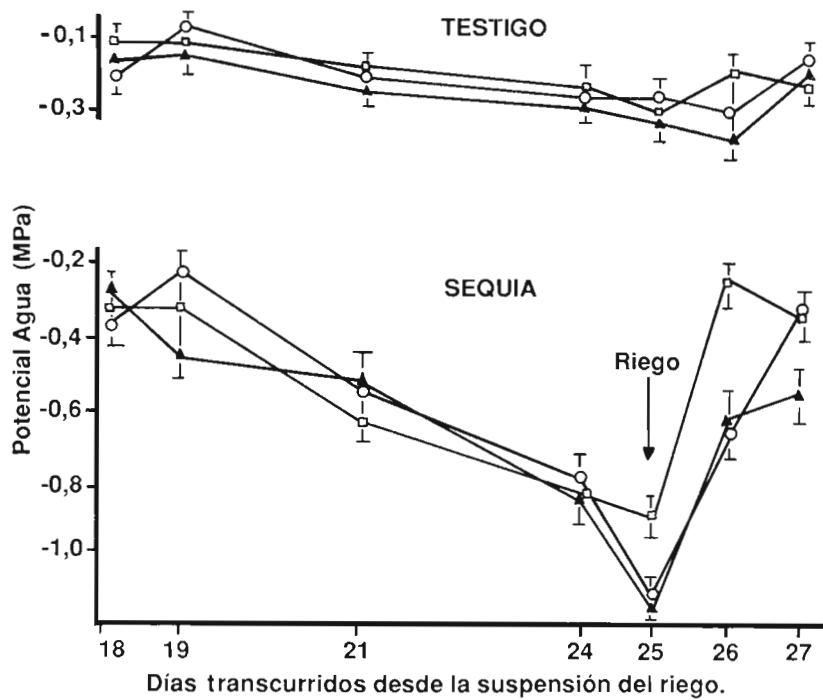


Figura 12. Evolución del potencial agua en función del tiempo en el testigo y en el tratamiento de sequía respectivamente, en los cultivares: Trigal 800 (\square), Buck Pucará (\blacktriangle) y Chasicó INTA (\circ), Desvío Standard \bar{I} .

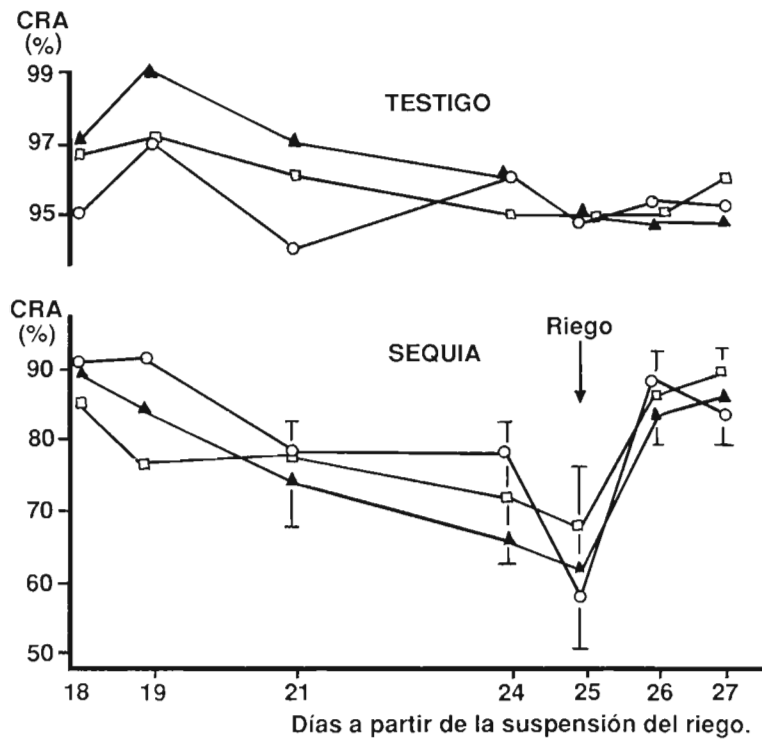


Figura 13. Evolución del contenido relativo de agua en función del tiempo en el testigo y en el tratamiento de sequía respectivamente, en los cultivares: Trigal 800 (□), Buck Pucará (Δ) y Chasicó INTA (○). Desvio Standard \bar{I} .

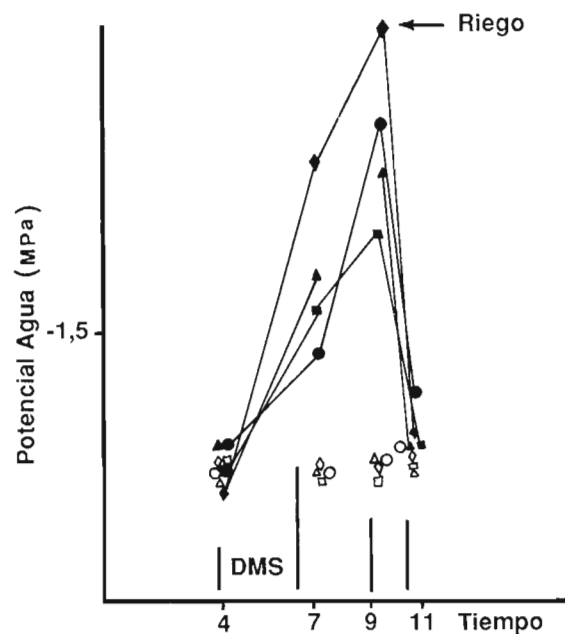


Figura 14. Evolución del potencial agua en función del tiempo transcurrido desde la suspensión del riego en los cultivares: Bordenave Puán(♦), Trigal 800(■), Buck Pucará(○) y Chasicó INTA (▲). Símbolos llenos: Sequía, Símbolos vacíos: Riego.

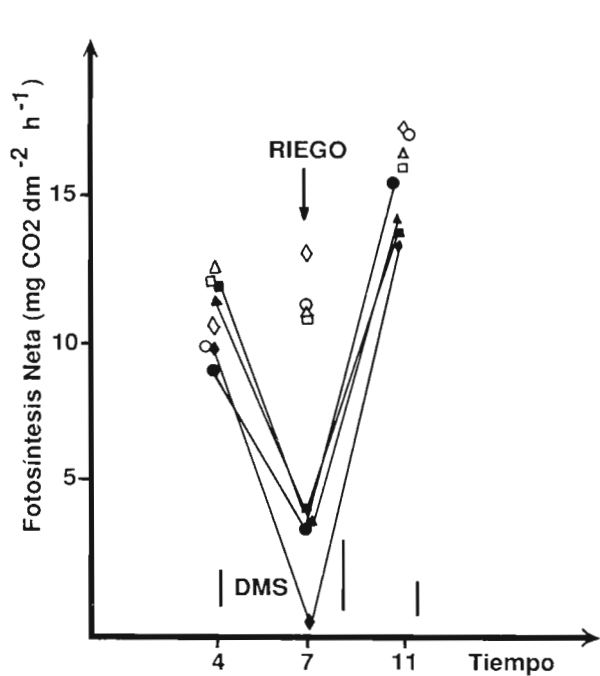


Figura 15. Evolución de la fotosíntesis neta en función del tiempo transcurrido desde la suspensión del riego en los cultivares: Bordenave Puán (◊), Trigo 800 (■), Buck Pucará (●) y Chasicó INTA (▲). Símbolos llenos: Sequía, Símbolos vacíos: Riego.

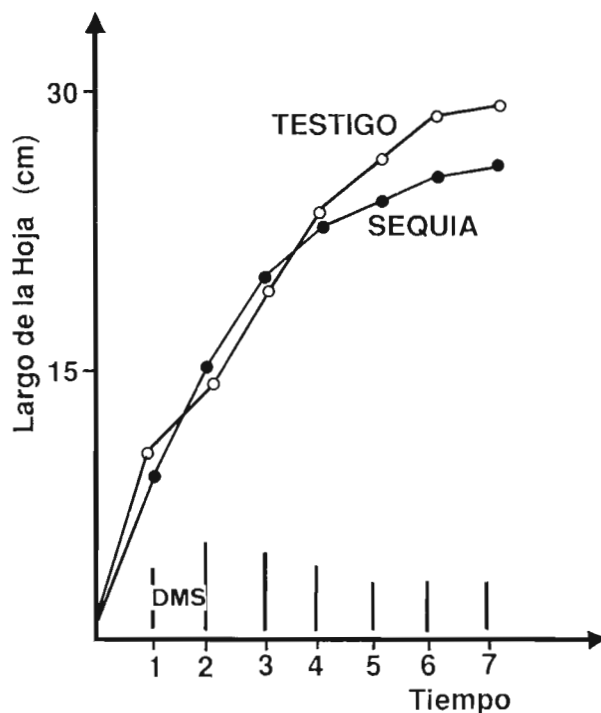


Figura 16. Evolución del largo de la hoja 4 en función del tiempo, a partir del momento de aparición de la misma.

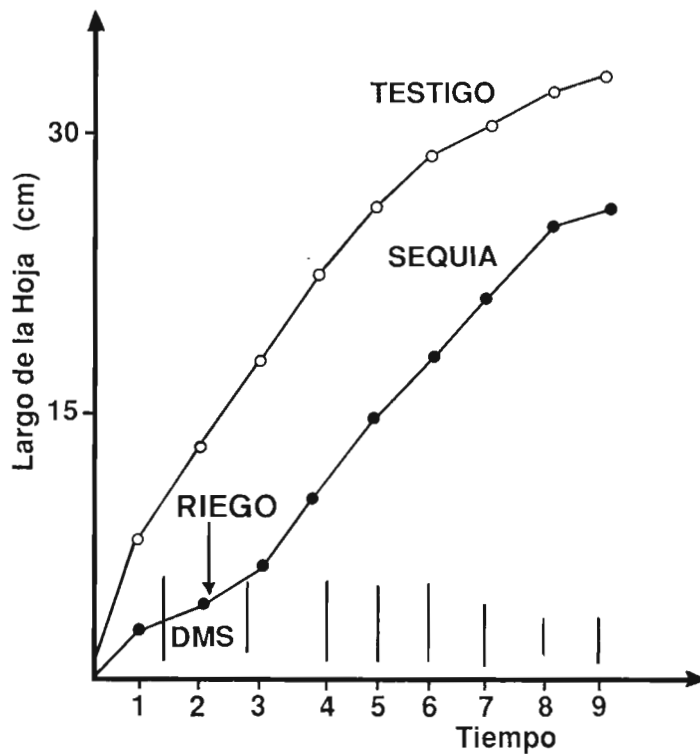


Figura 17. Evolución del largo de la hoja 5 en función del tiempo, a partir del momento de aparición de la misma.

RELACIONES HIDRICAS Y COMPORTAMIENTO GENOTIPICO EN TRIGO: II. Ensayo 1988

A.D. Golberg¹, R. Peinetti², C. Cabeza²
A. Kin² y H. Paccapelo²

¹E.E.A. Anguil. INTA y Facultad de Agronomía Universidad Nacional de la Pampa
Casilla de Correo 300

²Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de La Pampa

Resumen

La estabilidad de la producción triguera de la región semiárida pampeana es baja debido a las sequías recurrentes que afectan el cultivo en diferentes estados fenológicos. Se considera necesario una colaboración fitomejorador-fisiólogo vegetal con el objeto de producir cultivares que posean resistencia a la sequía y a la vez buenos rindes.

En este ensayo se evalúa el comportamiento de los parámetros hídricos y el rendimiento de 11 líneas de trigo y una de triticale bajo condiciones de secano y de riego. Se efectuaron determinaciones de la longitud foliar, ángulo foliar, temperatura foliar y potencial hídrico. También se determinó el rendimiento, alguno de sus componentes y el índice de cosecha. La estabilidad de las estructuras membranas fue analizada por medio del índice de preservación de Sullivan.

La comparación del comportamiento de los 12 genotipos con respecto a los parámetros detallados precedentemente permitió realizar un cuadro de sensibilidad relativa a la sequía del material estudiado.

Introducción

El ciclo de ensayos iniciado en 1988 fue programado teniendo en cuenta los resultados obtenidos precedentemente, en los cuales las variedades comparadas no mostraron diferencias de comportamiento con respecto a la evolución de los parámetros hídricos considerados. La hipótesis que se elaboró tenía en cuenta la posibilidad de una escasa variabilidad del material utilizado comercialmente con respecto a su comportamiento frente al déficit hídrico.

La verificación de esta hipótesis hubiera significado la prosecución de los ensayos con otros cultivares durante un lapso prolongado, con la posibilidad de que si nuestra hipótesis era acertada, nuestro aporte al mejoramiento de la resistencia a la sequía hubiera sido nulo. En 1988 decidimos mantener en lo esencial la línea de trabajo establecida en 1986 pero comenzar a trabajar con material en proceso de selección, proporcionado por los fitomejoradores interesados en nuestra óptica de trabajo. Es así que durante el último año se ensayaron 11 líneas de trigo y una de triticale proporcionadas por los grupos de fitomejoramiento de trigo de las E.E.A. INTA Bordenave y Marcos Juárez.

Los objetivos de esta nueva etapa son los siguientes.

- Contribuir al proceso de fitomejoramiento del trigo en relación a la resistencia a la sequía, suministrándole el fitotecnista información sobre el comportamiento de los diferentes genotipos en curso de selección.

- Evaluar en diferentes condiciones de crecimiento (a campo, en invernáculo, en cámara de crecimiento) distintos parámetros que puedan ser utilizados para verificar la "performance" del material vegetal, otorgándole preeminencia a aquellos de fácil y rápida determinación.
- Realizar aportes al conocimiento del comportamiento de los genotipos argentinos en relación al estrés hídrico.

Desde el punto de vista metodológico debieron realizarse ajustes. Algunos parámetros que se midieron precedentemente con la conductancia estomática (Gs), constituye una medida cuya determinación es relativamente lenta y que varía considerablemente en el tiempo. La variación de dicho parámetro (Gs) no hubiera permitido realizar mediciones comparables debido al número de observaciones que debían realizarse. En este ensayo se incorporaron dos nuevos test: largo de hoja y ángulo foliar, los cuales habían sido previamente evaluados en cámara de crecimiento (Peinetti 1987), determinándose también la temperatura foliar, parámetro medido en 1986, pero en 1988 la medida fue expresada como diferencia entre la temperatura del aire (Ta) y la temperatura foliar (Tf). La medida de temperatura foliar, o de la canopia ha mostrado ser una herramienta útil en el proceso de selección de genotipos resistentes a la sequía (Blum et al. 1982).

La pequeña superficie de las parcelas en el diseño experimental adoptado este año, impidió la determinación de la evolución del contenido de humedad edáfico. Solamente se consignan como una forma de inferir los desbalances entre la precipitación y la evapotranspiración, los datos de lluvias caídas durante el período de ensayo y la evapotranspiración calculada a partir de la evaporación del tanque tipo A (Doorembos et al 1986).

Materiales y métodos

Las líneas de trigo enviadas por la E.E.A. INTA Bordenave fueron las siguientes 7221, 7216, 7171, 12102, 12094, 9906, 9908, 9925; de la E.E.A. Marcos Juarez, se incluyeron las líneas, LAJ 2965, LAJ 2852, LAJ 2955. También se incluyó la línea de triticales 12066 enviada por Bordenave.

Las tres líneas que aparecen subrayadas, si bien fueron enviadas por Bordenave, pertenecen a la colección del CIMMYT.

La siembra se efectuó el 29 de junio de 1988 en parcelas de 0.90 por 2.25 m, con un distanciamiento entre plantas de 15 cm. El diseño experimental adoptado fue el de bloques completos al azar con tres repeticiones.

Separado por una calle de 10 m se ubicó un diseño similar, el cual fue irrigado semanalmente y hasta dos veces por semana durante los meses de Octubre y Noviembre. El riego fue realizado por medio de dos aspersores ARI, los que producían un caudal de 625 L/h a una presión de 2,5 kg/cm². La dosis de riego aplicada semanalmente fue estimada en base al dato de deficiencia hídrica calculada como la diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración potencial determinada a partir de la evaporación del tanque tipo A, de acuerdo a la metodología desarrollada por Doorembos et al (1986).

El 1 de setiembre cuando la quinta hoja se encontraba plenamente expandida en el macollo principal, se inició el ciclo de mediciones:

- Largo total de la hoja (Lf): Se midió una planta por parcela (3 por genotipo en cada tratamiento) tomándose en todos los casos la hoja de rango superior plenamente expandida, sobre el macollo.

- **Angulo foliar (A_f):** Las mediciones del ángulo se realizaron empleando un transportador, sobre las mismas plantas utilizadas para la medición del largo foliar. El ángulo medido fue el que formaba la última hoja plenamente expandida con el pseudotallo.
- **Temperatura foliar (T_f):** Se determinó con dos repeticiones por parcela midiéndose sobre la última hoja plenamente expandida a una distancia de 5 cm. Las mediciones se efectuaron al mediodía y se utilizó un termómetro infrarrojo Bernes Instatherm. Simultáneamente con las mediciones de T_f se determinaba la temperatura del aire (T_a) utilizándose en este caso el termómetro de bulbo seco del psicrómetro ventilado Assman.
- **Potencial hídrico foliar (ψ_f):** Las medidas se efectuaron al mediodía, sobre la última hoja plenamente expandida de una planta por parcela, por medio de la prensa de membrana.
- **Índice de preservación de Sullivan (1972):** Fue determinado mediante la metodología señalada por Blum y Ebercon (1982), tomándose segmentos foliares de 2cm por 1cm del tratamiento riego. La muestra estuvo compuesta por tres segmentos foliares tomados de la última hoja plenamente expandida. La determinación se realizó cuando los diferentes genotipos estaban en antesis.
- **Rendimiento y componentes del rendimiento:** Se determinó el rendimiento por planta, cosechándose de cada parcela las espigas provenientes de 5 plantas tomadas al azar. Sobre las mismas plantas se determinó el número total de macollos y espigas.
- **Análisis estadísticos:** Los datos de L_f ; A_f ; T_a - T_f y ψ_f se analizaron en cada día de medición por medio de ANOVA en un esquema factorial. La separación de medias se realizó por medio del test de Tuckey. Los casos en que se verificó significancia de la interacción genotipo X tratamiento, fueron tratados por medio de análisis de grupos de experimentos (Pimentel Gomez, 1978).

La significancia estadística de los porcentajes de preservación en Sullivan fue también analizada mediante ANOVA.

Los datos de rendimiento, número de macollos y número de espigas también fueron analizados mediante ANOVA, Tuckey y análisis de grupos de experimentos cuando las interacciones genotipo X tratamiento fueron significativas.

Resultados y discusión

Solamente se registraron dos lluvias importantes en dicho ciclo. Podría inferirse que las plantas del tratamiento seco crecieron bajo limitaciones hídricas.

La lluvia de principios de noviembre, que alcanzó al cultivo en estado de antesis permitió la conclusión de las fases reproductivas sin que la producción de granos fuera reducida.

El Cuadro 1 sintetiza los análisis estadísticos de la longitud foliar realizados en diferentes días de medición. Puede observarse que se han registrado diferencias significativas (al nivel de 5%) entre el tratamiento riego y el de seco los días 7/X y 14/X. En el CUADRO 2 se representan las medias de los genotipos que difirieron significativamente entre riego y seco, en las fechas en que la interacción tratamiento (riego-seco) por genotipo fue significativa. Puede apreciarse que de los 12 genotipos ensayados sólo muestran diferencias significativas en el largo promedio de la hoja el 7171, 9906, 9925, y 12066, correspondiendo este último a la línea de triticales ensayada. El 9906 muestra diferencias significativas en dos fechas de medición. Las fechas en que pudieron verificarse interacción significativa, posiblemente correspondan a los períodos en que la deficiencia hídrica fue más marcada, tal como indicada por el importante aumento de ETP.

El ángulo foliar fue una medida cuya realización a campo presentó considerables dificultades, los fuertes vientos registrados durante los días de medición obligaron muchas veces a tomar la hoja con la mano para que esta no se moviera, y esta acción pudo alterar en varios grados la exactitud de la medida; la cual se efectuaba simultáneamente con la de la longitud foliar.

De las 12 fechas en que se midió el ángulo foliar, sólo se verificó diferencias significativas entre las plantas regadas y las de secano el 1/9 Riego 31,9º; Secano 28,1º. El 7/9 el análisis estadístico mostró una interacción genotipo x tratamiento significativa para la línea de triticale (12066) Riego 41º y Secano 17,4º.

La temperatura foliar (CUADRO 3) en ningún caso fue superior a la del aire, podría inferirse a partir de esta observación que el efecto de enfriamiento producido por la transpiración estuvo presente y que por lo tanto al menos durante los períodos de medición, no existieron limitaciones importantes de la conductancia estomática. El 27/X y el 31/XI (T_a-T_f) de riego fue significativamente mayor que en sequía, en la última fecha estas diferencias fueron muy importantes.

En el CUADRO 4 se consignan los datos de T_a-T_f de los diferentes genotipos que mostraron diferencias significativas en la interacción genotipo por tratamiento. Puede observarse que de los 12 genotipos solo 2 (líneas 12102 y LAJ 2955) no mostraron diferencias significativas entre riego y secano.

Los valores del ψ_f (CUADRO 5) fueron en aumento conforme aumentaba la demanda hídrica de la atmósfera, lo cual puede inferirse de la Figura 1. Las lluvias de setiembre y noviembre aparentemente no alcanzaron a compensar la evapotranspiración de un invierno muy seco y el fuerte aumento de la demanda evaporativa de la primavera. Los riegos efectuados en noviembre no alcanzaron a elevar significativamente los potenciales hídricos de las plantas con respecto a las de secano.

En el CUADRO 6 pueden observarse los valores ψ_f de los diferentes genotipos cuyos potenciales difirieron significativamente entre riego y secano cuando el análisis de grupos de experimentos mostró significancia de la interacción tratamiento por genotipo.

La estabilidad de las estructuras membranas inferida por medio de los porcentajes de preservación de Sullivan (1972) no mostraron diferencias significativas en los diferentes genotipos analizados estadísticamente.

Sin embargo, si se colocan dichos porcentajes en forma decreciente (CUADRO 7), puede observarse que entre los cuatro primeros genotipos cuyos valores fueron cercanos al 100% y los cuatro últimos existen diferencias considerables.

El número total de macollos (CUADRO 8) no mostró diferencias significativas en los distintos genotipos cuando se compara el tratamiento de riego y el de secano. El suministro de riego tampoco tuvo diferencias significativas frente al de secano cuando se analizó en forma global. El número promedio de macollos en el tratamiento de riego fue de 8.0 (C.V. 10%) y el de secano 7.3 (C.V. 10%).

El análisis del rendimiento de 12 genotipos cultivados bajo condiciones de secano y bajo riego (CUADRO 9) permite apreciar que dos de ellos: 9908 y 7721 tuvieron un rendimiento significativamente superior en las parcelas de riego. La línea LAJ 2965 mostró un rendimiento significativamente mayor en secano.

En el CUADRO 10 se sintetiza el análisis global tratando conjuntamente los tratamientos de riego y secano; las medias se han ordenado de manera descendente. Puede observarse que solamente la línea 12102 tuvo un rendimiento significativamente menor que el resto de los genotipos; probablemente la importante variabilidad de la media enmascaró la expresión de las diferencias entre las líneas 7216 que tuvo una producción de 8.63 g/planta y 7171 con 3.34 g/planta existió una diferencia del 39%.

El número promedio de espigas por planta fue de 6.6 (C.V.15%) para el tratamiento riego y de 6.0 (C.V. 15%) en las plantas cultivadas en secano las diferencias no fueron significativas. La interacción tratamiento por genotipo fue significativa; en el CUADRO 11 puede observarse que las líneas 7221 y 9908, cultivadas en secano tenían un número de espigas/plantas significativamente menor que bajo riego.

El peso promedio de 1000 granos analizado globalmente mostró diferencias significativas entre los tratamiento de riego 26.75 g y de sequía 31.63 g.

Probablemente existieron otros componentes del rendimiento que compensaron estas diferencias evitando que se expresen en los rindes. En este caso no existió significancia de la interacción tratamiento por genotipo.

Las plantas que crecían en las parcelas de riego tenían una relación granos/biomasa vegetativa significativamente inferior al tratamiento de secano: riego 0.59, secano 0.68. Puesto que los rendimientos en los tratamientos riego/secano no difirieron significativamente, la diferencia observada en el índice de cosecha muestra que las plantas bajo riego produjeron mayor biomasa vegetativa en relación a las de secano.

Conclusiones

El CUADRO 12 trata de sintetizar las principales observaciones realizadas con respecto al comportamiento de los genotipos, ordenándolos de manera descendente en relación a su sensibilidad. La línea 9908 mostró diferencias significativas entre riego y secano en los parámetros hídricos y también en el número de espigas por planta y en el rendimiento. La 7216 tuvo diferencias significativas en los parámetros hídricos y en el rendimiento, mientras que en la 7221 las diferencias se dieron en los parámetros hídricos y en el número de espigas por planta. Luego se observaron las líneas 9906, 12066, 7171, y 9925 cuyo diferente comportamiento entre riego y secano de algún parámetro hídrico puede asociarse con el largo de la hoja.

Las líneas LAJ 2852, 12094, LAJ 2955 Y LAJ 2965 sólo muestran diferencias en ambos o en uno de los dos parámetros hídricos determinados. Finalmente en la línea 12012 no existió ninguna diferencia en su comportamiento en riego y secano.

Debe destacarse que la línea 12012, que mostró la menor sensibilidad a la deficiencia hídrica, fue la que mostró el menor rendimiento de todos los genotipos ensayados. Este es un hecho ya muy conocido. Las plantas resistentes al déficit hídrico no son por lo general las más rendidoras cuando crecen sin limitaciones hídricas. Por tal razón Blum (1983) recomienda en el proceso de fitomejoramiento del trigo una metodología en la cual se seleccionaran separadamente hasta el nivel de F5 los genotipos resistentes a sequía y los de alto rendimiento, estos últimos siguiendo los procesos tradicionales de los fitomejoradores; recién a nivel de F6 se trataría de reunir las características de alto rendimiento y de resistencia.

Desde el punto de vista metodológico es posible hacer las siguientes apreciaciones: las mediciones seriadas como se realizaron en este ensayo demandan un tiempo considerable y producen un cúmulo de datos que luego no muestran relevancia. La realización de mediciones de diferentes parámetros en distintas fechas impide la realización de correlaciones que muchas veces tienen gran

conveniente concentrar las medidas en períodos significativos (estrés y posteriormente a una lluvia) y realizar todas las mediciones de manera simultánea.

La medición del ángulo foliar, parámetro muy difícil de medir a campo no es de mucha utilidad. La determinación de la longitud foliar (Lf) podría cambiarse por el incremento en longitud, midiendo la longitud de una hoja determinada varias veces al día; el test probablemente ganaría sensibilidad.

Bibliografía

Blum, A.; Mayer,; Gonzlan, G. 1982. Infrared thermal sensing of plant canopies as a screening technique for dehydration avoidance in wheat. *Planta Cell Environ.* 6:219-225.

Blum, A.; Ebercon, A. 1981; Cell membrane stability as a measure of drought and heat tolerance in wheat. *Crop Sci.* 21:43-47.

Blum, A. 1983. Genetic and physiological relationships in plant breeding for drought resistance. *Agricultural Water Management.* 6:195-205.

Doorembos, J.; Kassam, A.H.; Bentuelsen, C.L.M.; Branscheid, V.; Plusjé, J.M.G.; Smith, M.; Vittanbogaard, G.O.; Van Der Vaal, H.K. 1986. Efecto del agua sobre el rendimiento de los cultivos. F.A.O. Roma. 212 pp.

Inventario integrado de los recursos naturales de la provincia de La Pampa. 1980. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Provincia de La Pampa.

Peinetti, R. 1987. Comparación de variedades y características de la evolución del ángulo foliar frente al estrés hídrico en *Triticum aestivum* L. Memoria presentada en vista de la obtención del certificado en Ciencia Agronómicas. Faculté des Sciences Agronomiques. Université Catholique de Louvain (Belgica) 123 pp.

Sullivan, C.Y. 1972. Mechanisms of heat and drought resistance in grain sorghum and methods of measurement. Enc: N.G.P. Rao (Eds). *Sorghum in the Seventies.* Oxford & IBH Publishing Co. Nueva Dehli. India.

Water Parameter Relationships to Wheat Performance: II. 1988 Trial

The stability of wheat production in the semi-arid Pampa region is low because of the drought that affects the crop in different stages of the growth cycle. A collaboration between breeder and physiologist is considered necessary to produce varieties with high-yield and drought resistance.

In a field trial, the performance of eleven wheats and one triticale with regard to water parameters and grain yield was evaluated under irrigated and dryland conditions. Foliar length, leaf angle, leaf temperature, water potential, yield and yield components, and harvest index were determined. The stability of the membrane structures was analyzed using Sullivan's preservation index.

Based on the performance of these 12 genotypes with regard to the above mentioned parameters, a table on relative sensitivity to drought was designed.

Cuadro 1. Longitud foliar (cm) del trigo cultivado bajo riego y seco en diferentes fechas de medición.

	Fecha de medición									
	1/9	7/9	14/9	16/9	26/9	30/9	7/10	14/10	9/10	26/10
Riego	7.3 a	6.9 a	14.1 a	7.2 a	12.2 a	19.4 a	23.3 a	20.9 a	19.1 a	17.8 a
Secano	7.5 a	9.5 a	13.9 a	7.3 a	11.1 a	18.1 a	19.8 b	18.1 b	18.6 a	17.8 a

En todos los casos letras diferentes indican diferencias significativas en el test de Tuckey.

Cuadro 2. Longitud foliar (cm) de genotipos de trigo que mostraron diferencias significativas en distintas fechas de medición.

Fecha de medición		Genotipos			
		7171	9906	9925	12066
7/9	Riego	8.7	-	-	11.7
	Secano	4.3	-	-	5.7
10/9	Riego	-	12.9	-	-
	Secano	-	8.3	-	-
14/9	Riego	-	18.6	16.8	-
	Secano	-	13.2	13.0	-

Cuadro 3. Diferencias ($T_a - T_f$) entre la temperatura del aire (T_a) y la temperatura foliar (T_f) del trigo cultivado bajo riego y en seco, en diferentes fechas de medición. Unidad °C.

	Fecha de medición				
	27/10	1/11	3/11	18/11	23/11
Riego	3.2 a	1.9 a	6.2 a	4.8 a	4.6 a
Secano	2.3 b	1.9 a	3.3 b	4.8 a	4.7 a

En todos los casos letras diferentes indican diferencias significativas en el test de Tuckey.

Cuadro 4. Valores de T_a-T_f (°C) de los genotipos que mostraron diferencias significativas entre Riego y Secano.

	Genotipos									
	7221	7216	7171	12094	9906	9908	9925	LAJ 2852	LAJ 2955	12066
Riego	6.5	6.5	5.7	6.4	7.5	6.7	6.4	6.4	4.7	4.2
Secano	3.8	3.1	3.8	2.4	3.1	2.9	3.8	1.8	3.1	4.1

En todos los casos letras diferentes indican diferencias significativas en el test de Tuckey.

Cuadro 5. Valores de potencial hídrico foliar ψ_f (MP_a) de diferentes líneas de trigo bajo riego y secano.

	Fecha de medicion						
	17/10	20/10	24/10	28/10	8/11	18/11	23/11
Riego	0.83 a	0.80 a	0.83 a	1.05 a	1.42 a	1.84 a	1.89 a
Secano	0.92 b	0.91 b	0.90 b	1.26 b	1.84 b	1.87 a	1.99 a

En todos los casos letras diferentes indican diferencias significativas en el test de Tuckey.

Cuadro 6. Potencial hídrico foliar de diferentes genotipos de trigo que mostraron diferencias significativas entre riego y secano.

	Genotipos						
	7221	7216	9906	9908	LAJ 2965	LAJ 2852	12066
Riego	1.60	1.45	1.42	1.50	1.38	1.45	0.93
Secano	1.93	2.07	1.85	2.05	1.87	2.43	1.55

Cuadro 7. Porcentaje de preservación de Sullivan de diferentes genotipos de trigo.

	9906	LAJ 2955	9925	12094	7216	Genotipos		12102	7221	7171	LAJ	12066 2965
						9908	LAJ 2852					
%	99.9 a	99.8 a	99.7 a	99.3 ab	98.8 ab	98.7 ab	98.5 ab	98.2 ab	96.5 ab	96.1 ab	94.4 ab	91.1 b

En todos los casos letras diferentes indican diferencias significativas en el test de Tuckey.

Cuadro 8. Número de macollos (promedio/planta) de diferentes genotipos de trigo cultivados bajo riego y en seco. R (riego) S (secano).

	7221	7216	7171	12012	12094	Genotipos		9925	LAJ 2965	LAJ 2852	LAJ 2955	12066
						9906	9908					
R	7.9	9.3	9.7	7.9	8.3	8.1	8.1	6.3	7.8	8.1	8.9	6.3
S	5.9	7.3	7.4	7.9	9.3	7.5	5.7	6.6	8.7	6.4	8.9	5.7

Cuadro 9. Rendimiento de 12 genotipos de trigo cultivado en riego y seco (unidad: g/planta).

	7221	9906	12094	9908	Genotipos		7221	LAJ 2955	LAJ 2852	12066	7171	12012
					LAJ 2965	9925						
Riego	8.96 a	8.27 a	6.20 a	8.92 a	4.77 a	6.04 a	7.54 a	4.80 a	5.27 a	3.81	3.09 a	2.36 a a
Secano	8.30 a	8.48 a	8.39 a	4.51 b	7.64 b	6.36 a	4.63 b	5.59 a	4.91 a	4.90	3.58 a	2.92 a a

En todos los casos letras diferentes indican diferencias significativas en el test de Tuckey.

Cuadro 10. Rendimiento (g/planta) analizando en forma conjunta los tratamientos riego y secano para 12 genotipos.

	7221	9906	12094	9908	Genotipos		7221	LAJ 2955	LAJ 2852	12066	7171	12012
					LAJ 2965	9925						
Rendi- miento	8.6	8.4	7.3	6.7	6.2	6.2	6.1	5.2	5.1	4.4	3.3	2.6

Cuadro 11. Número de espigas por plantas de los 12 genotipos y para los tratamiento riego y secano.

	7221	7216	7171	12102	Genotipos			9925	LAJ 2965	LAJ 2852	LAJ 2955	12066
					12094	9906	9908					
Riego	7 a	8 a	7 a	5 a	6 a	7 a	7 a	6 a	6 a	7 a	8 a	5 a
Secano	5 b	7 a	6 a	6 a	7 a	7 a	5 a	6 a	7 a	5 a	7 a	5 a

En todos los casos letras diferentes indican diferencias significativas en el test de Tuckey.

Cuadro 12. Sensibilidad relativa al estrés hídrico de 12 genotipos de trigo. T_a-T_f ; temperatura del aire-temperatura foliar, ψ_f ; potencial hídrico foliar, L_f ; largo foliar. A_f ; ángulo foliar; N_e/p ; número de espigas por planta, R ; rendimiento.

Genotipos	ψ_f	T_a-T_f	L_f	N_e/p	R
9908	X	X		X	X
7216	X	X			X
7221	X	X		X	
9906	X	X	X		
12066	X	X	X		
7171		X	X		
9925		X	X		
LAJ2852	X	X			
12094		X			
LAJ2955		X			
LAJ2965	X				
12102					

DEFENSA ANTIOXIDANTE EN CULTIVARES DE MAÍZ Y TRIGO RESISTENTES Y SENSIBLES A LA SEQUÍA

Victorio S. Trippi, Gabriela Pastori y Claudio González

Laboratorio de Fisiología Vegetal
Casilla de Correo #395,
5000 Córdoba, Argentina

Resumen

Se estudió en hojas de cultivares de maíz y trigo resistentes y sensibles a la sequía, el comportamiento del sistema antioxidante constituido por las enzimas superóxido dismutasa, catalasa, ascorbato peroxidasa y glutatión reductasa y de otros parámetros. Los resultados muestran que los cultivares resistentes al estrés hídrico poseen un sistema de defensa antioxidante más eficiente que los cultivares sensibles. Ello a juzgar por el mejor nivel de las relaciones superóxido dismutasa/catalasa y superóxido dismutasa/ascorbato peroxidasa que permiten mantener bajos los niveles de H₂O₂. Asimismo, por el comportamiento de otros indicadores como el nivel de grupos -SH proteicos y carotenos. En ambos casos, el aumento temprano de la permeabilidad de las membranas se asocia a la mayor susceptibilidad al estrés hídrico.

Introducción

En trabajos previos pudo establecerse que el efecto senescente del estrés hídrico sobre las hojas de avena se manifiesta con un aumento de oxidaciones celulares reflejadas en un aumento de malondialdehído y disminución de clorofilas. Dichos parámetros conocidos como indicadores del desarrollo de la senescencia también evolucionan bajo los efectos de la presión de O₂ por encima de 0,5% bajo condiciones de luz y se manifiestan como un aumento de la permeabilidad y una disminución de nucleótidos (Trippi et al., 1989). Los resultados permiten suponer que el contenido de agua de los tejidos actúa como defensa contra las oxidaciones debido a la poca solubilidad de O₂ en agua. Por lo tanto, la falta de agua en el tejido permitiría el fácil acceso del O₂ a la célula provocando oxidaciones que deterioran la funcionalidad celular. Esta idea nos llevó a probar nuestra hipótesis de trabajo en cultivares resistentes y sensibles de maíz y trigo considerando particularmente lo que puede llamarse el sistema antioxidante de las células.

El sistema antioxidante

Bajo condiciones normales de funcionamiento en las hojas se forman diversas especies desde el O₂ conocidas por su alta reactividad y toxicidad. Estas son el oxígeno singulete (¹O₂), el anión superóxido (O₂⁻), el peróxido de hidrógeno (H₂O₂) y el radical hidroxilo (OH·). Todas las especies pueden provocar la oxidación de lípidos constituyentes de las membranas, particularmente actuando sobre los ácidos grasos insaturados como linoleico (18:2) y linolénico (18:3). También pueden provocar la degradación de proteínas, ácidos nucleicos y nucleótidos.

El ¹O₂ se genera por la interacción triplete-triplete entre clorofilas excitadas y el O₂; el anión superóxido, cuando desde la ferredoxina u otro sistema se mueve un electrón hacia el O₂; el H₂O₂ por dismutación del anión superóxido (O₂⁻ - H₂O₂) y el radical hidroxilo (OH·) a partir del H₂O₂ con interacción de Fe⁺⁺ asociado a membranas, reacción conocida como reacción de Haber-Weiss (Figura 1).

La producción de dichos derivados tóxicos del O_2 , se incrementa bajo condiciones de estrés y el tejido foliar se defiende contra su acción mediante su sistema antioxidante.

El sistema de defensa consiste de un grupo de sustancias capaces de reaccionar prioritariamente con las especies activas del O_2 y de un grupo de enzimas que tienden a degradar particularmente el H_2O_2 del tejido y a mantener el sistema reducido. La inactivación del oxígeno singlete (1O_2) se produce fundamentalmente con la participación de carotenoides los que disipan el exceso de energía como calor, y el α -tocoferol. Este último también puede reaccionar con anión superóxido inactivándolo. Por lo que concierne al radical hidroxilo, las poliaminas, putrescina y cadaverina son prioritarias para reaccionar con dicho radical.

La generación del peróxido de hidrógeno en general tiene lugar por dismutación espontánea o catalizada por la enzima superóxido dismutasa (SOD) del anión superóxido. En efecto, la enzima SOD puede considerarse como indispensable para la adaptación de los organismos a condiciones ricas en O_2 , o ambientes aeróbicos bajo los cuales se genera el anión superóxido. La formación del H_2O_2 no significa un modo de prevenir las oxidaciones celulares, por cuanto esta sustancia es también un oxidante fuerte. Sin embargo, la alta difusibilidad de la sustancia, permite que otros sistemas enzimáticos controlen sus niveles endógenos. La enzima catalasa (CAT) ubicada en los peroxisomas degrada el H_2O_2 – $H_2O_2 + O_2$ y las enzimas glutatión peroxidasa y ascorbato peroxidasa (ASC. PEROX.) ubicadas en cloroplastos hacen similar trabajo usando glutatión reducido y ácido ascórbico, respectivamente. El glutatión oxidado, producto de la reacción catalizada por la peroxidasa, es reducido nuevamente por la participación de la enzima glutatión reductasa utilizando poder reductor del $NADPH_2$. Asimismo, a partir del glutatión reducido puede regenerarse el ácido ascórbico a partir del dehidroascórbico con participación de la enzima dehidroascorbato reductasa (DHRE). La importancia de los grupos -SH en el sistema antioxidante resulta no sólo de su participación en el sistema de degradación del H_2O_2 , sino también por ser parte constitutiva de enzimas como la nitrato reductasa, ATPasa, etc. cuya actividad depende del estado oxidado (G-SS-G) o reducido del grupo -SH (G-SH).

En virtud que el nivel de H_2O_2 es probablemente el factor de daño oxidativo más común, la relación de la actividad SOD/CAT y SOD/ASC. PEROX. son los índices que mejor revelan la eficiencia del sistema enzimático antioxidante. A ello pueden sumarse los niveles en grupos -SH y la actividad glutatión reductasa.

Resultados en maíz

Los estudios en maíz se realizaron sobre plántulas de 7 días de donde se extrajeron discos foliares los que fueron sometidos a tratamientos por 48 horas. Las condiciones fueron de 5% y 100% de O_2 flotando en agua destilada y sometidos a estrés ósmótico de manitol 0,5 M. Los cultivares comparados fueron el resistente a sequía LIZA y el sensible a sequía LG11.

El análisis de los resultados muestra que el cv. LIZA resistente a la sequía posee un sistema de defensa antioxidante más eficiente que el cv. sensible LG11. Ello se evidencia en el mantenimiento de la relación SOD/CAT y SOD/ASC. PEROX. con variaciones significativamente menores en el cv. LIZA resistente que en LG11, así como en la capacidad para conservar una alta actividad de la enzima glutatión reductasa responsable de mantener en función el sistema antioxidante. El contenido en grupos -SH particularmente en la fracción proteica fue otro de los parámetros estudiados que favorece a la línea resistente a la sequía (Figura 2, Cuadro 1).

Por lo que concierne a los parámetros de senescencia, todos ellos evidencian un mejor comportamiento en condiciones de estrés para el cv. resistente LIZA. Es decir, un mayor contenido en clorofilas, y menor formación de malondialdehído (indicador de la peroxidación de lípidos) así como menor incremento de la permeabilidad de las membranas cuando el material es sometido a estrés oxidativo o combinado con estrés hídrico.

Resultados en trigo

En trigo el material experimental consistió de fragmentos foliares de 3 cm, previo despuntado de 0,5 cm, tomados de la primera hoja de plantas de 7 días de edad. Los cultivares comparados fueron Cruz Alta de excelente comportamiento bajo sequía y Leones considerado sensible al estrés hídrico. Ambos cultivares cedidos por la Estación Experimental de Marcos Juárez, Córdoba, Argentina.

El análisis de los resultados muestra que el cultivar Cruz Alta de buen comportamiento bajo sequía, posee un sistema antioxidante más eficiente que el cultivar LEONES. Ello se evidencia en el mejor mantenimiento de la relación SOD/CAT y SOD/ASC. PEROX. responsable del control de los niveles endógenos de H₂O₂. Asimismo, en lo que se refiere a la actividad glutatión reductasa y a los contenidos de grupos -SH particularmente en la fracción proteica, ambos muestran mejores niveles en Cruz Alta que en Leones cuando son sometidos a condiciones de estrés (Figura 3, Cuadro 2).

Por lo que concierne a los parámetros de senescencia aunque no se han establecido diferencias significativas para los contenidos en clorofilas, carotenos y malondialdehído, los resultados muestran en conjunto valores que denotan una mejor preservación en el cv. Cruz Alta de buen comportamiento bajo condiciones de estrés.

Discusión y conclusiones

Si bien la resistencia a condiciones de estrés hídrico puede resultar de caracteres morfológicos como fisiológicos o combinados, la estabilidad del sistema antioxidante resulta de alguna manera el camino común por el que se dañan las células cuando se produce un déficit hídrico en el tejido. Esto es sostenido por el efecto de la falta de agua en la evolución de diversos parámetros de senescencia como el índice de oxidaciones (malondialdehído), el contenido en clorofilas y la permeabilidad de las membranas.

Teniendo en cuenta que las oxidaciones generan cambios en la permeabilidad de las membranas en dos instancias a saber: 1) por oxidación directa de las membranas y 2) por alterar el metabolismo energético (Trippi et al. 1987), resulta promisorio la medición de las relaciones SOD/CAT y SOD/ASC. PEROX. como control del sistema antioxidante y de la permeabilidad de las membranas como medida del daño efectivo a las células, como sistema simple en los trabajos de selección de plantas resistentes al estrés hídrico. Ello sin contar que son necesarios más estudios con el objeto de determinar la validez de la hipótesis en forma definitiva.

Referencias

Dhindsa, R.S. y Matowe, W. 1981. *J. Exp. Bot.* 32:79-91.

Foyer, C. H. y Halliwell, B. 1976. *Planta* 133: 21-25.

Nakano, Y. y Asada, K. 1981. *Plant Cell Physiol.* 22:867-880.

Slater, T. F. 1972. *Free radical mechanisms in tissue injury.* Pion Ltd, London, pp 41. SBN 85086-031-8.

Trippi, V.S., Gidrol, X. y Pradet, A. 1989. *Plant Cell Physiol.* 30(2):157-162.

Anti-Oxidant Defense System in Drought-Resistant and Susceptible Cultivars of Maize and Wheat

Abstract

The performance of leaves of both drought-resistant and drought-susceptible maize and wheat cultivars was studied utilizing an enzyme-constituted anti-oxidant defense system and other parameters. The results demonstrate that the drought-resistant cultivars possess a more efficient anti-oxidant defense system than susceptible cultivars. The drought-resistant cultivars have a better balance between super-oxide dismutase/catalase and super-oxide dismutase/ascorbate peroxidase, which permits maintenance of low H₂O₂ levels. Also studied were the performances of other indicators such as -SH protein and carotene groups. In both cases, early onset of membrane permeability is associated with high susceptibility to water stress.

Cuadro 1. Relaciones SOD/CAT y SOD/ASC. PEROX. en dos cultivadores de maíz, bajo estrés hídrico y 100% O₂, durante 48 hs en condiciones de luz.

	LIZA	LG11
SOD/CAT		
Valor inicial	0,245	0,143
48 hs	0,290	0,431
Incremento	18%	201%
SOD/ASC. PEROX.		
Valor inicial	0,833	0,695
48 hs	0,789	0,761
Incremento	- 5%	9,5%

Cuadro 2. Relaciones SOD/CAT y SOD/ASC. PEROX. en dos cultivadores de trigo, bajo estrés hídrico y 100% O₂, durante 48 hs en condiciones de luz.

	CRUZ ALTA	LEONES
SOD/CAT		
Valor inicial	1,5	1,77
48 hs	6,76	9,78
Incremento	350%	475%
SOD/ASC. PEROX.		
Valor inicial	326	542
48 hs	212	761
Incremento	-35%	40%

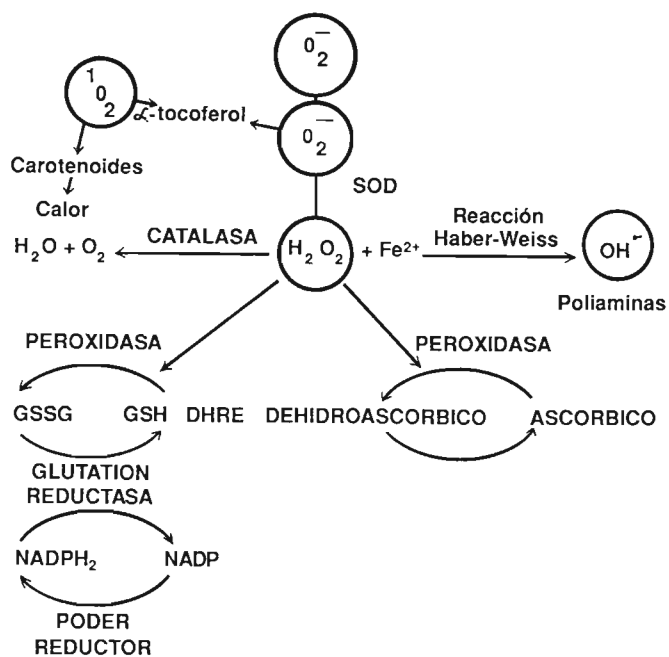


Fig. 1. Representación esquemática de diferentes procesos en el sistema antioxidante.

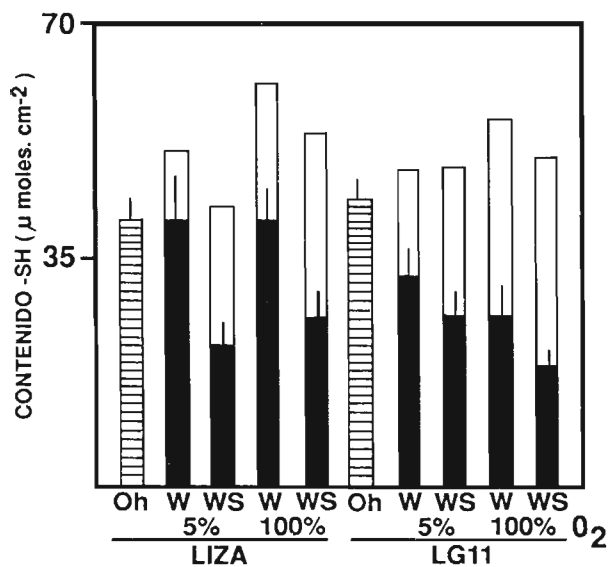


Fig. 2 Efecto del estrés hídrico y oxidativo sobre el contenido de grupos -SH, en dos cv. de maíz, LIZA, resistente, y LG11, sensible al estrés hídrico, durante 48 h en condiciones de luz. Cada valor es el promedio de 3 experiencias. Las barras rayadas y llenas corresponden al contenido de grupos -SH protéicos a las 0 y 48 h respectivamente, y las barras vacías, al contenido de grupos -SH no protéicos. W:control, WS:estrés hídrico

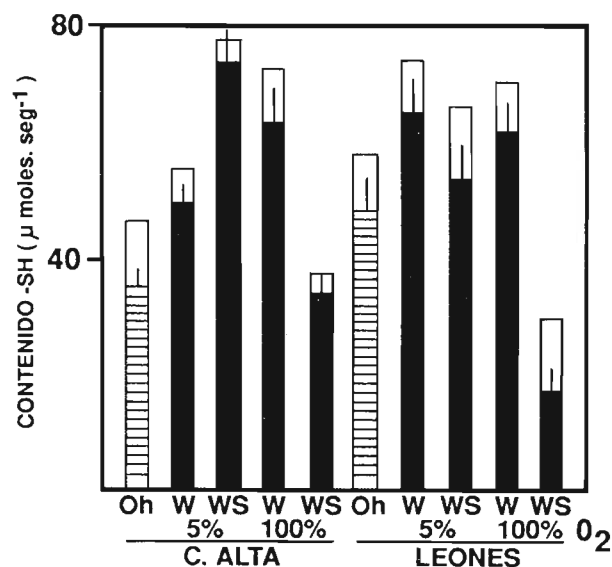


Fig. 3 Efecto del estrés hídrico y oxidativo sobre el contenido de grupos -SH, en dos cv. de trigo, Cruz Alta, resistente, y Leones, sensible al estrés hídrico, durante 48 h en condiciones de luz. Cada valor es el promedio de 3 experiencias. Las barras rayadas y llenas corresponden al contenido de grupos -SH protéicos a las 0 y 48 h respectivamente, y las barras vacías, al contenido de grupos -SH no protéicos. W:control, WS:estrés hídrico

CARACTERÍSTICAS DO ESTADO DO MATO GROSSO DO SUL

Joaquim Soares Sobrinho

Pesquisador da EMBRAPA-UEPAE de Dourados
UEPAE, Caixa Postal 661,
CEP 79800 Dourados, MS, Brasil

Resumo

O estado de Mato Grosso do Sul está situado entre los paralelos 17 y 24°S y entre meridianos 51 y 58°O. De acuerdo a los datos de precipitación de EMBRAPA, la menor cantidad de lluvias ocurren en el sur de estado en las bajadas de Paraguay y valle de Rio Paraná; con una sequía muy marcada en los meses de invierno. El cultivo de trigo es prácticamente la única alternativa durante el invierno en estas regiones y su siembra ha aumentado de sólo 5000 Ha en 1971 a 432,287 Ha en 1987. Al mismo tiempo en rendimiento ha aumentado de 878 kg/ha a 1547 kg/ha.

Introdução

O Mato Grosso do Sul, juntamente com o estado do Mato Grosso constituem a região Oeste do Brasil, perfazendo um total de 1.231.549 km², o equivalente a 14,5% do território nacional. Esta região é constituída hidrograficamente por vários rios das bacias do Amazonas, do Araguaí/Tocantins, Paraguai e Paraná.

O estado do Mato Grosso do Sul está situado entre os paralelos 17 e 24°S e entre os meridianos 51 e 58°W, limita ão Norte com o Mato Grosso e a Leste com Goiás e Minas Gerais, ao Sul com São Paulo e Paraná e a Oeste com a Bolívia e Paraguai.

Caracterização ambiental

No estado do Mato Grosso do Sul as altitudes variam desde 83 a 1.000 m. A localidade de menor altitude está situada no município de Corumbá, na vasta planície do pantanal. As maiores altitudes são encontradas em alguns maciços emergentes nas serras de Urucum e Bodoquena.

De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1975), no Centro-Oeste (Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás), a quantidade média anual de chuvas varia entre 1.020 e 2.025 mm. Sua distribuição durante o ano constitui a principal característica do clima da maior parte da região, com estação seca muito acentuada no inverno e chuvas concentradas nos meses de verão. As menores quantidades de chuvas ocorrem nas zonas de mais baixas altitudes como a baixada do Paraguai e no vale do Rio Paraná, enquanto que as maiores quantidades ocorrem nos chapadoes e maciços isolados. Baseados na classificação climática de Köppen, os autores acima, relatam os seguintes climas na região: Am, Aw, Cwa e Cfa.

De acordo com Antunes (1986) o Am caracteriza-se por ser quente e úmido, por apresentar precipitação elevada, cujo total anual compensa a existência de uma estação seca pouco pronunciada permitindo ainda a existência de formações florestais equatoriais (perenifólias). A precipitação do mes mais seco é normalmente inferior a 60 mm. A ocorrência desse clima dá-se no extremo norte do Estado de Mato Grosso, nas bacias dos rios Jurema e Alto Xingú.

Predominando na região, o clima Aw é caracteristicamente quente com estação chuvosa no verão e seca bem acentuada no período de inverno. Possuindo um regime pluviométrico continental típico. Abrange a maior parte do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Sob esse tipo climático, predominam os campos-cerrados cortados por matas-galerias de fundo de vale. O clima Cwa, mesotérmico, de verões quentes e com estação chuvosa no verão, é clima tropical de altitude que vigora a Sudeste de Mato Grosso. O Cfa, mesotérmico com verões quentes e sem estação seca, vigora no extremo Sul do Mato Grosso do Sul e nos alti-planos da Serra de Maracaju.

Nas tabelas a seguir encontram-se dados meteorológicos de localidades do estado de Mato Grosso do Sul, esses três pontos, podem representar as diferentes condições climáticas do Estado. Na tabela 1 encontram-se os dados de Campo Grande, onde as temperaturas são altas nos meses de janeiro, fevereiro e março, começam a cair em abril, atingindo os menores valores em maio, junho, julho e agosto. Nos últimos meses do ano, setembro, outubro, novembro e dezembro as temperaturas são novamente altas.

A precipitação, umidade relativa e nebulosidade têm o mesmo comportamento das temperaturas, sendo os meses mais secos junho, julho e agosto, onde encontram-se as menores precipitações e as maiores evaporações.

Na Tabela 2 os dados de Dourados mostram a mesma tendência dos dados de Campo Grande, com algumas diferenças em alguns valores, as temperaturas de Dourados, são menores em 1 a 2°C nos meses mais frios. As temperaturas máximas de Dourados são mais altas nos meses mais quentes do ano. Essas diferenças observadas nos valores de temperaturas, provavelmente estejam associadas à velocidade do vento maior em Campo Grande, o que evita que as temperaturas atinjam valores mais baixos na época mais quente do ano.

No período mais seco do ano as precipitações são maiores em Dourados, enquanto que a evaporação é menor, mostrando que à medida que aproxima-se do Norte do Estado a situação de seca é mais acentuada.

Na Tabela 3 encontram-se os dados de Ponta Pora, localizada na região de fronteira com o Paraguai, apresenta em geral os menores valores das temperaturas, onde o período com temperaturas mais amenas é bem maior do que nos outros, mostrando assim condições climáticas mais favoráveis ao cultivo do trigo.

Vegetação

Vários tipos de vegetação foram identificadas na região, da floresta equatorial de ocorrência ao Norte de Mato Grosso, até os campos limpos que predominam no Mato Grosso do Sul, há gradação de paisagens, função de fatores como pluviosidade, latitude, altitude, relevo, solos e mesmo palco-climas.

A floresta equatorial ocupa uma área relativamente pequena no Norte do estado do Mato Grosso. Possui características semelhantes às da floresta equatorial da Amazônia, da qual vai diferindo à medida que se torna mais seca ou subperenifólia, visto que em direção ao sul, o clima de equatorial passa a ser tropical.

Envolvendo como um cinto a equatorial úmida surge a floresta mesófila que embora tenha muitas características da equatorial é nitidamente mais seca, tendo, como marca principal, a maior ou menor perda de folhas na estação seca, que lhe confere o caráter subcaducifólio. Ocorrem na região centro-norte do Mato Grosso e ao Norte do Pantanal.

O cerradão ou floresta xeromorfa, formação mais seca que as florestas anteriores, ocorre no centro de Mato Grosso. Sendo uma versão mais evoluída do cerrado, apresenta as mesmas espécies mas

com alguns indivíduos chegando a atingir de 10 a 12 metros de altura, possuindo copas bem desenvolvidas que chegam a se tocar sem impedir a penetração da luz.

Grande parte do estado de Mato Grosso do Sul se encontra recoberto pelo cerrado, nos seus diversos aspectos fisionômicos, desde o cerrado falo ao cerradão. Em alguns locais como na serra da Bodoquena, no pantanal e nos campos de vacaria da região de Dourados e Ponta Pora, torna-se muito difícil estabelecer os limites entre o cerrado, a mata, o campo limpo e a vegetação chaquenha. Por outro lado, sua estrutura é inconfundível nas áreas em que ocorre de maneira mais contínua, revestindo grandes superfícies tabulares características do relevo da região.

A fisionomia do cerrado, também denominado de savana pelos fitogeógrafos, é muito variável, surgindo com espécies arbóreas de 8 e mesmo de 12 metros, bem próximas umas das outras, com aspecto florestal, ao mesmo tempo que em outras áreas apresentam árvores de 2 a 3 metros de altura, compondo estrato bastante esparso. Entre estas duas variações extremas, observa-se uma gama variada de organizações quanto a parte e densidade. Apesar das variações fisionômicas, o cerrado tem como característica própria a existência de espécies individualizadas comuns a todas as organizações. Possui também características de formação subcaducifólia e em alguns casos, caducifólia. Algumas das espécies comuns no estrato arbóreo e no arbustivo: lixeira (*Curatella americana*); pau-terra (*Qualea* spp.); pau-santo (*Kielmeyera coriacea*); barbatimão (*Stryphnodendron barbatimão*); pequi (*Caryocar brasiliense*). No cerrado é comum a existência de um estrato herbáceo, dominado por gramíneas variadas, das quais sobressaem o capim-flexa (*Tristachya leiostachya*) capim-flexinha (*T. chrysotryx*) e várias outras.

No cerradão predominam os indivíduos componentes dos estratos superiores típicos do cerrado, podendo ocorrer também espécies comuns às florestas tropicais, com a sucupira-da-mata (*Bowdichia* sp.), o jatobá (*Hymenaea* sp.) e o angico (*Piptadenia* sp.).

As formações campestres são tipicamente herbáceas, as vezes com feições de estepes, com plantas isoladas ou em tufos, sob a forma de pradarias, quando as plantas revestem densamente o terreno.

Ao Sudoeste do Planalto Sulmatogrossense ocorre uma mancha contínua que constitui os "campos de vacaria" que caracterizam-se por uma vegetação herbácea ora densa ora rala.

As campinas de várzeas são formações herbáceas que ocupam em geral as baixadas aluviais nos vales de muitos rios do Mato Grosso do Sul.

Complexo do Pantanal é uma expressão utilizada para caracterizar a cobertura vegetal heterogênea e de variações bruscas de diferentes tipos de vegetação que ocorrem na extensa baixada do Pantanal. Três grandes unidades de vegetação na área: as florestas, os cerrados e os campos. As primeiras, com características semelhantes às das florestas equatoriais, apresentam-se sob a forma de florestas galerias, ocupando as planícies de inundação e os alúvies dos rios Paraguai e Cuiabá. Os cerrados, que ocupam cerca de 70% do Pantanal, apresentam-se nos seus diferentes graus: cerradão, cerrado, campo cerrado e campos (limpos ou sujos). Ao Sul, próximo a Porto Esperança, há uma região de transição, onde a vegetação é dominada pelo carandá (*Copernicia australis*) e pelo paratudo (*Tecoma aurea*). Ao Norte do Pantanal, há uma zona periférica cuja característica é a presença frequente de babaquais.

Ao Sul do Pantanal, numa faixa estreita e pouco extensa ao longo do Rio Paraguai, ocorre uma formação semelhante às caatingas, denominadas de "bosques chaquenhos onde a vegetação tem caráter xerófilo, parte arbóreo ou arbustivo-arbóreo, com perdas quase total de folhas na estação seca.

O estado do Mato Grosso do Sul, com uma área de 350.548 km², possui cerca de 10,8% desta área caracterizada pela formação de floresta subúmida. A maior predominância é da área

originalmente coberta pela vegetação de cerrado (51,0%), seguida do Complexo do pantanal (28,5%) e finalmente os campos limpos constituem a vegetação original da menor extensão territorial do Mato Grosso do Sul (9,7%).

Solos

Os solos da região Oeste (Mato Grosso do Sul e Mato Grosso) são originários de diversas formações geológicas e constituem-se nas seguintes classes:

Solos com horizonte B latossólico

- a) Latossolo amarelo distrófico - são solos minerais muito profundos, não hidromórficos, apresentam horizonte A fraco, B latossólico, textura argilosa ou média, ricos em sesquióxidos, porosos, permeáveis, bem drenados e relativamente suscetíveis à erosão. São cauliniticos e têm muito baixo teor de óxido de ferro. Inexistem umidades eutróficas, mas são frequentes unilades álicas. Derivam de sedimentos detríticos de Série Barreiras e são cobertas por floresta equatorial subperenifólia. Ocorrem na região Centro-Norte do Mato Grosso onde ocupa cerca de 7,8% (68.175 km²) da área total do Estado.
- b) Latossolo vermelho-amarelo distrófico - são solos que apresentam características semelhantes aos Latossolos amarelos, porém com maiores teores de óxido de ferro. São distróficos e podem apresentar-se álicos, também. Derivam de sedimentos detríticos retrabalhados de rochas de natureza variável (arenitos, granitos, gnaisses, silticos, argilitos). A vegetação predominante é o cerrado, mas também ocorrem sob florestas caducifólia, subcaducifólia, subperenifólia e vegetação campestre. Ocorre em áreas dispersas ao norte do Pantanal e numa faixa central do estado de Mato Grosso, onde ocupa cerca de 23% da área. No Mato Grosso do Sul sua ocorrência está restrita a cerca de 1% da área.
- c) Latossolo vermelho-escuro distrófico--apresentam características pedogenéticas semelhantes aos latossolos vermelho-amarelos, porém com maiores teores de óxidos de ferros e de manganês. São predominantemente distróficos e fortemente ácidos. Podem também ocorrer os álicos e, mais raramente, os eutróficos. Os teores de argila dispersível em água no horizonte B são ínfimos, o grau de floculação é, em geral, muito elevado. Isto determina suas características de muita porosidade, boa permeabilidade e de bem a fortemente drenados que lhes condicionam reduzida susceptibilidade a erosão. Seu material de origem é referido, principalmente, como detrito retrabalhado e relacionado às rochas de natureza variável. Ocorrem sob vegetação de cerrado em grande parte, bem como sob floresta subperenifólia e subcaducifólia (ambas com babaçu). Ocorrem também, no Mato Grosso do Sul sob vegetação de campo. Ocupam faixas que margeiam o Pantanal a Sudoeste e ao Sul na região de Rondonópolis no estado do Mato Grosso onde a área total ocupada por essa unidade de solo é cerca de 12% da área total. No estado de Mato Grosso do Sul o latossolo vermelho-escuro distrófico é uma das principais unidades pedológicas, ocupando cerca de 94.619 km², ou cerca de 27% da área do Estado; estendendo-se desde a fronteira com o Mato Grosso numa faixa que se estende por toda a região Sul e Sudeste.
- d) Latossolo Roxo distrófico - suas características são semelhantes ao Latossolo vermelho-escuro. Entretanto, o Latossolo Roxo distrófico apresenta teores bem mais elevados de óxidos de ferro, titâneo e manganês; suas cores são mais vermelhas, podendo ser bruno avermelhadas, no A e vermelho escuro acinzentado no B. Compreendem tanto solos distróficos como eutróficos, sendo estes últimos relativamente mais frequentes. São derivados de rochas básicas. Ocorrem em áreas de relevo suave ondulado e plano, sob vegetação de cerrado, campestre e florestais.

Nestas últimas são mais frequentes as unidades eutróficas. No estado de Mato Grosso, esses solos ocorrem a Sudoeste de Nortelândia e ocupam cerca de 0,7% da área total. No Mato Grosso do Sul, 18,0% de sua superfície apresenta esse tipo de solo, os quais se estendem do Sudoeste do Estado às escarpas da Serra de Maracaju.

Solos com horizonte B textural (não hidromórficos)

- a) Terra roxa estruturada eutrófica - são solos minerais não hidromórficos, consideravelmente profundos, argilosos, com horizontes A variando de moderado a chernozêmico, B textural, argila de atividade baixa com predominância de caulinito, baixos teores de silte e ausência de materiais primários de fácil decomposição, são eutróficos e moderadamente a ligeiramente ácidos. Ocorrem sob floresta subperenifólia. Ocupam 0,2% da área do estado de Mato Grosso, já no Mato Grosso do Sul, ocorre normalmente associado às drenagens e mais frequentes junto à Serra da Bodoquena e Serra de Maracaju.
- b) Terra roxa estruturada similar distrófica--suas características são semelhantes às da unidade anterior, entretanto, são predominantemente distróficos e ocorrem sob vegetação campestre e relevo plano. Ocupa 0,3% do estado de Mato Grosso do Sul.
- c) Brunizem avermelhado--solos não hidromórficos medianamente profundos de sequência de horizontes A, Bt, C, com A chernozêmico e B textural. São argilosos, com argila de atividade alta, saturação de bases altas moderadamente ácidos a moderadamente alcalinos, apresentam teores elevados de Ca^{2+} e Mg^{2+} . São bem a moderadamente treinados, permeabilidade lenta no horizonte B e consideravelmente sujeitos à erosão. Derivados de rochas ricas em cálcio (calcário), bem como de rochas básicas, gnaisses de caráter básico, ocorrem em geral sobre floresta caducifólia. Este tipo de solo ocupa cerca de 0,2% e 0,9% das áreas do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, respectivamente.
- d) Podzólico vermelho-amarelo distrófico - são solos não hidromórficos com B textural, textura argilosa ou média com argila de atividade baixa, moderadamente drenados e porosos e bastante susceptíveis à erosão. São pobres em bases trocáveis e, na fração argila predomina a caulinita, sendo elevados os teores de goetita. Desenvolvidos a partir de arenitos, xistos e filitos, sob relevo plano a fortemente ondulado, sob vegetação de floresta subcaducifólia e cerrado. Ocupam cerca de 20% do Mato Grosso do Sul e 7% da área total do Mato Grosso, ocorrendo em manchas a Noroeste, Sudeste e Sul desse Estado.
- e) Podzólico vermelho-amarelo eutrófico--esse distingue do anterior por: apresentar média a alta saturação em bases, serem originados de gnaisses ricos em minerais ferromagnesianos, calcários e sedimentos ricos em carbonatos. Ocupa apenas 0,05% do Mato Grosso e 7% do Mato Grosso do Sul, onde sua distribuição está associada às Serras de Bodoquena e Maracaju, ocorrendo também próximo a Paraíba e ao Sul junto à divisa do Paraguai.

Solos com horizonte B textural (hidromórficos)

- a) Laterita hidromórfica distrófica--são solos imperfeitamente drenados, com A moderado e B textural ou latossólico ou cambrico sobre B plínthico. Possui textura variável, argila de atividade baixa, saturação de bases baixa e alta saturação de alumínio. Ocorrem em relevo suave ondulado ou plano onde existe elevado teor de água durante parte do ano, com escoamento lento devido a adição lateral subsuperficial. No Mato Grosso ocupa 5,5% do território, ou seja, 48.633 km².

b) Laterita hidromórfica álica--com características

semelhantes à anterior, sendo esses solos geralmente situados em áreas baixas, com lençol freático subsuperficial e sujeitas a alagamentos periódicos. Localizam-se em planícies aluvionares de várzea baixa ou alta, sendo bastante frequente a presença de micro relevo de murundus. São desenvolvidos a partir de depósitos sedimentares do Quaternário, Pleistoceno ou Holoceno. Ocupa uma área correspondente a 8,7% do Mato Grosso e cerca de 5,2% do Mato Grosso do Sul.

c) Solonetz solodizado--são solos halomórficos, com B

solonético ou natrico, alta saturação com Sódio trocável, estrutura normalmente colunar ou prismática. Em geral são rasos ou pouco profundos, de textura média ou argilosa no Bt, mal ou imperfeitamente drenados, transição abrupta entre A e Bt; reação ácida no A e alcalina no Bt onde são altas a saturação de bases e a atividade da argila. Entre o Bt e o horizonte C há grande reserva de minerais de fácil intemperização. Ocorrem principalmente na planície aluvial do Pantanal, sob vegetação arbórea caducifólia, arbustiva ou graminoide. Ocupa uma área correspondente a 1,6% do Mato Grosso e cerca de 5,2% do Mato Grosso do Sul.

Solos hidromórficos

Os solos hidromórficos referem-se aos desenvolvidos sob grande influência do lençol freático próximo ou mesmo à superfície, pelo menos durante um período do ano, evidenciando, seja através da acumulação de matéria orgânica nas camadas superficiais, seja pela presença de cores cinzentas características de processo de gleyzação. Os solos gleysporico húmicos, gleys húmicos e orgânicos ocupam juntos cerca de 5,4% do Mato Grosso e aproximadamente 5,2% do Mato Grosso do Sul.

Solos pouco desenvolvidos

Dentre os solos pouco desenvolvidos os que apresentam maior importância pela extensão de área que ocupam são os vertisolos cuja ocorrência atinge cerca de 1,6% do Mato Grosso e 5,2% do Mato Grosso do Sul e os litólicos distróficos que estão em 4% do Mato Grosso. Os primeiros estão nas depressões e áreas mais baixas, sofrendo a atuação do lençol freático e outros problemas de drenagem. Os litossolos ocorrem sob relevo fortemente ondulado e, quando originados de rochas alcalinas podem ser eutróficos.

Solos arenoquartzosos

As areias quartzosas álicas são solos profundos, não hidromórficos de textura arenosa, fortemente e excessivamente drenados, derivados de material arenoso com ausência completa de minerais primários facilmente decomponíveis, ocupam uma extensão de 153.489 km² que corresponde a 17,42% da área do Mato Grosso e uma extensão de 68.960 km² ou cerca de 19,7 do Mato Grosso do Sul.

A ocupação dos solos no período do inverno

No Mato Grosso do Sul, o trigo é praticamente a única alternativa para ocupação dos solos durante o inverno. Outra alternativa, embora de pequena expressão é a aveia. Essas duas espécies são cultivadas quase que exclusivamente em Latossolos vermelho-escuro distrófico (fase campo e cerrado) e nos Latossolos Roxos distróficos (fase campo) e eutrófico (solo de mata) de alta fertilidade e sem a presença de alumínio trocável.

Os Latossolos vermelho-escuro distrófico e roxo distrófico representam as maiores possibilidades de expansão da cultura do trigo, apresentando porém baixa fertilidade natural e fortemente ácidos.

O cultivo do trigo no Mato Grosso do Sul cresceu consideravelmente, passando de 5.000 ha em 1971 para 432.287 ha em 1987, a partir daí sofreu pequenas reduções, 373.774 ha em 1988 e 256.164 ha em 1989. A produção do Mato Grosso do Sul passou de 4.388 toneladas em 1971 para 558.000 em 1987. Em 1988 foram produzidas 410.183 toneladas e espera-se 400.356 toneladas em 1989. O rendimento também aumentou neste período, passando de 878 kg/ha em 1971 para 1.547 kg/ha em 1985.

Epoca de semeadura

Os trabalhos realizados visando determinar as melhores épocas de semeadura têm mostrado que, de uma maneira geral, medida que se avançam além do mês de abril os rendimentos tendem a reduzir em todas as regiões do Estado. De acordo com os resultados alcançados, a pesquisa indicou quatro épocas de semeadura para o Mato Grosso do Sul: de 20 de março a 30 de abril para a região A; de 01 de abril a 15 de maio para região B; de 20 de março a 30 de abril para a região C e de 20 de março a 15 de abril para a região D. Nessa última região as chuvas são interrompidas mais cedo, portanto deve-se dar preferência plantar rigorosamente dentro da época recomendada, se possível no início da mesma.

Espaçamento e densidade e profundidade de semeadura

O espaçamento normalmente usado para o trigo é de 17 cm entre linhas. A densidade recomendada, é de 350 a 450 sementes viáveis por metro quadrado. A profundidade de semeadura deve ficar em torno de 2 a 5 cm.

Referencias Bibliograficas

ANTUNES, F.Z. Caracterização climáticas do Estado de Minas Gerais. 1986. Inf. agropec., Belo Horizonte, 12 (138):9-13.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA. 1975. Centro de Pesquisas Pedológicas, Rio de Janeiro, RJ. Mapa esquemático dos solos das regiões Norte, Meio-Norte e Centro Oeste do Brasil; texto explicativo. Rio de Janeiro, EMBRAPA-CPP/Ministério da Agricultura-DNPEA.DPP. 553 pp. (Ministério da Agricultura. Boletim Técnico 17).

Characteristics of the State of Mato Grosso do Sul

Abstract

The State of Mato Grosso do Sul is situated between 17 and 24°S latitude and 51 and 58°W longitude. The precipitation is less in the south part and the lower area of Rio Paraná bordering Paraguay with marked drought in the winter months. Wheat is the only practical alternative during the winter months in these regions and, thus, wheat planting has increased from only 5000 ha in 1971 to 432,287 ha in 1987. At the same time, yields have increased from 878 hg/ha to 1547 kg/ha.

Tabela 1. Dados meteorológicos médios de Campo Grande, Ms, durante o período de 1960/66 a 1973/85.

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Temp. média (°C)	24,3	24,3	23,7	23,0	20,3	19,5	19,7	21,5	22,8	24,1	24,1	24,2
Temp. máxima (°C)	29,9	30,6	30,3	29,2	27,1	26,2	26,8	29,0	29,9	30,5	30,2	29,9
Temp. mínima (°C)	20,3	20,1	—	17,9	15,8	14,8	14,5	15,9	17,6	18,9	19,3	20,2
Precipitação (mm)	228,7	184,2	138,8	105,4	100,0	50,6	42,1	29,9	77,0	149,6	210,1	232,9
Evaporação (mm)	98,3	85,1	107,5	125,4	130,5	140,4	191,8	225,7	213,4	180,7	144,0	114,6
Um. relativa (%)	76	80	79	77	73	72	65	59	62	69	75	78
Nebulosidade (0-10)	6,6	6,7	6,0	4,9	4,3	4,9	3,9	4,1	5,0	5,7	5,9	6,3

Tabela 2. Dados meteorológicos médios de Dourados, MS, durante o período de 1982/88.

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Temp. média (°C)	25,4	24,4	24,1	22,8	19,8	17,5	18,2	19,4	21,0	23,3	24,9	25,0
Temp. máxima (°C)	31,6	30,8	30,4	29,1	25,9	24,2	25,9	27,3	28,2	30,3	31,5	31,4
Temp. mínima (°C)	20,9	20,4	19,8	18,4	15,6	12,6	12,8	13,5	15,6	17,8	19,6	20,1
Precipitação (mm)	132,7	136,8	187,0	127,0	124,9	71,2	34,7	35,4	90,0	148,0	173,2	159,3
Evaporação (mm)	149,6	122,8	135,6	137,0	123,7	134,9	199,8	223,8	231,1	235,2	222,9	196,4
Um. relativa (%)	79	83	81	80	81	79	72	68	69	70	71	75
Nebulosidade (0-10)	5,7	6,2	5,3	5,1	5,4	4,6	3,5	3,1	4,4	4,9	5,1	5,5
Velocidade do vento	2,5	2,5	2,3	2,6	2,7	2,6	3,2	3,1	3,5	3,4	3,1	2,7
Insolação	228,4	188,6	212,4	205,5	178,8	185,2	211,7	198,0	172,2	221,8	222,0	224,4

Tabela 3. Dados meteorológicos médios de Ponta Pora, durante o período 1983/89.

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Temp. média (°C)	—	—	23,0	21,2	18,1	16,4	16,9	17,2	18,6	21,9	23,5	23,7
Temp. máxima (°C)	—	—	28,8	26,4	23,5	22,3	23,3	23,6	25,1	27,9	29,4	29,2
Temp. mínima (°C)	—	—	18,7	17,1	14,3	12,1	12,2	12,5	14,2	17,2	18,8	19,3
Precipitação (mm)	—	—	190,0	132,8	175,2	66,7	36,6	48,9	125,5	174,6	173,5	178,8

ASPECTOS DA CULTURA DO TRIGO NAS REGIOES NORTE E OESTE DO ESTADO DO PARANÁ AS CONDICÕES EDAFOCLIMÁTICAS E SUAS IMPLICAÇÕES NO MELHORAMENTO GENÉTICO

Manoel Carlos Bassoi, Francisco de Assis Franco e
Fernando Bernardo Gomide

Eng. Agr., M. Sc., Pesquisador OCEPAR
Caixa Postal 1203, CEP 85800,
Cascavel, PR, Brasil

Resumo

No fim da década de sessenta, com o incremento da cultura da soja no Paraná, principalmente devido às ótimas condições de mercado externo e à boa adaptabilidade da cultura nas condições edafoclimáticas do Estado, iniciou-se também a expansão da cultura do trigo.

Em decorrência da alta fertilidade dos solos das regiões Norte e Oeste do Paraná e à introdução de materiais exóticos provenientes do México (CIMMYT-Centro Internacional de Mejoramiento de Milho e Trigo) de alto potencial produtivo, a cultura do trigo se expandiu rapidamente, devido principalmente aos incentivos governamentais e às boas produtividades alcançadas.

No entanto, observa-se que a produtividade média anual tem oscilado acentuadamente. Esta oscilação pode ser explicada, quase na sua totalidade, pelas diferenças de temperaturas, precipitações pluviométricas e umidade relativa do ar, quando se comparam os anos entre si. Estas oscilações nos fatores climáticos mencionados tem causado uma grande instabilidade na produtividade do trigo de ano para ano, mais em função da incidência de doenças fúngicas e bacterianas do que em função de períodos de estiagem (seca) durante o desenvolvimento da cultura.

Em alguns anos e em determinados estádios da cultura do trigo tem havido baixas precipitações pluviométricas, sem no entanto caracterizar, necessariamente, deficiências hídricas. Normalmente, estas deficiências hídricas tem sido o resultado direto do manejo dado à cultura e também ao manejo do solo.

Sendo assim, ainda que o problema das baixas produtividades da cultura do trigo em determinados anos e locais, seja devido às baixas precipitações pluviométricas, não precisa, necessariamente, ser resolvido pela obtenção, através do melhoramento genético, de cultivares mais resistentes a seca, mas sim de um manejo mais adequado do solo e das culturas.

No fim da década de sessenta, com o incremento da cultura da soja no Paraná, principalmente devido às ótimas condições de mercado externo e à boa adaptabilidade da cultura nas condições edafoclimáticas do Estado, iniciou-se também a expansão da cultura do trigo, a qual se limitava somente à região Centro-Sul, mais especificamente ao município de Guarapuava. A expansão da cultura da soja se deu em detrimento do café e também à abertura de novas áreas agrícolas que ainda se encontravam com a vegetação nativa. Devido ao fato da soja ser uma espécie de ciclo

curto (120 a 150 dias) e desenvolver-se na primavera e verão, o agricultor vislumbrou a possibilidade de utilizar a terra no outono e inverno com o trigo, haja vista que se trata de um cereal bem adaptado às condições de clima temperado (temperatura amenas). Isto proporcionou ao agricultor a plena utilização da terra durante todo o ano e utilização das máquinas e implementos agrícolas que de outra maneira ficariam ociosos.

Em decorrência da expansão da cultura do trigo e com os bons níveis de produtividade alcançados, principalmente devido à alta fertilidade dos solos das regiões Norte e Oeste do Paraná e à introdução de materiais exóticos provenientes do México (CIMMYT--Centro Internacional de Melhoramento de Milho e Trigo) de alto potencial produtivo, o governo vislumbrou a possibilidade de se atingir, a médio prazo, a auto suficiência para o cereal. No entanto, com a expansão da área de trigo no Estado, foi inevitável o aumento da incidência de doenças e pragas, além da diminuição da fertilidade dos solos em decorrência do processo erosivo provocado pelo uso intensivo e inadequado da maquinaria agrícola. Este fatos, principalmente no que se refere às doenças fúngicas, haja vista que as cultivares introduzidas mostraram-se bastante suscetíveis a alguma delas, trouxeram grande preocupação aos tricultores. Corria-se o risco de se ter, a curto prazo, uma queda acentuada na produtividade, tornando a cultura inviável economicamente.

Sendo assim, no Estado do Paraná, o governo estadual, através do IAPAR (Instituto Agrônomico do Paraná) e os agricultores cooperativados, através da OCEPAR (Organização da Cooperativas do Estado do Paraná), sentiram a necessidade de iniciar trabalhos de pesquisa com trigo nas diversas áreas de concentração, tais como: melhoramento, fertilidade, manejo de solos, controle de pragas e doenças, etc. Estes trabalhos visam gerar tecnologias adequadas, não só para a estabilização da produtividade, bem como para o seu incremento, tornando a cultura segura e rentável.

A OCEPAR, na busca destes objetivos, iniciou um programa de pesquisa com trigo no ano de 1974. Inicialmente o programa se restringiu ao melhoramento genético de cultivares, haja vista rápida deterioração das cultivares introduzidas e recomendadas para semeadura no Paraná. Com o passar dos anos e com a consolidação da cultura do trigo no Estado, bem como com a consolidação do próprio programa de pesquisa, a Organização passou também a investir em outras áreas de pesquisa, tais como: controle de doenças fúngicas, fertilidade, manejo de solos, controle de plantas daninhas rotação de culturas e outras práticas culturais. Paralelamente ao melhoramento genético também iniciou-se o processo de multiplicação de sementes básicas das cultivares introduzidas e/ou criadas pelo programa, indispensável para que os agricultores possam receber o mais rápido possível sementes de alta qualidade e pureza genética.

Atestando o sucesso do programa de melhoramento da OCEPAR, cumpre informar, que desde 1978 até o presente, o mesmo teve dezessete (17) cultivares de trigo e três (3) de triticale recomendadas oficialmente para semeadura no Estado do Paraná, sendo que algumas em outros estados da federação da cultivar Anahuac (CIMMYT) a qual preenche aproximadamente 40% de toda a área semeada com trigo no Estado. Também cumpre ressaltar que a Organização de cultivares de trigo e triticale, juntamente com o IAPAR.

Actualmente, graças aos esforços dos diversos segmentos da sociedade que estão diretamente ligados à agricultura, mais especificamente à triticultura, o País praticamente alcançou a auto suficiência. Um dos fatores que mais contribuiu para que se atingisse este patamar de produção, foi sem dúvida os esforços desenvolvidos pela pesquisa, tanto a desenvolvida pelas instituições públicas como as desenvolvidas pelas instituições de caráter privado. Este aumento da produção total de trigo se deveu principalmente ao aumento da produtividade. Somente no Estado do Paraná, a produtividade passou de aproximadamente 1000 kg/ha no ano de 1981 para aproximadamente 1800 kg/ha no ano de 1988, com algumas oscilações no meio deste período, sendo que no ano de 1985 chegou-se a uma produtividade média de 2131 kg/ha (Tabela 1).

As oscilações de produtividade, conforme já mencionado, podem ser explicadas, quase na sua totalidade, pelas diferenças de temperatura, precipitações pluviométricas e umidade relativa do ar, quando se comparam os anos entre si. Estas oscilações nos factores climáticos mencionados tem causado uma grande instabilidade na produtividade do trigo de ano para ano, principalmente devido às oscilações na incidência de doenças fúngicas e bacterianas, tanto no tipo de patógeno como na intensidade de infecção.

Os anos de maiores produtividades, 1985; 1987 e 1988 (Tabela 1), foram os que apresentaram menor incidência de doenças fúngicas e coincidentemente os que apresentaram menores índices de precipitações pluviométricas no período compreendido entre a floração e a maturação da cultura do trigo. No entanto, no período compreendido entre a semeadura e a floração, os índices de precipitações pluviométricas foram elevadas, propiciando um bom desenvolvimento vegetativo da cultura.

No ano de 1986 verifica-se uma queda significativa na produtividade, quando comparada com a dos três anos citados anteriormente. No entanto, diferentemente dos anos de 1985; 1987 e 1988, a incidência de doenças fúngicas foi bem mais acentuada e coincidentemente apresenta valores de precipitações pluviométricas bem maiores no período compreendido entre a floração e a maturação. No período compreendido a semeadura e a floração, também os índices de precipitações pluviométricas foram elevados, propiciando um bom desenvolvimento vegetativo da cultura.

Na Tabela 2 encontram-se os dados de precipitações pluviométricas ocorridas nas localidades de Cascavel e Palotina em oeste do Paraná no período de 1985 a 1988 e nos meses com a cultura do trigo. Apesar de serem dados relativos à somente duas localidades, elas representam, em média, as precipitações ocorridas nas Regiões Norte e Oeste do Paraná, as quais são responsáveis por 90% da área semeada com trigo no Estado do Paraná. O período da semeadura até a floração compreende os meses de abril, maio e junho. O período da floração compreende os meses de julho, agosto e setembro.

Apesar das doenças fúngicas, tais como ferrugens, oídio, helmintosporiose, fusariose, septoriose, serem as principais responsáveis pela queda da produtividade quando as condições climáticas favorecem o seu desenvolvimento, outros factores também tem contribuído, ainda que em menor escala, para a limitação da produtividade na cultura do trigo. Entre estes factores podemos citar a incidência de doenças bacterianas (*Xanthomonas campestris* pv. *undulosa*), ocorrência de geadas, erosão provocada por chuvas torrenciais em curto período de tempo, falta de água no início do desenvolvimento vegetativo da cultura e outros.

Quando se considera o factor água, verifica-se que a média anual de precipitações pluviométricas, considerando o período de 1973 a 1988, foi de 1.919 mm. para Cascavel e de 1.613 para Palotina (Tabelas 3 e 4). Estes níveis de precipitações são próprios de clima sub-tropical, no qual estão enquadradas as regiões Norte e Oeste do Paraná segundo a classificação de Koeppen, e fazem supor que há quantidade de água suficiente no solo para o desenvolvimento de qualquer tipo de cultura. No entanto, ocorre que as precipitações pluviométricas oscilam acentuadamente, não só dentro de cada mês como também entre os meses, de ano para ano. Este facto pode ser comprovado observando-se a Figura 1, onde há uma comparação de precipitações entre três anos tomados aleatoriamente.

Diante desta distribuição desuniforme das precipitações pluviométricas, pode ocorrer que em determinado estágio de cultura e em determinados anos ocorra deficiência hídrica. Porém, as deficiências hídricas têm ocorrido em uma maneira casual e totalmente aleatórias, apesar da média dos últimos 16 anos indicar que os meses de julho e agosto são os de menores índices pluviométricos (Figura 2), meses em que a cultura do trigo está em fase de enchimento de grãos. No entanto, os dados de precipitações destes meses não caracterizam necessariamente uma deficiência

hídrica, haja vista que a menor média de precipitação de Cascavel e Palotina é a do mês de agosto em Palotina, 74, 7 mm (Tabela 4).

Apesar da média das precipitações dos últimos 16 anos apresentarem valores relativamente elevados para os meses de maio, meses em que a cultura do trigo está em fase de desenvolvimento vegetativo, tem ocorrido em alguns anos baixas precipitações. No entanto, novamente neste caso, não há necessariamente uma deficiência hídrica, pois a mesma está mais relacionada com o "manejo do solo". Este manejo está relacionado com o preparo do solo propriamente dito e com as culturas que estão sendo utilizadas em rotação com trigo.

Além das precipitações pluviométricas, as temperaturas também apresentaram ao longo dos anos oscilações acentuadas. Este fato pode ser visualizado nas Figuras 3 a 6, onde são mostradas comparações entre três anos tomados aleatoriamente nas localidades Cascavel e Palotina. O que mais chama a atenção são os dados de temperatura mínima absoluta, com alguns anos não apresentando geadas, outros geadas fracas e outros com geadas muito fortes, como foi o caso do ano de 1975.

Em vista da oscilação das precipitações pluviométricas e das temperaturas, era de se esperar que a umidade relativa do ar também apresentasse oscilações acentuadas, a qual depende diretamente das duas primeiras. O fato pode ser comprovado observando-se os dados das Figuras 7 e 8. Esta oscilação na umidade relativa do ar tem contribuído enormemente para as diferenças de incidência de doenças fúngicas e bacterianas de ano para ano, tanto na qualidade como na quantidade do patógeno.

Diante do que foi exposto, verifica-se uma tarefa das mais árduas o melhorista encontrar e/ou criar genótipo de alto potencial produtivo e estável, diante da oscilação acentuada nos fatores de natureza climática e nos de natureza biológica (doenças fúngicas, bacterianas e viróticas).

Na Tabela 5 pode-se ter uma idéia da interação genótipo x ambiente, mais especificamente genótipo x ano. Trata-se de uma análise conjunta da variancia de dois ensaios (cada ensaio num ano) envolvendo 22 populações de trigo na geração F2 e três testemunhas locais, perfazendo um total de 25 tratamentos. Os resultados mostram a diferença altamente significativa entre anos e o alto nível de significância da interação tratamento x ano.

Além das oscilações acentuadas dos fatores de natureza climática, as regiões Norte e Oeste do Paraná apresentam, nas áreas onde se cultiva o trigo, três grandes grupos de solos: Latossolo Roxo Eutrófico; Latossolo Roxo Distrófico; Terra Roxa Estruturada. Dentre os três grandes grupos, o Latossolo Roxo Distrófico é o que apresenta concentração, em diferentes níveis, de alumínio tóxico. No Anexo estão contidas informações dos solos existentes nos Centros de Pesquisa da OCEPAR em Cascavel (Latossolo Roxo Distrófico) e Palotina (Latossolo Roxo Eutrófico).

O fato da existência de solos com e solos sem presença de alumínio tóxico, obriga as Instituições de Pesquisa a realizar melhoramento genético nos dois tipos de solos, pois nem sempre os genótipos que tem bom comportamento em solos sem alumínio se comportam bem em solos com, e vice-versa.

O objetivo tem sido, a médio e longo prazo, conseguir genótipos com alto potencial de rendimento de grãos em ambos os solos. Actualmente, as cultivares que apresentam tolerância ao alumínio não têm apresentado alto potencial de rendimento, em comparação com as cultivares semeadas em solos sem a presença de alumínio, as quais por sua vez não apresentam tolerância ao alumínio.

Ainda com relação aos fatores de natureza climática, mais especificamente precipitações pluviométricas, foi mencionado que em determinados estádios da cultura do trigo, principalmente nos estádios compreendidos entre a floração e a maturação, a média anual das precipitações são menos intensas, sem no entanto caracterizar, necessariamente, deficiências hídricas. Mesmo em

determinados anos nos quais a ausência de precipitações pluviométricas é mais acentuada, o que constata-se é que as possíveis deficiências hídricas variam de agricultor para agricultor, que é o resultado direto do tipo de manejo dado à cultura.

O que se têm observado é que no Estado do Paraná, a maioria dos agricultores têm, ano após ano, utilizado largamente a sucessão trigo e soja. A consequência desta sucessão, que além de utilizar praticamente a mesma quantidade de macronutrientes, ainda proporciona uma intensa mecanização. Por sua vez, a maioria dos agricultores, antes da implantação de cada cultura, utilizam largamente uma gradagem pesada para incorporação da palha e não raramente duas ou três gradagens leves para nivelar o terreno.

Este preparo intensivo e inadequado do solo tem provocado uma camada compactada a 20 centímetros de profundidade, comumente chamada de "pé de grade", a qual evita a infiltração natural da água. Esta compactação associada à topografia e às chuvas torrenciais em curto espaço de tempo, principalmente quando o solo está preparado para plantio e sem cobertura vegetal, tem provocado, ao longo dos anos, um intenso processo erosivo devido ao escoamento do solo.

Este processo erosivo também tem provocado uma perda acentuada de matéria orgânica, o que acentua ainda mais a compactação e a desestruturação do solo, evitando assim uma maior manutenção de água, necessária para os períodos de baixas precipitações pluviométricas.

Pelo que foi exposto, acredita-se que o problema de falta de água para a cultura de trigo não precisa, necessariamente, ser resolvido pela obtenção, através do melhoramento genético, de cultivares mais resistentes à seca, mais sim de um manejo mais adequado do solo e das culturas.

No entanto, segundo RIEDE (comunicação pessoal), a Região Norte apesar da similaridade com a Região Oeste, apresenta em determinados anos baixas precipitações pluviométricas nos estádios iniciais do desenvolvimento da cultura do trigo, que corresponde ao mês de abril e à primeira quinzena de maio. Igualmente, estas baixas precipitações não caracterizam, necessariamente, deficiências hídricas. Acredita-se também, que para este caso, um manejo mais adequado do solo e das culturas possa manter umidade suficiente para a cultura do trigo em épocas de baixas precipitações pluviométricas.

Agroclimatic Conditions in the Northwestern Region of Paraná and their Impact on Wheat Breeding and Production

Abstract

By the end of the 1960s, an expansion in wheat cultivation started that paralleled the expansion of soybean area in the state of Paraná. Given the high fertility of soils in northwestern Paraná, it was possible to obtain high yields with wheat varieties derived from CIMMYT germplasm. The high productivity and government incentives caused rapid expansion of the crop.

Average wheat yields have fluctuated considerably from one year to the next caused mainly by differences in temperature, rainfall, relative humidity. These fluctuations have not only been responsible for drought during the crop cycle, but also for the incidence of fungal and bacterial diseases.

In some years and in certain growth stages of the crop, the rainfall is low but does not necessarily cause water deficiency. Normally, these water deficiencies are a result of direct crop and soil management. Therefore, breeding for drought resistance will not necessarily solve the problem and will have to be combined with adequate crop and soil management.

Tabela 1. Area semeada em hectares (ha), produção em toneladas (ton) e produtividade em quilos por hectare (kg/ha) da cultura do trigo nos últimos 27 anos no Estado do Paraná, Brasil.

Safra	Area (ha)	Produção (ton)	Produtividade (kg/ha)
1962	10.380	8.680	836
1963	7.990	3.830	479
1964	12.420	8.800	709
1965	10.180	6.000	589
1966	15.880	14.450	910
1967	38.940	35.700	917
1968	97.310	87.500	899
1969	190.990	138.150	723
1970	224.800	172.200	766
1971	266.000	240.300	903
1972	375.000	92.050	245*
1973	310.000	457.000	1.474
1974	662.000	1.025.000	1.548
1975	1.230.600	434.200	353*
1976	1.481.900	1.177.780	795
1977	1.398.230	1.232.800	882
1978	1.345.100	1.058.350	787
1979	1.576.500	1.636.960	1.038
1980	1.568.740	1.379.210	879
1981	930.960	928.220	997
1982	1.232.500	1.025.300	832
1983	926.500	1.055.100	1.139
1984	912.760	1.112.350	1.219
1985	1.273.550	2.713.790	2.131
1986	1.972.380	2.938.000	1.513
1987	1.717.000	3.351.000	1.952
1988	1.775.000	3.259.000	1.836

* Fortes geadas.

Fonte: CTRIN/ BANCO DO BRASIL S/A.

Tabela 2. Precipitações pluviométricas, em milímetros (mm), ocorridas nos anos de 1985; 1986; 1987 e 1988 e nos meses com a cultura do trigo. Cascavel e Palotina, Paraná, Brasil.

Meses	Precipitações Pluviométricas (mm)							
	Cascavel				Palotina			
	1985	1986	1987	1988	1985	1986	1987	1988
Abril	272.1	211.4	223.4	202.3	130.6	172.7	192.3	222.2
Maiο	125.9	354.1	438.0	230.6	160.4	319.9	285.0	167.2
Junho	51.9	25.0	159.7	142.3	40.6	37.1	130.1	69.2
Julho	60.7	87.1	116.9	14.5	111.7	46.5	103.2	3.4
Agosto	41.7	159.8	49.8	24.1	30.6	145.9	46.4	13.6
Setembro	41.8	255.5	23.4	13.4	33.8	167.2	24.8	14.2

Fonte: IAPAR.

Tabela 3. Médias mensais dos dados climáticos observados nos anos de 1973 a 1988. Cascavel, Paraná, Brasil.

Especificação	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Temp. máxima °C	28.7	28.5	28.1	25.5	22.1	20.2	21.0	22.5	23.9	26.0	27.3	27.9
Temp. mínima °C	18.9	19.0	18.1	15.7	13.1	11.1	11.4	12.4	13.5	15.5	16.8	18.3
Temp. media °C	23.1	22.8	22.2	19.7	16.7	14.8	15.3	16.5	17.9	20.1	21.3	22.4
Precipitações (mm)	178.8	194.7	138.4	161.6	195.9	118.6	103.6	107.7	132.8	209.1	194.9	183.5
Umidade relativa	75.1	78.1	74.8	73.8	76.9	75.9	71.8	68.9	67.1	67.7	68.7	73.1
Evapotranspiração	99.5	80.2	95.5	91.0	82.4	79.2	104.0	119.2	122.6	128.7	123.2	105.1
Heliofania	229.9	193.1	221.7	201.8	192.6	188.2	207.6	201.3	183.3	208.3	220.0	219.1
Veloc. media vento	3.1	3.0	2.9	3.0	3.2	3.3	3.8	3.7	3.7	3.4	3.3	3.0
Nebulosidade	5.8	6.0	5.3	4.7	4.7	5.1	4.6	4.8	5.4	5.3	5.5	6.0

Fonte: IAPAR.

Tabela 4. Médias mensais dos dados climáticos observados nos anos de 1973 a 1988. Palotina, Paraná, Brasil.

Especificação	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Temp. máxima °C	32.2	32.1	31.8	29.3	25.6	23.6	24.5	25.8	27.0	29.5	30.9	31.3
Temp. mínima °C	20.4	20.4	19.1	16.6	13.7	11.3	11.1	12.1	14.0	16.4	18.2	19.1
Temp. media °C	25.3	25.1	24.3	21.9	18.5	16.2	16.4	17.6	19.5	22.2	23.8	24.7
Precipitações (mm)	140.6	153.6	109.9	130.9	152.8	117.1	83.9	74.7	129.0	166.4	165.1	189.6
Umidade relativa	79.2	78.9	76.1	75.4	79.8	80.8	77.8	74.8	71.4	71.1	71.0	76.6
Evapotranspiração	86.2	77.8	100.1	93.2	74.4	65.6	78.2	91.8	104.3	123.2	121.7	99.2
Heliofania	238.9	207.8	233.4	213.5	197.1	183.9	208.1	198.1	186.1	214.5	224.6	228.7
Radiação	461	425	401	312	242	231	256	292	329	394	428	458
Veloc. media vento	1.9	1.7	1.8	2.0	1.9	1.9	2.0	2.1	2.5	2.4	2.5	2.0
Nebulosidade	4.5	4.6	4.2	3.5	3.7	4.2	3.3	3.8	4.4	4.5	4.4	4.8

Fonte: IAPAR.

Tabela 5. Análise conjunta da variância de rendimento de grãos por planta, em gramas, referente a um experimento contendo 22 cruzamentos de trigo na geração F2 e três testemunhas locais e conduzido nos anos de 1987 e 1988. Palotina, Paraná, Brasil.

Fontes de variação	G.L.	Soma de quadrado	Quadrado médio	F	Nível de Signif.
Total	150	10906.10			
Anos	1	5462.582	5462.582	129.802	.00000
Tratamentos ^a	24	660.3365	27.51402	3.835	.00000
Blocos	2	39.75372	19.87686	2.771	.06752
Ano x Tratamento ¹	24	534.2964	22.26235	3.103	.00004
Resíduo médio	98	703.0342	7.173818		
Coeficiente de variação = 15.1%					

^a Tratamentos = 22 cruzamentos de trigo na geração F2 e três testemunhas locais (cultivares semeadas comercialmente).

PALOTINA

Local: Centro de Pesquisa da OCEPAR.

Altitude: 300 m.

Longitude: 24° 17'S

Longitude: 53° 50'W.

Clima: Cfb--Subtropical Umido, Mesotérmico, verões quentes, geadas menos frequentes, tendência de concentração das chuvas nos meses de verão acima do paralelo 24° S. Sem estação seca definida.

Solo:

- Latossolo Roxo Eutrófico. A moderado textura argilosa fase floresta tropical perenifolia relevo suave ondulado e praticamente plano.
- Solos desenvolvidos a partir de produtos provenientes da intemperização de rochas eruptivas básicas.
- Clima Cfa e 200 a 600 metros.
- Florestas remanescentes são do tipo tropical perenifolia, formadas por árvores de grande porte.
- Solos profundos e de grande potencial agrícola. Excelente retenção de água (natural). Fertilidade natural bastante favorável, sendo deficiente em fósforo.

CASCAVEL

Local: Centro de Pesquisa Eloy Gomes da OCEPAR

Altitude: 760 m

Latitude: 24°56'S

Longitude: 53°26'W

Clima: Cfb--Subtropical Umido, Mesotérmico, verões frescos, geadas severas demasiado frequentes, sem estação seca.

Mês mais quente--Temperatura média <22°C.

Mês mais frio--Temperatura média <18°C.

Solo:

- Latossolo Roxo distrófico. A moderado textura argilosa fase floresta subtropical perenifólia relevo suave ondulado e ondulado.
- Solos desenvolvidos a partir de produtos provenientes da intemperização de rochas eruptivas básicas.
- Clima Cfb e 500 a 800 metros.
- Florestas remanescentes - árvores de grande porte, tais como pinheiro, imbuia, cedro, cerejeira, etc.
- Solos profundos, sem problemas de drenagem e com excelentes condições de aeração, permeabilidade e retenção de água em estado natural.
- Média o baixa fertilidade natural, respondem muito bem a adubação e calagens.

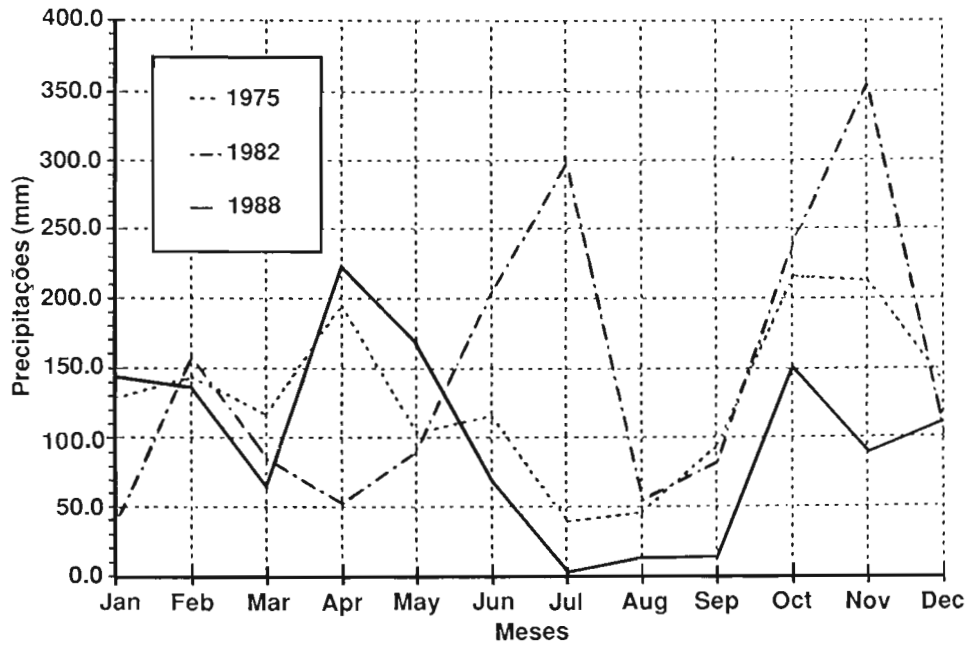


FIGURA 1 - Precipitações pluviométricas médias mensais, em milímetros (mm), ocorridas nos anos de 1975; 1982 e 1988. Palotina, Paraná, Brasil. (Fonte do dados: IAPAR).

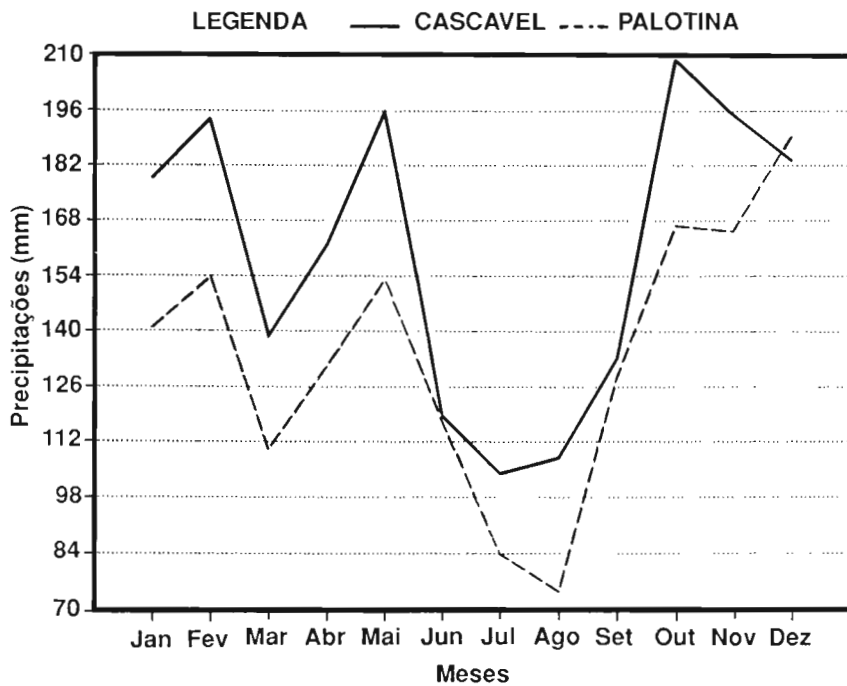


FIGURA 2 - Precipitações pluviométricas médias mensais, em milímetros (mm), ocorridas nos anos de 1973 a 1988. Cascavel e Palotina, Paraná, Brasil. (Fonte do dados: IAPAR).

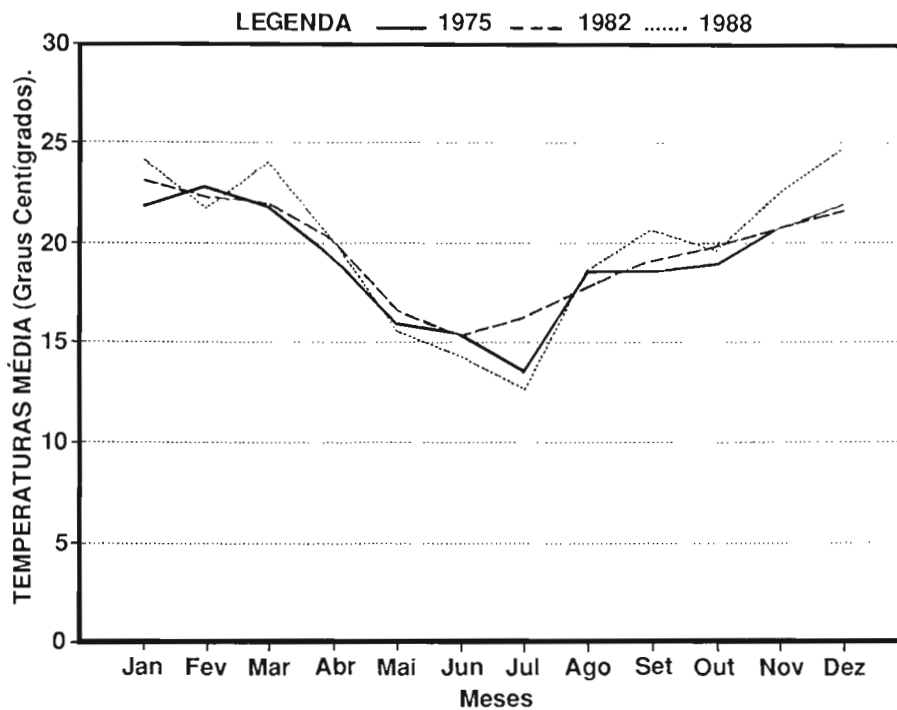


FIGURA 3 - Temperaturas médias mensais, em graus centígrados, observadas nos anos de 1975; 1982 e 1988. Cascavel, Paraná, Brasil. (Fonte do dados: IAPAR).

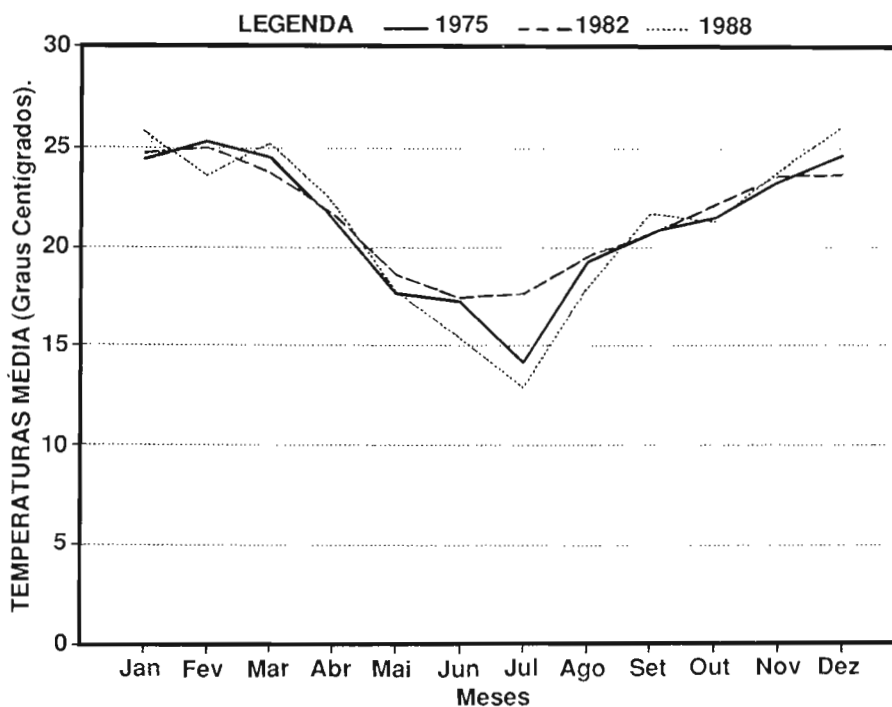


FIGURA 4 - Temperaturas médias mensais, em graus centígrados, observadas nos anos de 1975; 1982 e 1988. Palotina, Paraná, Brasil. (Fonte do dados: IAPAR).

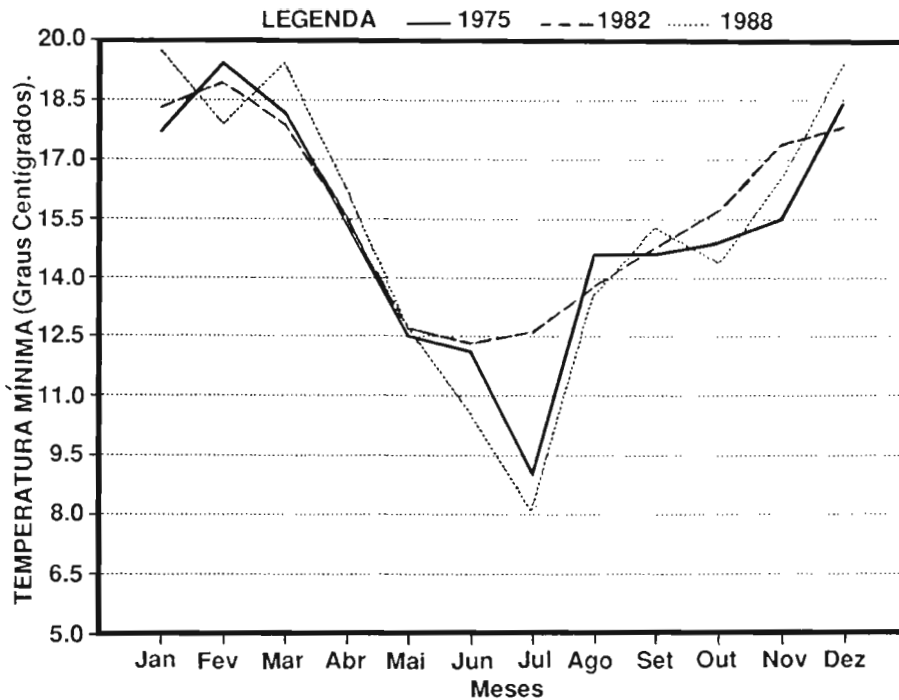


FIGURA 5 - Temperatura mínima, médias mensais, em graus centígrados, observadas nos anos de 1975; 1982 e 1988. Cascavel, Paraná, Brasil. (Fonte do dados: IAPAR).

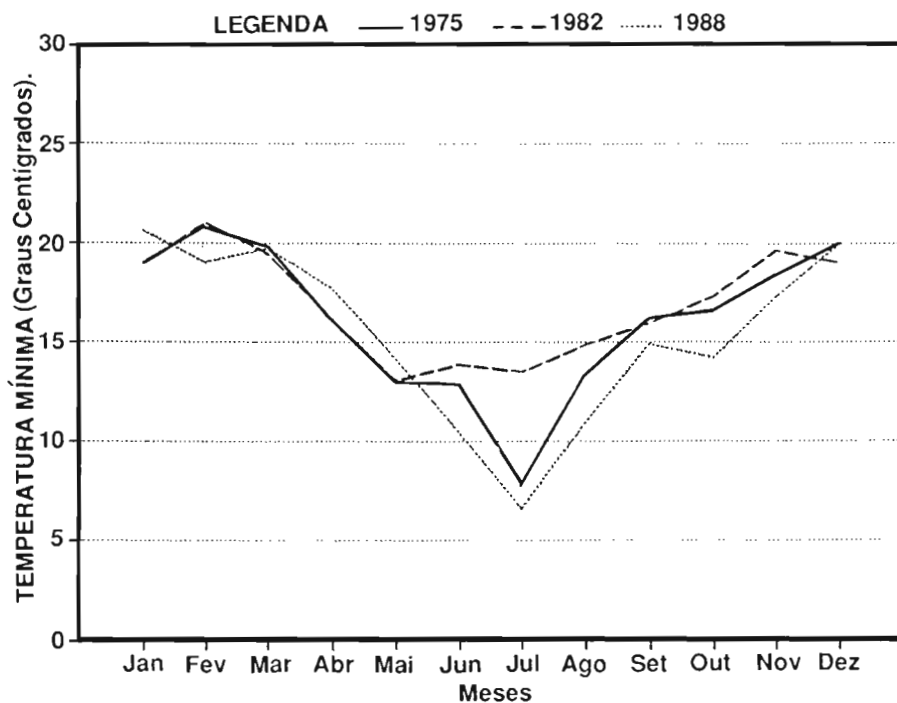


FIGURA 6 - Temperatura mínima, médias mensais, em graus centígrados, observados nos anos de 1975; 1982 e 1988. Palotina, Paraná, Brasil. (Fonte do dados: IAPAR).

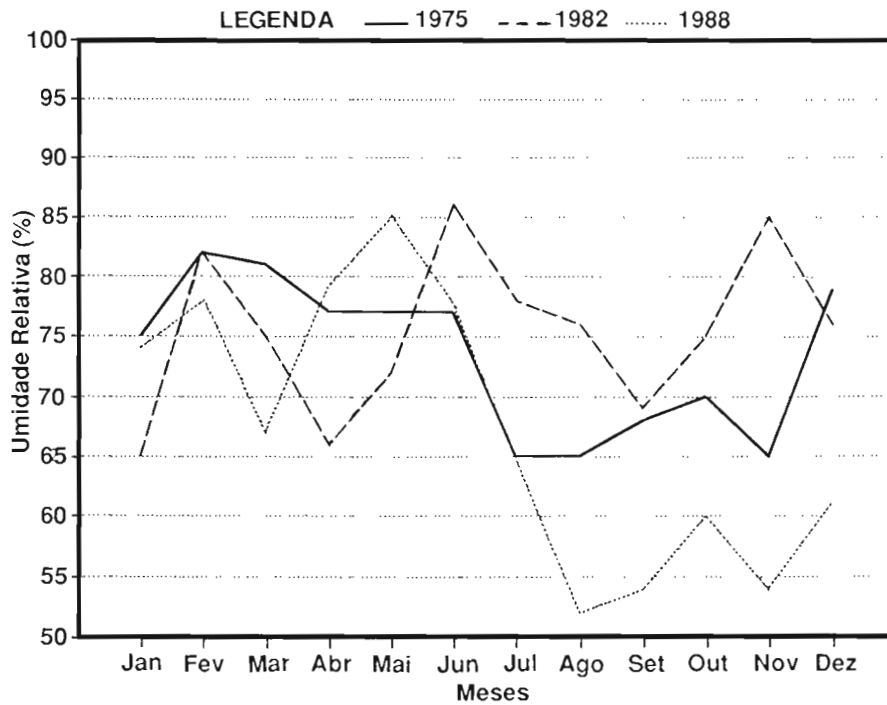


FIGURA 7 - Umidade relativa do ar, médias mensais em porcentagem (%), observadas nos anos 1975; 1982 e 1988. Cascavel, Paraná, Brasil. (Fonte do dados: IAPAR).

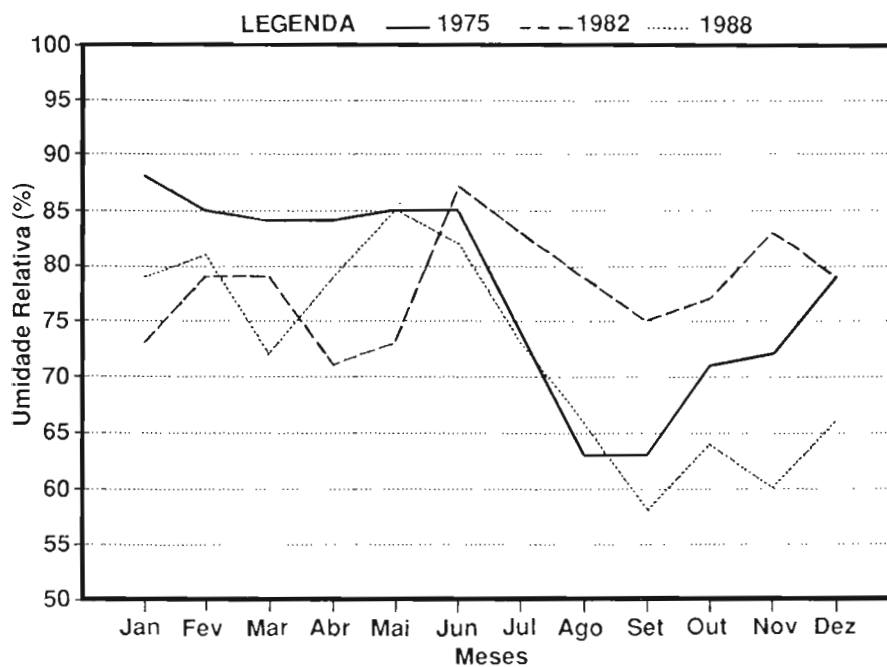


FIGURA 8 - Umidade relativa do ar, médias mensais em porcentagem (%), observadas nos anos 1975; 1982 e 1988. Palotina, Paraná, Brasil. (Fonte do dados: IAPAR).

REDUÇÃO NO RENDIMENTO DE GRÃOS E COMPONENTES DE PRODUÇÃO EM GENÓTIPOS DE TRIGO EM FUNÇÃO DO ESTRESSE HÍDRICO

Lauro Akio Okuyama e Carlos Roberto Riede

Instituto Agronômico do Paraná-IAPAR
Rodovia Celso Garcia Cid Km. 375
Caixa Postal 1331, 86.001 Londrina,
Paraná, Brasil

Resumo

Foram avaliados 25 genótipos de trigo quanto a resistência a seca. O experimento foi desenvolvido sob condições de campo, em duas épocas de semeadura, em Latossolo Roxo Distrófico, utilizando o método "line source sprinkler". As avaliações foram realizadas nas áreas irrigadas e sem irrigação suplementar. Levando-se em consideração as duas condições de água no solo, verificaram-se melhores características de rendimento e de componentes de grãos, na primeira época, nas cultivares e linhagens Anahuac, IAC 5, IA 8429, IAPAR 1, IAPAR 21, IAPAR 29, LD 8634 e LD 8646 e na segunda época nas cultivares e linhagens IA 8448, IA 8745, IAPAR 6, IAPAR 17, IAPAR 29, LD 8634 E LD 8646.

Na região Norte do Estado do Paraná, períodos de estresse hídrico no solo tem sido frequentes durante o ciclo da cultura do trigo. A ocorrência desses não são definidos, podendo ocorrer na fase vegetativa, na fase reprodutiva ou na fase de maturação de grãos. O período recomendado para a semeadura do trigo nessa região vai de primeiro de abril a dez de maio, sendo que as semeaduras tardias são mais propensas a sofrerem estresse hídrico no solo.

Com o objetivo de avaliar cultivares e linhagens de trigo quanto a resistência á seca. Um experimento foi conduzido na Estação Experimental do Instituto Agrônômico do Paraná. IAPAR, em Londrina no ano agrícola 1988. O experimento foi conduzido sob condições de campo, em duas épocas de semeadura e em duas condições de água no solo, com e sem irrigação suplementar, obtidas através de aspersores instalados em linha. As cultivares e linhagens testadas foram: Anahuac, BH 1146, BR 18-Terena, IA 814, IA 8425, IA 8429, IA 8448, IA 8733, IA 8745, IAC 5-Maringá, IAPAR 1-Mitacore, IAPAR 3-Aracatu, IAPAR 6-Tapejara, IAPAR 17-Caete, IAPAR 18-Marumbi, IAPAR 21-Taquari, IAPAR 28-Igapo, IAPAR 29-Cacatu, LD 8421, LD 8560, LD 8619, LD 8634, LD 8643, e LD 8646. Os cruzamentos e genealogia são apresentados na Tabela 1.

Em ambas as épocas de semeadura, durante o crescimento e desenvolvimento da cultura, ocorreu um período sem precipitação pluviométrica de 82 dias. No início desse período, os genótipos de primeira época de semeadura se encontravam no início da fase reprodutiva e os da segunda no início do perfilhamento. O controle da necessidade de irrigação suplementar foi realizado através de tensiômetros. A primeira irrigação foi realizada 17 dias após o início do período de estresse hídrico. Quando do reinício das chuvas, os materiais da primeira época se encontravam no estágio de maturação e os da segunda no estágio de cera mole a cera dura, para área irrigada e sem irrigação suplementar, respectivamente.

Na primeira época de semeadura verificou-se redução média de 30,1% no rendimento de grãos, de 7,1% no número de espigas por metro quadrado, 1,9% no número de grãos por espiga, 18,6% no

peso de 1000 grãos e 20,8% no peso de grãos por espiga, considerando a área irrigada e a área sem irrigação suplementar (Tabela 2). Em ambas as condições de água no solo, as cultivares e linhagens IAC5, IAPAR3, IAPAR18, IAPAR21, IAPAR29, IAPAR30 E LD 8552 apresentaram melhores características de rendimento de grãos e de componentes de rendimento de grãos.

Na segunda época de semeadura verificou-se maior efeito mais acentuado do estresse hídrico sobre o rendimento de grãos e componentes de produção (Tabela 3). A percentagem de redução, considerando a área irrigada em relação à área sem irrigação suplementar, foi de 60,9% no rendimento de grãos, 29,3% no número de espigas por metro quadrado, 29,7% no número de grãos por espiga, 22,4% no peso de 1000 grãos e 42,9% no peso de grãos por espiga. Em ambas as condições de água no solo, o rendimento de grãos dos genótipos Anuahac, IA 8448, IA 8745, IAPAR 3, IAPAR 17-Caeté, IAPAR 29-Cacatu, IAPAR 30, LD 8552, LD 8634 e LD 8646 foi superior ao dos demais.

Levando em consideração as duas épocas de semeadura, as duas condições de água no solo e os componentes de rendimento de grãos, verificouse que IAPAR 3, IAPAR 29, IAPAR 30 e LD 8552 apresentaram as melhores características para situações em que a água pode se tornar um fator limitante ao rendimento de grãos.

Reduction in Grain Yield and Yield Components in Wheat Caused by Drought

Abstract

Twenty-five wheat genotypes were evaluated for their reactions to drought stress. The experiment was conducted under field conditions at two sowing dates in Latossole Roxo soils. The experiment was done under irrigation (using a line source sprinkler) and without supplementary irrigation. Taking into consideration the two soil moisture regimes, yield and yield component characteristics were varified. The cultivars used were Anahuac, IAC 5, IA 8429, IAPAR 1, IAPAR 21, IAPAR 29, LD 8634 and LD 8646 for the first date of planting and IA 8448, IA 8745, IAPAR 6, IAPAR 17, IAPAR 29, LD 8634, and LD 8646 for the second date of planting.

Tabela 1. Genótipo, Cruzamento e Genealogia de cultivares e linhagens de trigo cultivados em duas condições de água no solo, Londrina, 1988.

Genótipo	Cruzamento	Genealogia
Anahuac	II 12300//LR64A/8156/3/NOR	II 30842-31R-2M-2Y-OM
BH 1146	Fronteira/Mentana//PG1	-
BR 18-Terena	D6301/NAI60//WQ/RM/3/CNO*2/CHR	-
IA 814	T.aest/4/Tp//Cno/No66/3/Cno"S"/7C/5/Jup 73	CM 38088-G-1Y-4M-1Y-3M-1Y-OM
IA 8425	Car 853/Coc//Vee "S"	CM 47556-EE-2M-2Y-1M-1Y-OY
IA 8429	Kal/Bb/4/II62-28/Tob/Fir/CNO/3/TzPP//IRN46/NO66	CM 46283-1M-1Y-5M-1Y-OM
IA 8448	Ore F1 158/Fdl//Kal/Bb/3/Nac	CM 47634
IA 8733	SpineTail "S"	CM 58478-B-2Y-1Y-1M-2Y-OM
IA 8745	Her/Sap "S"//Vee "S"	CM 74849-2M-2Y-2M-3Y-OB
IAC 5-Maringá	Frontana/Kenya 58//PG1	-
IAPAR 1-Mitacoré	IAS 50/Jaral "S"	-
IAPAR 3-Aracatu	Desconhecido	-
IAPAR 6-Tapejara	Desconhecido	-
IAPAR 17-Caeté	Jupateco/Bluejay "S"	CM 39992-8M-7Y-OM
IAPAR 18-Marumbi	Pf 72640/PF 7326// PF7065/Ald"S"	F11933-D-500M-503Y-502M-500Y-1G-0G
IAPAR 21-Taquari	Kvz//Cno 67/Pj = Hoopoe "S"	SWM 1285
IAPAR 28-Igapó	Kvz/Buho "s"//Kal/Bb = Veery"S"	CM 33027-F-12M-1Y-6M-0Y
IAPAR 29-Cacatú	Bluejay "S"//Jupateco = Opata "S"	CM 40038-6M-4Y-2M-1Y-2M-1Y-0B
LD 8421	Ald//CNT7//PF 70354/3/PAT24//Bb/Kal	F 11687-2L-3L-2L-2L-0L
LD 8552	IRN 327.73/MRNG	-
LD 8560	Ald//CNT7/PF70354/3/PAT24//Bb/Kal	F 11687-13L-1L-1L-0L
LD 8619	R37/Ghl121/Kal/Bb/3/RL6010/4*Inia	CM 69718-2L-6L-3L-0L
LD 8634	Jup/Ald "S"//Vee "S"	CM 70242-2M-1YL-2L-0L
LD 8643	Snb "S"//Tan "S"	CM 70164-14L-1L-0L
LD 8646	RI 6010/4*Inia//Vee#5	CM 70540-9L-3L-1L-0L

Tabela 2. Rendimento de grãos componentes de produção e percentagem de redução em genótipos de trigo, em duas condições de água no solo com e irrigação suplementar na 1a. época. Londrina, 1988.

Genótipo	grãos (kg/ha)			No. esp/m ²			No. grãos/esp			1000 grãos (g)			grãos/esp (g)		
	irri	s/irri	% red.	irri	s/irri	% red.	irri	s/irri	% red.	irri	s/irri	% red.	irri	s/irri	% red.
ANAHUAC	4077.0	2577.6	36.8	403.6	376.1	6.8	39.2	37.3	4.9	38.9	30.6	21.3	1.5	1.1	27.3
BH 1146	2969.5	2849.9	4.0	363.3	385.0	-6.0	28.6	30.2	-5.6	43.0	37.7	12.3	1.2	1.1	7.5
BR 18	3846.2	3215.5	16.4	389.7	370.7	4.9	35.4	34.5	2.7	46.1	39.4	14.6	1.6	1.4	16.9
IA 8425	3533.6	2366.6	33.0	347.6	323.7	6.9	53.9	40.5	24.9	35.1	29.1	17.1	1.9	1.2	37.9
IA 8429	3901.1	2854.4	26.8	378.2	305.4	19.2	38.3	38.3	0.2	41.7	32.5	22.1	1.6	1.2	22.7
IA 8448	3569.4	2604.3	27.0	355.6	348.3	2.0	35.5	40.9	-15.2	43.8	34.6	20.9	1.6	1.4	9.9
IA 8733	4287.3	2473.3	42.3	386.7	344.6	10.9	41.9	38.2	8.8	38.5	31.0	19.5	1.6	1.2	26.2
IA 8745	3930.8	3175.2	19.2	355.1	330.4	7.0	36.4	39.5	-8.5	44.9	38.2	15.0	1.6	1.5	8.7
IAC 5	4847.9	3496.4	27.9	395.8	373.1	5.8	38.4	35.6	7.4	43.4	38.5	11.4	1.7	1.4	18.2
IAPAR 1	4423.8	2721.1	38.5	402.8	328.1	18.5	38.9	37.9	2.6	40.7	33.9	16.7	1.6	1.3	18.8
IAPAR 3	4162.4	2810.2	32.5	439.9	425.6	3.3	35.5	35.3	0.7	40.5	30.5	24.7	1.4	1.1	26.1
IAPAR 6	3159.8	2783.1	11.9	389.4	379.2	2.6	41.0	42.6	-4.0	34.0	28.3	16.7	1.4	1.2	12.9
IAPAR 17	3880.3	2633.9	32.1	391.9	373.2	4.8	41.5	41.5	0.1	36.1	29.3	18.9	1.5	1.2	19.8
IAPAR 18	4469.9	3147.3	29.6	388.3	396.2	-2.0	38.1	33.7	11.6	39.3	34.8	11.4	1.5	1.2	21.8
IAPAR 21	4290.4	2760.1	35.7	331.1	320.1	3.3	41.0	45.2	-10.3	44.4	35.7	19.7	1.8	1.6	11.9
IAPAR 28	3896.6	2570.7	34.0	401.7	367.4	8.5	47.0	41.6	11.5	35.8	28.7	19.7	1.7	1.2	30.0
IAPAR 29	4766.4	2901.0	39.1	518.1	456.7	11.8	48.0	44.4	7.5	32.1	26.3	18.0	1.5	1.1	26.2
IAPAR 30	4475.8	2793.8	37.6	393.1	349.6	11.1	38.9	35.9	7.5	46.3	37.7	18.5	1.8	1.3	25.1
LD 8421	3866.2	2851.7	26.2	357.8	338.6	5.4	36.7	37.0	-0.9	42.8	34.6	19.1	1.6	1.3	19.4
LD 8552	4382.7	2815.7	35.8	368.2	331.0	10.1	31.3	35.9	-14.8	44.8	36.2	19.2	1.4	1.3	7.9
LD 8560	3315.1	2557.6	22.8	325.3	340.4	-4.7	36.7	38.2	-4.1	40.4	31.7	21.6	1.5	1.2	18.4
LD 8619	4217.7	2394.6	43.2	365.1	321.8	11.9	41.0	37.4	8.9	39.4	29.2	25.8	1.6	1.1	33.5
LD 8634	4253.1	2560.9	39.8	416.4	346.5	16.8	42.3	40.6	4.1	40.7	32.5	20.3	1.7	1.3	23.5
LD 8643	3192.9	2253.4	29.4	329.4	294.2	10.7	38.9	35.2	9.7	43.4	34.4	20.8	1.7	1.2	28.9
LD 8646	3876.9	2727.5	29.6	412.8	381.4	7.6	39.1	39.6	-1.3	42.7	34.1	20.1	1.7	1.3	19.7
Média	3983.7	2755.8	30.1	384.3	356.3	7.1	39.3	38.3	1.9	40.8	33.2	18.6	1.6	1.3	20.8

Tabela 3. Rendimento de grãos, componentes de produção e percentagem de redução em genótipos de trigo, em duas condições de água no solo, com e sem irrigação suplementar, na 2a. época. Londrina, 1988.

Genótipo	grãos (kg/ha)			No. esp/m ²			No. grãos/esp			1000 grãos (g)			grãos/esp (g)		
	irri	s/irri	% red.	irri	s/irri	% red.	irri	s/irri	% red.	irri	s/irri	% red.	irri	s/irri	% red.
ANAHUAC	3734.7	1349.3	63.9	339.6	268.6	20.9	51.7	32.8	36.6	37.6	28.2	25.0	1.9	0.9	52.6
BH 1146	3316.8	1428.5	56.9	362.6	265.3	26.8	36.5	28.8	21.1	37.7	27.9	26.0	1.3	0.9	30.8
BR 18	3198.9	1441.2	54.9	347.1	248.1	28.5	39.8	28.6	28.1	41.1	33.5	18.5	1.6	1.0	37.5
IA 8425	2768.5	792.1	71.4	276.3	202.9	26.6	45.1	26.1	42.1	35.2	31.7	9.9	1.6	0.8	50.0
IA 8429	2808.2	1373.7	51.1	276.4	234.3	15.2	41.0	28.0	31.7	38.3	31.9	16.7	1.5	0.9	40.0
IA 8448	3527.0	1382.9	60.8	298.8	204.6	31.5	40.7	29.2	28.3	41.5	35.9	13.5	1.7	1.1	35.3
IA 8733	3070.3	1213.1	60.5	328.9	247.8	24.7	41.2	30.5	26.0	36.6	26.1	28.7	1.5	0.9	40.0
IA 8745	3906.8	1648.9	57.8	299.9	226.3	24.5	43.8	36.8	16.0	41.3	30.7	25.7	1.8	1.2	33.3
IAC 5	3158.0	1032.5	67.3	308.5	191.4	38.0	43.9	30.5	30.5	36.6	28.9	21.0	1.5	0.9	40.0
IAPAR 1	3438.1	1151.4	66.5	348.2	197.6	43.3	39.6	31.4	20.7	38.9	30.4	21.9	1.5	1.0	33.3
IAPAR 3	4038.5	1625.0	59.8	387.9	246.6	36.4	39.5	33.3	15.7	37.7	25.4	32.6	1.5	0.9	40.0
IAPAR 6	2334.3	1096.5	53.0	326.9	204.7	37.4	48.3	33.5	30.6	28.5	23.7	16.8	1.3	0.8	38.5
IAPAR 17	3695.0	1453.7	60.7	341.0	241.9	29.1	48.2	35.7	25.9	36.8	30.4	17.4	1.8	1.0	44.4
IAPAR 18	3373.8	1279.6	62.1	312.8	235.0	24.9	39.4	29.6	24.9	37.9	29.4	22.4	1.5	0.9	40.0
IAPAR 21	3046.6	1020.1	66.5	287.8	189.3	34.2	42.8	30.5	28.7	41.4	29.6	28.5	1.8	1.0	44.4
IAPAR 28	3410.5	1220.1	64.2	310.8	212.2	31.7	54.8	34.0	38.0	33.7	26.6	21.1	1.7	0.9	47.1
IAPAR 29	3849.8	1753.2	54.5	363.2	286.7	21.1	49.0	34.2	30.2	35.6	25.9	27.2	1.7	1.0	41.2
IAPAR 30	3479.2	1442.2	58.5	319.3	209.0	34.5	46.8	28.6	38.9	46.4	36.5	21.3	2.1	1.0	52.4
LD 8421	2956.0	1356.1	54.1	265.1	239.2	9.8	42.3	26.9	36.4	41.4	34.1	17.6	1.8	0.9	50.0
LD 8552	3572.4	1409.9	60.5	332.6	202.4	39.1	40.1	33.1	17.5	40.0	32.8	18.0	1.5	1.1	26.7
LD 8560	2788.7	864.2	69.0	245.3	191.9	21.8	46.5	29.9	35.7	39.6	28.2	28.8	1.8	0.8	55.6
LD 8619	3380.9	1044.2	69.1	312.8	188.1	39.9	51.6	31.6	38.8	37.9	28.7	24.3	2.0	0.9	55.0
LD 8634	3507.0	1406.4	59.9	319.7	232.1	27.4	49.4	30.8	37.7	39.9	30.6	23.3	1.9	0.9	52.6
LD 8643	3200.9	1135.7	64.5	266.1	193.6	27.2	37.2	27.9	25.0	45.9	32.6	29.0	1.7	1.0	41.2
LD 8646	3614.7	1623.2	55.1	334.7	231.1	31.0	40.8	30.7	24.8	41.3	32.0	22.5	1.7	1.1	35.3
Média	3327.0	1301.7	60.9	316.5	223.6	29.3	44.0	30.9	29.7	38.8	30.1	22.4	1.7	1.0	42.9

MELHORAMENTO PARA RESISTÊNCIA A SECA NO IAPAR

Carlos Roberto Riede

Eng. Agr., Pesquisador da Fundação
Instituto Agronômico do Paraná, IAPAR
Caixa Postal 1331
86001 Londrina, Paraná, Brasil

Resumo

O Melhoramento para resistência a seca no IAPAR tem sido realizado empiricamente, selecionando-se para altos rendimentos e enchimento de grãos, em condições de estresse hídrico. Destaca-se a importância das condições climáticas do local de trabalho para selecionar-se eficientemente plantas segregantes e/ou linhas fixas do material genético. A quantidade de precipitação pluviométrica é um dos principais fatores afetando o rendimento de grãos, sendo favorável no período de germinação-espigamento e desfavorável do espigamento a maturação das plantas. O trabalho de fisiologia vegetal ligado ao melhoramento visa avaliar potenciais progenitores e identificar características morfológicas e fisiológicas ligadas a resistência a seca.

Introdução

O melhoramento genético para resistência a seca deve ser implementado a partir de um conhecimento sobre as condições edafoclimáticas do local onde o trabalho é desenvolvido.

A principal característica climática, com ampla variabilidade no ano e entre anos é a precipitação pluviométrica. Deficiências hídricas provocando veranicos são comuns na região de Londrina, principalmente nos períodos da semeadura ao espigamento da cultura do trigo.

A estratégia básica do melhoramento genético, tem sido a seleção indireta para resistência a seca, através do rendimento e enchimento de grãos. A partir de 1987, trabalhos em fisiologia vegetal, visando identificar características ligadas a resistência a seca e seleção de progenitores vieram dar suporte ao projeto.

Características edafoclimáticas de Londrina

De acordo com a Carta de Classificação Climática do Paraná, segundo W. Koeppen, Londrina encontra-se inserida no tipo de clima *Cfa* predominante do Norte-Oeste e parte do Sudoeste, apresentando uma forte tendência a uma transição para o tipo *Cwa*, cuja principal característica é o "inverno seco", com geadas severas, menos frequentes.

Apresenta, portanto, condições de temperatura favorável ao cultivo das espécies invernais. Seriam pouco frequentes os anos com perdas totais causadas por geadas destrutivas, em troca porém, estaríamos constantemente enfrentando problemas de estiagem nos momentos mais críticos das culturas. Mesmo assim, permanece a possibilidade de, em alguns anos, enfrentarmos graves problemas por excesso de umidade.

A Figura 1 descreve a Carta Climática do Estado do Paraná, em detalhes (IAPAR, 1976). No Quadro 1, estão descritos os principais elementos climáticos, coletados na Estação de Agrometeorologia do IAPAR, em Londrina, cuja localização é: Latitude: 23°22' S; Longitude: 51°10' W e Altitude de 585 m. Na Figura 2, estão distribuídos mensalmente os principais

elementos meteorológicos segundo as Médias Climatológicas do período de 1956-1975 para a localidade de Londrina (Corrêa et al., 1977).

De acordo com solicitação do CIMMYT, estão sendo apresentados dados climáticos, referentes a região de Londrina (Quadro 1).

O Balanço Hídrico para Londrina, no período de 1958 a 1975, indica deficiência hídrica nos meses de abril e agosto que representam épocas de semeadura e maturação da cultura do trigo na região (Figura 3).

A frequência de períodos de 10 dias consecutivos com deficiência hídrica denominados "veranicos", são apresentados para Londrina, na Figura 4. Considerando-se que a época preferencial de semeadura de trigo para a região é o mês de abril (IAPAR, 1989), verifica-se neste caso um risco elevado de frustração das safras na fase de estabelecimento da cultura, na qual a boa disponibilidade hídrica é fundamental para proporcionar "stand" e perfilhamento adequados. A semeadura no final da época preferencial, embora possa ser vantajosa na fase de estabelecimento da cultura, ocasionará o espigamento de grãos durante o mês de julho, época em que os períodos de deficiência hídrica ocorrem com maior frequência. A prática do plantio direto de trigo deve ser implementada, como forma de minimizar a deficiência de água no solo, particularmente durante a fase de estabelecimento da cultura. Além disso, estudos de tolerância a seca e resposta a irrigação suplementar também precisam ser objeto de investigação (Caramori e Faria, 1987).

No Quadro 2 estão apresentados os dados de precipitação pluviométrica, nos diferentes estágios de desenvolvimento de cultura do trigo, bem como informações de rendimento na região de Londrina, para os anos de 1976 a 1988. Grande variabilidade ano a ano é medida pelo elevado desvio padrão. O estudo de correlação entre precipitação em diferentes estágios de desenvolvimento do trigo e o rendimento final apresentou correlação positiva ($r = 0,62$) para chuvas da germinação ao perfilhamento e correlação negativa ($r = -0,54$) para chuvas do espigamento a maturação (Quadro 3).

Os dados de temperatura média para os diferentes estágios de desenvolvimento indicam ocorrer excesso de temperatura média, nos subperíodos semeadura a germinação e germinação ao perfilhamento, causando um reduzido número de perfilhos produzidos pela cultura, nestas condições (Quadro 4). A variação ano a ano é baixa, indicado pelo baixo desvio padrão.

A descrição do perfil de solo do campo experimental de trigo na sede do IAPAR é apresentada a seguir, de acordo com EMBRAPA/IAPAR, 1984 (Quadro 5). Embora os solos, sejam de boa profundidade, sua capacidade de retenção de água tem sido bastante diminuída, pelo mal manejo por ocasião da implantação das lavouras de inverno e verão.

Estratégias de melhoramento para resistência á seca

O melhoramento para resistência á seca no IAPAR tem sido realizado empiricamente, onde seleção indireta para esta característica, via rendimento e enchimento de grãos, tem sido praticada nas populações segregantes. Coleções de genótipos como o Drought Screening Nursery do CIMMYT, Mexico, têm sido semeadas tardiamente em Londrina, visando submeter o material a um estresse de seca e calor, visando desta maneira, selecionar genótipos possuidores de características ligadas a resistência á seca, os quais possam ser utilizados em cruzamentos com germoplasma adaptado, visando sua transferência ou incorporação.

Aproximadamente 500 cruzamentos são feitos a cada ano, incluindo simples, triplos e retrocruzamentos. O método genealógico modificado é usado no manejo das populações segregantes, no qual, seleção individual de plantas é realizada em F2 e F5, seleção de espigas formando bulk em F3 e F4 e seleção massal a partir da geração F6. Linhas avançadas são avaliadas

através de desenho aumentado em dois locais, visando promoção aos ensaios preliminares e cooperativos de recomendação e cultivares.

A partir de 1987, trabalhos em fisiologia vegetal envolvendo resistência à seca foram incorporados ao projeto de melhoramento, visando basicamente avaliar potenciais progenitores e identificar características morfológicas e fisiológicas ligadas a resistência à seca.

Discussão

As condições climáticas, especialmente a precipitação pluviométrica local nas Estações Experimentais que trabalham com melhoramento genético para resistência à seca deve ser conhecida e bem caracterizada, com objetivo de selecionar-se eficientemente plantas segregantes e/ou linhas fixas do material genético.

A presença de veranicos na região de Londrina, indica a possibilidade de déficit hídrico desde a época de semeadura da cultura do trigo no mês de abril até a colheita, em agosto/setembro. Não existe, portanto, período seco definido.

A falta de repetitividade do fenômeno da seca na mesma época, tem dificultado a seleção e avaliação genética.

Os avanços no melhoramento empírico, considerando o rendimento e enchimento de grãos como produtos finais do comportamento da planta perante estresse hídrico ambiental tem sido a principal estratégia. Linhas avançadas provenientes de coleções específicas para seleção visando resistência ao estresse ambiental, têm sido semeadas tardiamente em Londrina, conseguindo-se assim que os genótipos estejam mais sujeitos a sofrerem os efeitos estressantes de ambiente local.

Diferentes autores (Clarke e Townley-Smith, 1984 e Keim e Kronstad, 1981) sugerem que ambas as características do evite e tolerância são importantes para a resistência à seca dos genótipos, embora o escape através da maturação precoce e plasticidade de desenvolvimento possua importância bastante grande para as diferentes espécies de cultivo.

Aparentemente parece haver um forte consenso de que o melhoramento para resistência à seca deveria incluir rendimento e estabilidade de produção. Cultivares de ampla adaptação, com alto rendimento em todas ou na maioria das condições ambientais são preferíveis a cultivares especificamente adaptadas, particularmente quando o tempo e o grau de estresse variam de ano a ano (Hurd, 1969; Blum, 1979).

A inclusão de trabalhos fisiológicos de resistência à seca junto ao projeto de melhoramento de trigo do IAPAR, deverá trazer contribuição, na identificação de características morfológicas e fisiológicas, permitindo assim o desenvolvimento de um ideotipo adaptado e seleção mais apropriada de progenitores.

Desta maneira, além de seleção indireta para resistência à seca via rendimento de grãos, será possível praticar-se seleção direta para os mecanismos ligados a resistência à seca.

Referências

BLUM, A. Genetic improvement of drought resistance in crop plants: A case for sorghum. In: MUSSEL, H. and STAPLES, R.C. (eds). *Stress Physiology in Crop Plants*, John Wiley and Sons, New York. pp. 429-445, 1979.

CARAMORI, P.H. e FARIA, R.T. de. Frequência de períodos de 10 dias consecutivos com deficiência hídrica(veranicos) para Londrina e Ponta Grossa.Fundação Instituto Agrônômico do Paraná,Londrina, 1987. 24 pp. (IAPAR, Boletim Técnico, 20).

CLARKE, J.M. e TOWNLEY-SMITH, T.F. Screening and selection techniques for improving drought resistance. 1984. In: VOSE, P.B. and BLIXT, S.G. (eds). Crop Breeding a Contemporary Basis. Pergamon Press, Oxford, England. pp. 137-162.

CORREA, A.R.; GODOY, H.; BERNARDES, L.R.M. Características climáticas de Londrina. Londrina, IAPAR, 1977. 14 pp. (IAPAR, Circular 5).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA-EMBRAPA/INSTITUTO AGRONOMICO DO PARANÁ-IAPAR. 1984. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná. Londrina, SUDESUL-Governo do Paraná-EMBRAPA/IAPAR, I e II, 791 pp. EMBRAPA/Boletim Técnico 57-IAPAR/Boletim Técnico 16.

HURD, E.A. 1969. A method of breeding for yield of wheat in semi-arid climates. Euphytica 28:217-226.

IAPAR-FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRONOMICO DO PARANÁ. 1976. Clima do Paraná. Manual Agropecuário para o Paraná. Fundação Instituto Agrônômico do Paraná, Londrina. pp. 15-37.

IAPAR-FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRONOMICO DO PARANÁ. 1989. Recomendações técnicas para a cultura do trigo no Estado do Paraná, Londrina, 138 pp. (IAPAR, Circular 62).

KEIM, D.L. e KRONSTAD, W.E. 1981. Drought response of winter wheat cultivars grown under field stress conditions. Crop Sci. 21:115-125.

Breeding for Drought Resistance at IAPAR

Abstract

Improved drought resistance has been accomplished at IAPAR by selecting for high grain yield and better adaptation. Under local climatic conditions, efficient selection was obtained in segregating populations and/or fixed genetic materials. The amount of rainfall was the principal factor affecting grain yield and causing pre-harvest sprouting. Crop physiological work used in this improvement effort is aimed at in evaluating potential physiological and morphological characteristics linked to drought stress in a group of progenitors.

Quadro 1. Dados climaticos de Londrina.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Temp. max. °C	29,5	29,8	29,5	27,2	24,5	22,7	23,7	25,4	25,9	28,5	29,2	28,7
Temp. min. °C	19,3	19,3	18,5	16,2	13,7	11,3	11,8	12,8	14,1	16,4	17,8	18,7
Temp. med. °C	23,8	23,8	23,3	21,1	18,4	16,4	17,1	18,5	19,5	22,0	23,0	23,2
Precipit., mm	168,7	163,1	147,6	132,9	128,1	94,6	56,1	51,6	114,0	137,2	170,8	226,9
Humed. rel., %	75,5	75,6	73,5	72,7	75,2	74,4	68,8	63,2	64,6	64,8	67,0	74,1
Evap. tanque	115,5	99,2	114,4	110,0	89,8	88,6	117,3	150,8	152,7	169,7	153,1	120,7
Heliofania	220,8	197,9	226,5	221,1	208,8	210,6	235,6	231,1	192,4	229,2	225,4	205,1
Radiacion	538	496	463	386	304	291	316	357	394	478	529	497
Vel. med. viento	2,7	2,4	2,4	2,5	2,2	2,1	2,5	2,6	2,9	2,9	2,9	2,6
Neblinosidad	6,4	5,6	5,6	4,5	4,4	5,2	4,1	4,6	5,9	5,6	6,4	6,9

Suelo

Textura: Areia 6%, Silte 12%, Argila 81%

Descripcion del perfil: Em anexo

Capacidad de almac. de agua: 80 mm (na pratica)

Cultivo

Rotación común: Soja

Fechas de siembra (dif.cultivos): Trigo (20/03 a 10/05, Soja (15/10 a 15 a 15/12), Milho (15/09 a 01/10)

Fechas floración: Trigo (10/06 a 10/07), Soja (15/12 a 15/01), Milho (15/11 a 01/12)

Fechas cosecha: Trigo (10/08 a 20/09), Soja (15/02 a 30/04), Milho (15/04)

Densidad de siembra: Trigo (350 a 600 m²), Soja (40 m² = 20/m linear), Milho (5/m linear)

Profundidad de siembra: Trigo (2 a 5 cm), Soja (5 a 8 cm), Milho (5 a 8 cm)

Espaciamiento entre surcos: Trigo (17 cm), Soja (40 a 60 cm), Milho (90 cm)

Quadro 2. Dados de precipitação pluviométrica (mm) nos diferentes estágios de desenvolvimento da cultura do trigo em Londrina-PR/ Brasil.

Ano	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	Media	Des. P.
Semeadura-Germinação (Abril)	99,7	169,9	26	94,9	144,7	144,3	25,2	102,7	213,2	266,8	99,1	157	183,9	132,9	66,1
Germinação-Perfilhamento (Maio)	123	12,4	90,3	137,4	117,7	1,7	58,7	308,8	64,8	143,5	133,3	226,9	246,7	128,1	86,2
Perfilhamento-Espigamento (Junho)	96,8	160,9	17,3	0,6	85,3	112,5	259	260,5	3,3	22,5	0,5	150,5	59,6	94,6	88,1
Espigamento-Maturação (Julho-Agosto)	284,2	47,1	203,9	130	162,1	30,8	191,7	16,7	73,2	29,2	175,2	56,1	0,2	107,7	85,4
Total	603,7	390,3	337,5	362,9	509,8	289,3	534,6	688,7	354,5	462	408,1	590,5	490,4	463,2	14,7
Rendimento regia Londrina (kg/ha)	801	731	642	1103	1420	1320	970	1540	870	2142	1803	1950	2267	1350	533,3

CUADRO 3. Correlação de chuvas em diferentes estágios de desenvolvimento do trigo e rendimento final da cultura (n = 13).

	r	prob.
1) Semeadura-Germinação	0,50	0,08 ns
2) Germinação-Perfilhamento	0,62	0,02*
3) Perfilhamento-Espigamento	-0,08	0,75 ns
4) Espigamento-Maturação	-0,54	0,05*
5) Chuva total	0,29	0,33 ns

Quadro 4. Dados de temperatura média (°C) durante os diferentes estágios de desenvolvimento do trigo em Londrina-PR/Brasil.

Ano	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	Media	Des.P.
Semeadura-Germinação (Abril)	26,3	26,4	28,7	26,7	27,4	27,3	26,8	26,8	26,1	27,5	28,6	28,2	27,2	27,2	0,8
Germinação-Perfilhamento (Maio)	23,1	25,7	25,1	23,9	25	26,8	24,5	24	26,3	24,6	24,6	21,8	22,5	24,5	1,4
Perfilhamento-Espigamento (Junho)	21,8	23	23,8	24,1	22,8	22,2	23,1	20	25,4	22	24	21,7	21,6	22,7	1,3
Espigamento-Maturação (Julho-Agosto)	22,8	26,7	24,1	23,8	24,5	24,2	23,8	25,4	25	25	23,5	25	24,6	24,5	0,9

QUADRO 5. Descrição do perfil de solo do campo experimental de trigo do IAPAR.

No. de Campo: ISCW-BR 7

Classificação: LATOSSOLO ROXO EUTROFICO A chernozémico muito argiloso fase floresta subperenifolia relevo suave ondulado (Typic Eutrorthox).

Município: Londrina.

Localização: Campo Experimental de Trigo na sede do IAPAR.

Situação e Declive: Trincheira aberta no campo experimental de trigo, em área com 5% de declive.

Litologia e Formação Geológica: Meláfiros e basaltos do derrame do Trapp, do Triássico Superior.

Material de Origem: Resíduos intemperizados das rochas acima citadas.

Relêvo: Suave ondulado.

Altitude: 560 metros.

Drenagem: Acentuadamente drenado.

Erosão: Laminar ligeira.

Vegetação Primária: Floresta tropical subperenifólia.

Uso Atual: Soja, trigo, milho, café, banana e feijão.

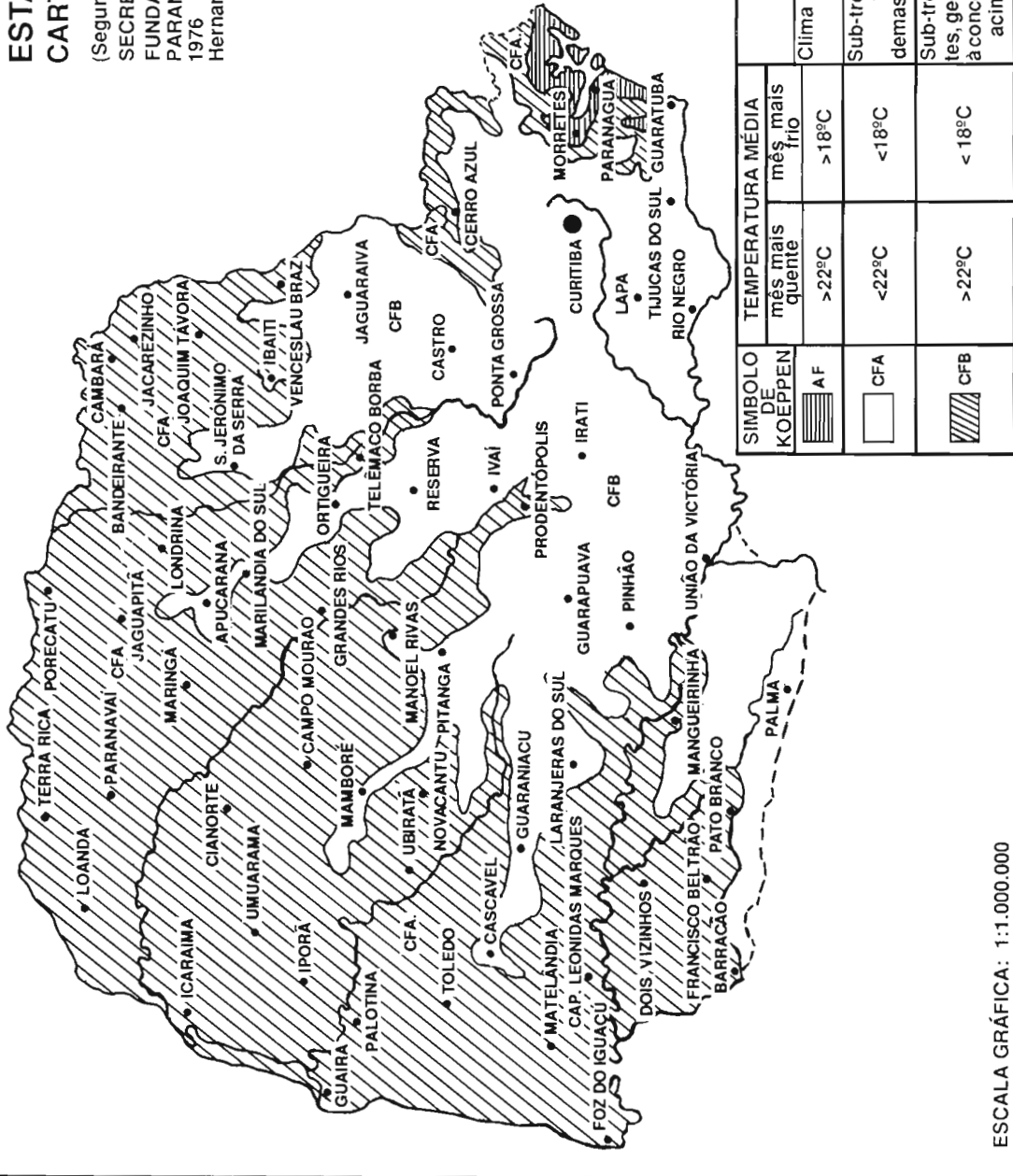
Ap:	0-18 cm, vermelho-escuro-acinzentado (1 YR 3/3, úmido e seco); muito argiloso; moderada média pequena granular; duro, friável, muito plástico e pegajoso; transição clara e plana.
A3:	18-30 cm, vermelho-escuro-acinzentado (1 YR 3/3 úmido e seco); muito argiloso; fraca média prismática e fraca pequena média blocos subangulares; muito duro, friável, plástico e pegajoso; transição clara e plana.
B1:	30-60 cm, vermelho-escuro-acinzentado (1 YR 3/4) muito argiloso; fraca pequena blocos subangulares e forte ultrapequena granular; ligeiramente duro, muito friável, plástico e pegajoso; transição difusa e plana.
B21:	60-150 cm, vermelho-escuro-acinzentado (1 YR 3/5); muito argiloso; forte ultrapequena granular ligeiramente coerente com aspecto de maciça porosa no local; macio, muito friável, plástico e pegajoso; transição difusa e plana.
B22:	150-235 cm, vermelho-escuro-acinzentado (1 YR 3/5); muito argiloso; fraca pequena blocos subangulares ligeiramente coerente com aspecto de maciça porosa no local; ligeiramente duro, muito friável, plástico e pegajoso; transição difusa e plana.
B23:	235-275 cm, vermelho-escuro-acinzentado (1 YR 3/6); muito argiloso; ligeiramente plástico a plástico pegajoso.
B3/C:	275-325 cm, vermelho-escuro-acinzentado (1 YR 3/6), mosqueado pouco, pequeno e proeminente, bruno-forte (7,5 YR 5/6). Horizonte constituído por material semelhante ao B23, misturado com fragmentos de rocha básica.
C:	325-345 cm+, bruno-forte (7,5 YR 5/8) e vermelho-escuro-acinzentado (1 YR 3/6), predominando a cor bruno-forte. Fragmentos de rocha aumentam com a profundidade.

Raízes: Muitas no Ap, decrescendo gradualmente com a profundidade.

ESTADO DO PARANÁ CARTA CLIMÁTICA

(Segundo W. Koeppen)
SECRETARIA DA AGRICULTURA
FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRÔNOMICO
PARANÁ IAPAR - LONDRINA
1976
Hernani Godoy Antonio Rezende Correia

Segundo dados pluviométricos do IAPAR, da Administração de Recursos Hidricos da Secretaria do Interior da S.I. e da Divisão de Aguas do Ministério das Minas e Energia (1959-1975) e temperaturas médias em função da Altitude e Latitude, tabelas de H. S. Pinto e R.R. Alfonsi do IAC-SP, e com o auxílio da Carta Hipsométrica do IBGE.



ESCALA GRÁFICA: 1:1.000.000

Figura 1. Carta Climática do Estado do Paraná - Brasil.

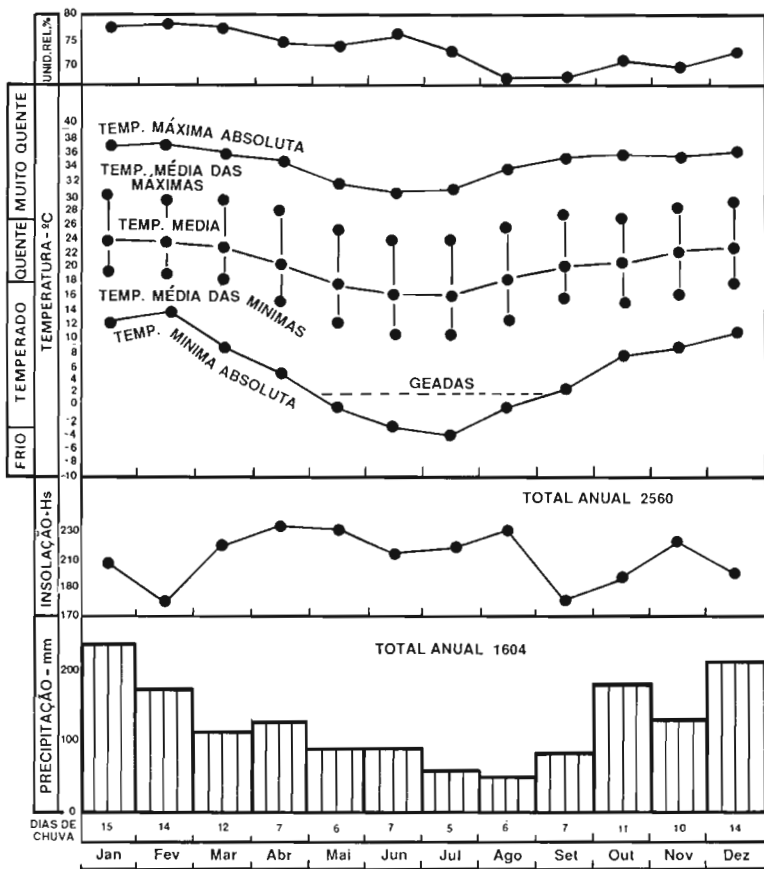


Fig. 2 - Gráfico da distribuição mensal dos principais elementos meteorológicos segundo as Médias Climatológicas do período 1956 - 1975 para a Localidade de Londrina - PR. Tipo de clima ; Cfa.
 Fonte: 7º Distrito de Meteorologia - MA - SP.

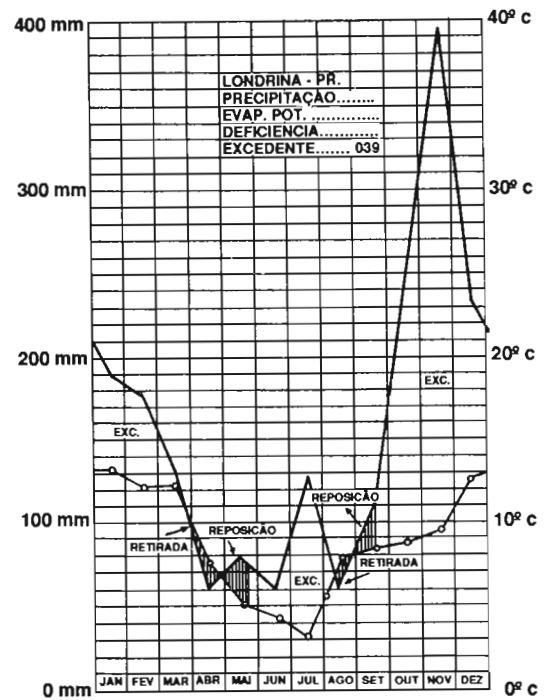


FIGURA 3. Balanço Hídrico para Londrina, no período de 1958 a 1975.

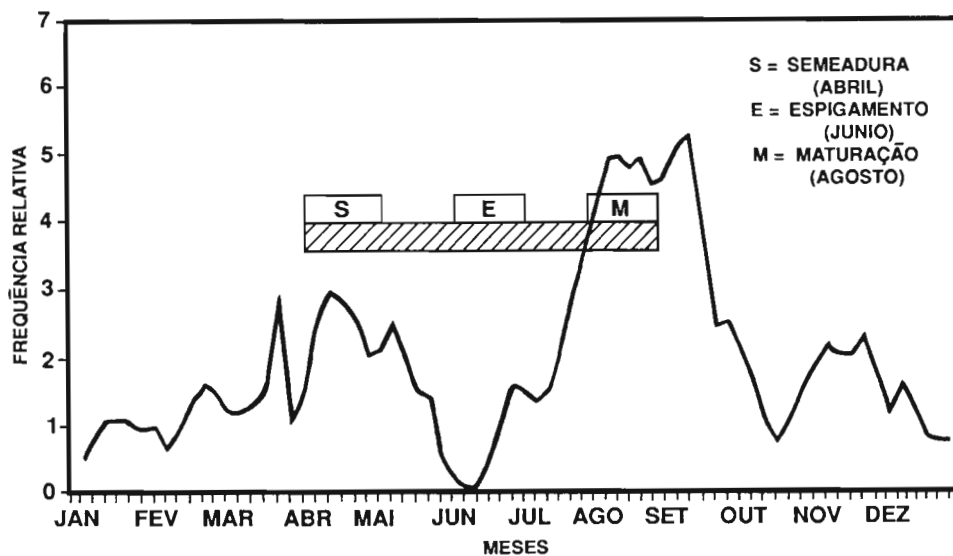


Figura 4: Frequência de varanicos para trigo - Londrina, PR.

TRIGO: FITOMEJORAMIENTO Y CARACTERISTICAS DE ALGUNAS ZONAS AGROCLIMATICAS EN CHILE

I. Ramírez, A.; R. Novoa, S-A; y S. Villaseca, C.

Programa Mejoramiento Trigo-INIA
Proyecto Agrometeorología-INIA
Santa Rosa 11610, Paradero 33, Casilla 439/3,
Santiago de Chile

Resumen

El trigo, cultivo anual de mayor importancia en Chile, se produce en condiciones de riego y secano, bajo un régimen de clima mediterráneo, con lluvias principalmente en invierno y sequía estival. El clima chileno es condicionado por la presencia del anticiclón del Pacífico, la topografía, y la corriente marina fría de Humboldt. Estos factores causan la presencia de un clima desértico desde la Latitud 29°S al norte; mediterráneo con invierno lluvioso entre los 29° y 40°S, y marino sin meses secos de la Latitud 40°S al Sur.

El cultivo del trigo es posible desde los climas desértico del Norte (bajo riego) hasta la región norte de la Latitud 50°S del clima marino. En fitomejoramiento no se ha considerado prioridad en líneas de investigación para sequía, como tampoco se han utilizado métodos o aplicado procedimientos para una selección específica de resistencia o tolerancia a stress hídrico. Las condiciones climáticas de las principales zonas trigueras o el cultivo bajo sistemas de riego permite "normalmente" superar situaciones de déficit hídrico graves.

Los datos que se están obteniendo a través del Programa de Agrometeorología y Producción de INIA son de interés para el Programa de Fitomejoramiento de trigo ya que permitirán a futuro optimizar la selección de variedades mejoradas para los sistemas de producción más eficientes que se diseñen para cada zona agroclimática.

El trigo es el cultivo anual de mayor importancia en Chile. (Cuadros 1 y 2). Se cultiva en condiciones de riego y secano y, en general bajo un régimen de clima mediterráneo. Las lluvias se concentran en invierno, principalmente en las zonas trigueras del norte del país, por lo que en estas áreas se encuentran las mayores superficies bajo riego.

Principales climas de la Zona Triguera Chilena

El clima chileno está determinado por la presencia del anticiclón del Pacífico, la topografía y el mar, en especial la corriente marina fría de Humboldt.

El anticiclón del Pacífico es en gran medida el responsable del régimen hídrico del país pues evita el paso de frentes polares hacia el norte. En invierno su influencia no permite el paso de frentes más allá de la latitud 29°S y, en verano no más allá de la latitud 40°S. Por ello tenemos un clima desértico, todos los meses secos, de la latitud 29°S al norte; mediterráneo, con lluvias de invierno, de la latitud 29°S a la 40°S, y marino, sin meses secos, de la latitud 40°S al sur (Figuras 1-6). Por su parte la topografía produce una variación transversal de oeste a este, en las lluvias. Estas son más

abundantes en la vertiente oeste de la cordillera de la Costa y de los Andes, sectores donde hay vientos ascendentes, que en la vertiente este donde los vientos son descendentes. La corriente marina de Humbolt baja la temperatura, ello produce climas menos cálidos en Chile que, a la misma latitud, en Argentina o Brasil.

El cultivo de trigo es posible en Chile en los climas desérticos del norte, los mediterráneos del sur y en la parte norte de la latitud 50°S de climas marinos, pues más al sur de esta latitud las temperaturas son muy bajas. Esto es, el trigo se puede cultivar desde la latitud 18°S a la 50°S, aproximadamente.

En el sector desértico y mediterráneo semiárido con lluvias inferiores a 200-250 mm, el trigo sólo es posible con riego. En el sector mediterráneo es posible con riego o sin él, pero con producciones limitadas por agua, y en el sector marino no hay limitaciones hídricas.

Sector de Secano Mediterráneo Marino Semiárido

En este sector el clima es benigno, no hay problemas con las heladas pero el trigo de secano es factible donde las lluvias son superiores a los 250 mm. Además, el riesgo es alto ya que la variación anual de las lluvias es muy grande. Son muy frecuentes los años de menos de 250 mm que son de muy baja producción o pérdida total del cultivo.

Sector de Secano Mediterráneo Marino Húmedo

En esta zona las lluvias son normalmente adecuadas para el trigo, pero con sequías, que empiezan poco después de la floración (Octubre). Además en primavera se producen heladas. Ello obliga a cultivar variedades que no espiguen muy temprano y que tengan un período corto de floración a madurez.

Sector de Secano Mediterraneo Marino Seco

Este sector es similar al anterior pero con mayor restricción hídrica, la sequía empieza más temprano y por ello los rendimientos potenciales son menores (4 toneladas) que en la zona anterior (5-6 t/ha).

Sector Mediterráneo Marino del Llano Central

En este caso el régimen hídrico es tan seco como en el secano interior pero con temperaturas algo inferiores lo que atrasa el desarrollo hasta un período más seco. Sólo se cultiva trigo de riego. Sin riego el cultivo no es comercial pues los rendimientos serían muy bajos.

Sector Mediterráneo Marino Húmedo

Zona de condiciones muy favorables para el cultivo de trigo de secano con sequías que comienzan en Diciembre. Por sus condiciones es factible cultivar variedades invernales, alternativas y primaverales sin riego. En el área de la precordillera andina (300-600 msnm) las heladas son un problema y también el fenómeno llamado "descalce". Este es producido por un congelamiento superficial del suelo que provoca el desarraigo de plántulas al expandirse el suelo.

Fitomejoramiento

La investigación en trigo se desarrolla en INIA en tres centros principales:

- Zona Centro-Norte:
 - Estación Experimental La Platina--Santiago
 - Subestación Experimental Hidango, secano costero
- Zona Centro-Sur:
 - Estación Experimental Quilamapu--Chillán
 - Subestación Experimental Humán--Los Angeles

- Zona Sur:
Estación Experimental Carillanca, Temuco
Subestación Experimental La Pampa, Osorno

Cada centro principal opera además una red de Ensayos Regionales en su área de influencia.

En la zona Centro-Norte, la E.E. La Platina realiza investigaciones principalmente en trigos de primavera tanto de pan, como candeales (durum) para pastas; también se realizan trabajos de mejoramiento con materiales alternativos para la zona del secano costero húmedo de esta Región. Las Ests. Exps. Quilamapu y Carillanca, en las zonas Centro-Sur y Sur llevan líneas de investigación en materiales de invierno, alternativos y primaverales de trigos de pan.

Objetivos generales

Productividad

- Elevado potencial genético para rendimiento.
- Capacidad para expresar potencial mediante empleo de nutrimentos adecuados en el momento apropiado.
- Estabilidad de rendimiento a través de los años.

Adaptación

- Coincidencia entre ciclo de desarrollo del cultivo y condiciones climáticas específicas de una región determinada.
- Coincidencia con las prácticas culturales acostumbradas y con la nueva tecnología de producción en desarrollo.
- Adecuación a manejos culturales excepcionales y tolerancia a tratamientos químicos, herbicidas, insecticidas, etc.
- Formulación de paquetes tecnológicos.
- Formulación de sistemas de producción.

Prioridades de investigación

Se considera prioritarios en el desarrollo de variedades mejoradas los aspectos siguientes:

- Trabajos en royas: *P. graminis*, *P. striiformis*, y *P. recondita*
- Septoriosis: *S. tritici* y *S. nodorum*
- Pudriciones radiculares: *G. graminis*, *Fusarium* sp.
- Virosis y áfidos: VEAC y acción del complejo áfidos-virus

Mejoramiento de calidad: Selección para alto peso de hectólitro, especialmente en trigos invernales y alternativos; aumento en contenido de proteína del grano; mejor calidad panadera.

Integración con investigaciones en manejo del cultivo, para diseñar paquetes tecnológicos y formulación de sistemas de producción.

Divulgación eficiente de los resultados de la investigación y producción.

No se han considerado de prioridad líneas de investigación específicas sobre fitomejoramiento para sequía ya que las condiciones climáticas de las principales regiones tritícolas--pluviometría suficiente--o el cultivo en sistemas de riego, permite normalmente superar situaciones de déficit hídrico graves. Sin embargo, se ha tratado de mantener una adecuada presión de selección para "adaptación" en el material genético avanzado mediante un sistema de "ensayos regionales". Estos experimentos, se colocan todos los años en las distintas zonas agroclimáticas.

Para aquellas áreas de secano situadas en las zonas agroclimáticas Mediterránea-semiárida y Mediterránea-seca, con escasa pluviometría (250-350 mm), muy concentrada en los meses de invierno, se ha tratado de seleccionar genotipos de trigo primaveral de ciclo corto, entre 90 y 120 días desde siembra a fecha de espigadura--floración. Han sido estas características de precocidad las variables consideradas principalmente en la selección de trigos que puedan "escapar" de las condiciones de sequía en primavera que se producen en las zonas mencionadas.

No se han utilizado métodos o procedimientos de selección específica para sequía en material segregante. La selección por precocidad se hace generalmente en las generaciones avanzadas ya sea a nivel de campo experimental o en los Ensayos Regionales.

Actualmente existe bastante interés en el Programa Fitomejoramiento en utilizar los datos que está obteniendo y tabulando el Programa de Agrometeorología y Producción de INIA a través de su red de Estaciones Meteorológicas. El objetivo es afinar y optimizar la selección de variedades mejoradas de trigo en relación a los sistemas de producción más eficiente que se diseñen a futuro para cada zona agroclimática.

Anexos a este trabajo se presentan las fichas de datos agroclimáticas, los climodiagramas y mapas agroclimáticos de algunas zonas trigueras del país, a manera de ilustración de la información agroclimática disponible en INIA.

Wheat: Plant Breeding and Agroclimatic Characteristics in Certain Areas of Chile

Abstract

Wheat, the most important annual crop in Chile, is sown under irrigated and rainfed conditions in Mediterranean environments with mostly winter rains and summer drought. The weather in Chile is affected by Pacific anticyclones, topography and the cold Humboldt Stream. Because of these factors desert-type climates are prevalent in latitudes ranging from 29°S to the north, Mediterranean environments with a rainy winter season are found between 29 and 40°S, and maritime climates without a dry season from 40°S to the south.

Wheat can be grown in an area extending over the desert environment (under irrigation) to the north and the marine climate north of 50°S latitude. Breeding for drought tolerance has not been a priority, and thus no specific selection has been done nor breeding methodologies applied for this purpose. In the main wheat producing regions severe drought stress is usually avoided as a result of climatic conditions or irrigation.

Data being obtained through INIA's Agrometeorology and Production Program are of interest to the Wheat Breeding Program because in the future they will make it possible to develop improved varieties for the more efficient cropping systems that may be adopted in each agroclimatic area.

Cuadro 1. Superficie sembrada con cereales (ha) 1975-89.

Año	Trigo	Avena	Cebada	Centeno
1975-1979	630.442	80.486	61.142	9.652
1981-1982	373.800	68.320	57.480	5.490
1982-1983	355.050	84.470	43.250	4.920
1983-1984	472.250	96.250	33.150	3.390
1984-1985	506.190	84.920	35.040	5.030
1985-1986	569.170	63.860	22.720	4.676
1986-1987	676.560	55.510	16.370	2.380
1987-1988	576.630	60.710	24.070	2.000
1988-1989	540.290	68.690	24.590	--

Cuadro 2. Trigo en Chile, 1975-89.

Años	Superficie (ha)	Rendimiento (qq/ha)	Producción (t)
1975-1979	630.442	15.9	1,000.403
1979-1980	545.470	18.2	992.755
1980-1981	432.160	15.9	687.134
1981-1982	373.800	17.4	650.412
1982-1983	355.050	17.0	603.585
1983-1984	471.250	20.7	975.487
1984-1985	506.190	23.0	1,164.910
1985-1986	569.170	28.6	1,625.809
1986-1987	676.560	27.7	1,874.071
1987-1988	576.630	30.1	1,734.199
1988-1989	540.290	32.7	1,765.525

LA PLATINA: Datos climáticos.

Latit. 33o 34'S

Long. 70o 38'W

Elev. 625 msnm.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Temp. Máx. °C	29.0	27.9	25.6	22.8	18.7	14.1	14.1	15.8	18.3	20.8	24.5	27.1
Temp. Mín. °C	10.3	9.5	8.3	5.7	4.8	3.0	2.8	3.1	4.2	6.0	7.8	9.7
Temp. Med. °C	19.7	18.7	17.0	14.3	11.8	8.6	8.5	9.5	11.3	13.4	16.2	18.4
Precipit., mm	0.6	0.5	3.1	14.7	58.4	83.5	107.0	52.4	23.4	17.2	12.7	2.3
Humed. Rel., %	58	60	62	70	77	81	81	78	74	69	63	59
Evap. Tanque	238.5	185.3	147.3	85.6	42.2	27.6	27.1	45.6	72.2	115.8	163.8	223.1
Heliofanía	11.9	11.2	9.0	6.9	4.7	3.7	3.9	5.3	5.8	7.6	9.6	10.5
Radiación	660	584	478	332	204	174	177	278	354	491	572	650
Vel. Med. Viento	7.5	7.0	6.0	4.0	3.3	3.5	3.3	3.7	4.4	5.6	6.9	7.0
Nebulosidad	1/8	2/8	2/8	3/8	5/8	5/8	5/8	5/8	4/8	4/8	3/8	2/8

Suelo

Textura

Descripción del perfil

Capacidad de almac. de agua

: Media franco-arenoso; franco-arcillo-arenoso; franco arenoso

: Molisol, profundidad media, 50 cm, sobre grava

: 75-120-130 mm

Cultivo

Rotación común

Fechas de siembra(Dif.cultivos)

Fechas floración

Fechas cosecha

Densidad de siembra

Profundidad de siembra

Espaciamiento entre surcos

Otra información

: Trigo, chacras (maíz, frejoles, papas) pradera artificial, remolacha.

: Trigo: Junio. Chacras: Octubre-Noviembre

: Octubre/Noviembre

: Diciembre/Enero

: 60 kg/ha

: 3-8 cms

: 18-20 cm

: Clima mediterráneo, marino seco. 369 mm pma., secano seco interior, RM, V Regiones. Areas de riego; llano Central

LOS VILOS: Datos climáticos.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Temp. Máx. °C	21.1	21.2	20.1	18.2	16.8	15.3	14.6	14.7	15.6	17.1	18.5	20.1
Temp. Mín. °C	12.8	12.8	12.1	10.4	9.3	7.9	7.6	7.8	8.2	8.8	10.3	12.1
Temp. Med. °C	17.0	17.0	16.1	14.3	13.1	11.6	11.1	11.3	11.9	13.0	14.4	16.1
Precipit., mm	0.1	0.0	1.5	7.8	24.7	40.1	75.1	25.9	18.4	7.4	7.7	0.3
Humed. Rel., %	75	76	79	81	82	72	83	84	83	82	78	77
Evap. Tanque	166.2	146.5	118.5	85.1	58.0	46.6	44.0	50.2	73.1	106.0	134.1	137.7
Heliofanía	8.4	8.2	6.1	5.7	4.3	4.2	4.6	4.9	5.1	6.7	6.5	6.7
Radiación	596	553	407	309	198	163	187	253	339	474	510	553
Vel. Med. Viento												
Nubosidad	3/8	3/8	4/8	4/8	5/8	5/8	5/8	5/8	5/8	4/8	4/8	4/8

Suelo

Textura : Media franco-arcillo-arenoso
 Descripción del perfil : Profundidad media, 40-50 cm, o más
 Capacidad de almac. de agua : 80-120 mm.

Cultivo

Rotación común : Barbecho, trigo, pradera natural 3-4 años
 Fechas de siembra(Dif.cultiv) : Trigo Mayo-Junio
 Fechas floración : Setiembre/Octubre
 Fechas cosecha : Noviembre/Diciembre
 Densidad de siembra : 90-120 kg/ha secano
 Profundidad de siembra : 3-8 cms
 Espaciamiento entre surcos : 18-20 cm; al voleo
 Otra información : Clima mediterráneo semiárido, 209 mm pma. Zona secano seco, IV Región.

QUELENTARO: Datos climáticos

Latit. 36° 32' S
 Long. 71° 35' W
 Elev. 265 msnm

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Temp. Máx. °C	27.7	26.6	24.7	22.0	17.0	13.6	12.8	14.4	16.8	19.6	23.4	25.6
Temp. Mín. °C	13.2	12.9	11.7	10.1	9.0	7.1	5.8	6.0	7.1	8.4	10.4	11.9
Temp. Med. °C	20.5	19.8	18.2	16.1	13.1	10.4	9.0	10.2	12.0	14.0	16.9	18.8
Precipit., mm	0.4	0.1	3.8	22.6	59.1	126.5	92.7	73.0	31.4	16.0	5.7	7.6
Humed. Rel., %	56	61	60	65	75	81	80	79	77	76	66	62
Evap. Tanque	292.2	238.0	197.8	126.0	64.1	34.8	39.3	54.9	87.1	134.1	201.4	259.0
Heliofanía												
Radiación	599	511	419	309	189	147	174	246	282	428	546	584
Vel. Med. Viento	4.9	4.7	4.1	4.1	4.2	4.3	4.2	4.1	4.1	4.4	4.7	4.8
Nubosidad												

Suelo

Textura : Franco-arenoso; franco-arcillo-arenoso
 Descripción del perfil : Alfisol, poco profundo, 30-35 cm
 Capacidad de almac. de agua : 60-90 mm

Cultivo

Rotación común : Barbecho, trigo, pradera natural 3-4 años, garbanzos
 Fechas de siembra (Dif.cultivos) : Mayo/Junio
 Fechas floración : Septiembre/Octubre
 Fechas cosecha : Noviembre/Diciembre
 Densidad de siembra : 90-120 kg/ha
 Profundidad de siembra : 3-8 cms
 Espaciamiento : 20 cm; siembra al voleo
 Otra información : Clima mediterráneo, marino seco; Secano seco interior, 439 mm pma, V, RM, VI Regiones.

HIDANGO: Datos climáticos

Latit. : 34° 07'S

Long. : 71° 44'W

Elev. : 304 msnm

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Temp. Max. °C	24.4	24.7	22.9	20.3	16.1	13.6	13.3	14.9	16.2	18.2	19.8	22.9
Temp. Min. °C	11.1	11.3	10.2	9.4	7.6	5.4	5.5	6.0	6.1	7.0	8.4	10.4
Temp. Med. °C	17.8	18.0	16.6	14.9	11.9	9.5	9.4	10.5	11.2	12.6	14.1	16.7
Precipit., mm.	0.8	1.1	8.6	38.6	185.3	195.6	248.0	102.9	59.9	32.9	24.8	4.1
Humed. Rel., %	71	71	79	84	87	88	89	88	85	76	80	71
Evap. Tanque	223.4	197.7	147.1	92.7	40.6	29.3	27.3	43.8	66.4	116.3	143.9	201.7
Heliofanía	10.7	10.8	8.1	6.1	4.2	4.1	4.2	5.5	6.3	8.7	8.9	9.7
Radiación	523	505	362	234	136	111	123	196	284	423	472	513
Vel. Med. Viento												
Nubosidad	2/8	2/8	3/8	4/8	5/8	5/8	5/8	5/8	4/8	3/8	3/8	3/8

Suelo

Textura : Franco-arcillo-arenoso
 Descripción del perfil : Alfisol, profundidad media, 50-70 cm
 Capacidad de almac. de agua : 120-140 mm

Cultivo

Rotación común : Barbecho, (garbanzo, chícharos), trigo, pradera natural o sembrada
 Fechas de siembra (Dif. cultivos) : Mayo/Junio
 Fechas floración : Octubre
 Fechas cosecha : Diciembre/Enero
 Densidad de siembra : 140-160 kg/ha
 Profundidad de siembra : 3-10 cms
 Espaciamiento entre surcos : 20 cm; siembra al voleo
 Otra información : Clima mediterráneo, marino; Zona secano costero húmedo 897 mm pma., VI, VII Regiones

SANTA ROSA: Datos climáticos

Latt. 36° 32'S

Long. 71° 55'W

Elev. 217 msnm

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Temp. Max. °C	28.4	27.3	26.5	21.8	16.2	13.2	13.4	15.3	17.0	19.7	23.7	27.4
Temp. Min. °C	8.8	7.9	6.2	3.7	3.6	1.9	3.2	2.6	3.4	4.4	6.7	8.6
Temp. Med. °C	18.6	17.6	16.4	12.8	9.9	7.6	8.3	9.0	10.2	12.1	15.2	18.0
Precipit., mm.	27.0	14.3	12.9	87.0	264.6	196.0	254.7	118.3	115.3	66.9	31.6	8.6
Humed. Rel., %	66	68	75	82	88	85	88	83	81	78	74	71
Evap. Tanque	178.9	161.4	135.4	66.5	43.1	35.5	26.9	37.5	89.4	123.2	164.1	200.6
Heliofania	10.3	10.3	8.3	6.9	2.8	3.1	2.8	4.6	5.0	6.8	9.2	10.4
Radiación	616	580	449	299	191	170	158	227	265	400	539	574
Vel. Med. Viento												
Nubosidad	2/8	2/8	3/8	4/8	7/8	5/8	6/8	5/8	5/8	4/8	3/8	2/8

Suelo

Textura : Franco-limoso-franco-arenoso fino
 Descripción del perfil : Andisol, sobre grava gruesa; profundo 80-100 cms., o más
 Capacidad de almac. de agua : 120-140 mm

Cultivo

Rotación común : Pradera, trigo, remolacha, raps; frejoles, trigo, pradera
 Fechas de siembra (Dif. cultivos) : Trigo invierno: Mayo/Junio; trigo primavera: Agosto/Setiembre
 Fechas floración : Octubre/Noviembre
 Fechas cosecha : Enero/Febrero
 Densidad de siembra : 140-160 kg/ha
 Profundidad de siembra : 3-8 cms
 Espaciamiento entre surcos : 20 cm; siembra al voleo
 Otra información : Clima mediterráneo templado húmedo. Zona secano, riego, riego eventual 1025 mm p.m.a., VII, VIII Regiones.

TEMUCO CARILLANCA: Datos climáticos.

Latt. 38° 41'S

Long. 72° 25'W

Elev. 200 msnm

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Temp. Max. °C	21.5	21.1	19.5	15.9	11.9	9.9	9.7	10.7	12.6	14.6	17.2	19.7
Temp. Min. °C	7.6	6.9	5.6	4.2	4.5	3.0	2.3	2.6	2.7	4.1	5.9	6.7
Temp. Med. °C	14.6	14.0	12.6	10.1	8.2	6.5	6.0	6.7	7.7	9.4	11.6	13.2
Precipit., mm	50.2	43.0	41.2	91.1	236.6	224.9	218.1	160.5	105.6	99.2	59.9	63.7
Humed. Rel., %	73	74	77	83	85	89	89	85	81	81	79	75
Evap. Tanque	161.3	126.1	93.5	48.0	27.5	26.3	20.0	30.6	57.8	83.3	101.2	145.3
Heliofania	8.4	8.2	6.8	5.0	3.0	2.3	2.6	3.6	4.9	6.2	7.0	7.9
Radiación	636	543	446	289	149	148	157	226	333	456	557	618
Vel. Med. Viento												
Nubosidad	73	74	77	83	85	89	89	85	81	81	79	75

Suelo

Textura : Franco a franco limoso
 Descripción del perfil : Andisol; profundo 80-100 cm, o más
 Capacidad de almac. de agua : 130-140 mm

Cultivo

Rotación común : Avena, trigo, pradera; papas, raps, trigo, pradera, remolacha.
 Fechas de siembra (Dif. cultivos) : Trigo invierno: Mayo - Trigo primavera: Agosto/Setiembre
 Fechas floración : Octubre/Diciembre
 Fechas cosecha : Enero-Febrero
 Densidad de siembra : 140-160 kg/ha
 Profundidad de siembra : 3.8 cms
 Espaciamiento entre surcos : 20 cm; al voleo
 Otra información : Clima mediterráneo frío; Zona cultivo bajo regimen hídrico con pluviometría alta 1.386 mm pma, IX-X Regiones.

FIGURA 1. CLIMODIAGRAMA LOS VILOS
 Lat. 31°52'S Long. 71°28'W Alt. 30 msnm

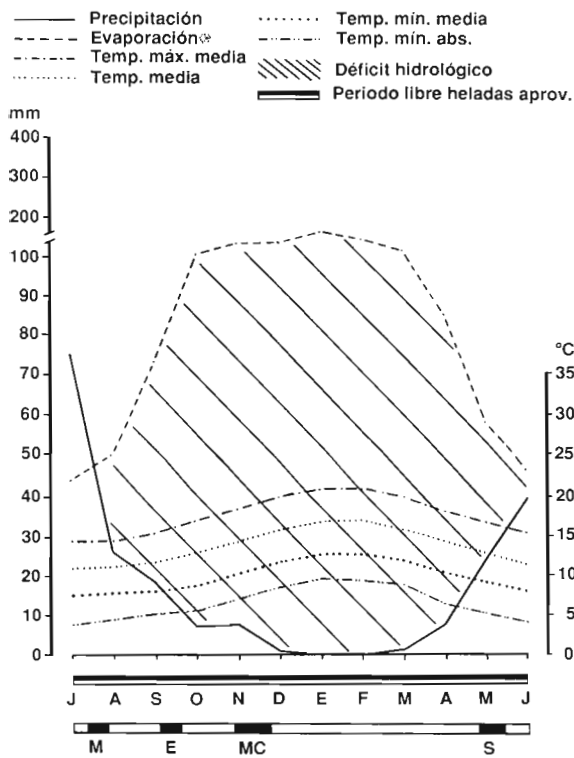


FIGURA 2. CLIMODIAGRAMA LA PLATINA
 Lat. 33°34'S Long. 70°38'W Alt. 625 msnm

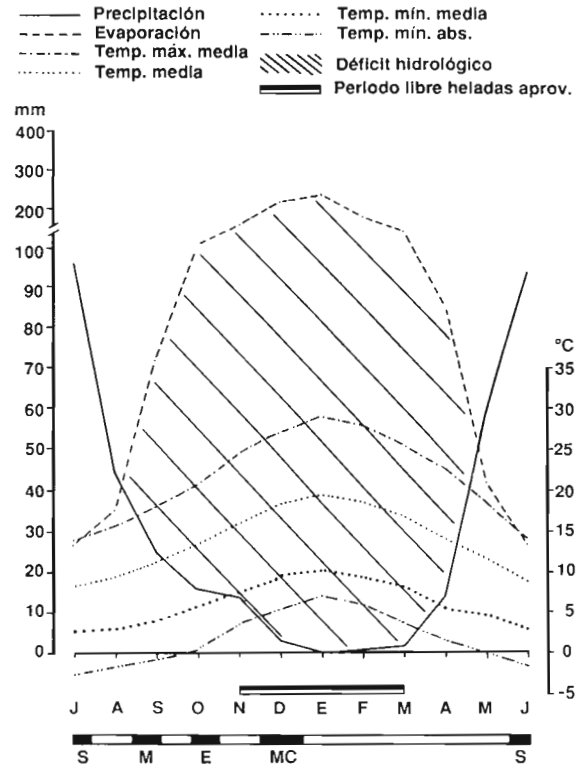


FIGURA 3. CLIMODIAGRAMA QUELENTARO
 Lat. 34°03'S Long. 71°35'W Alt. 265 msnm

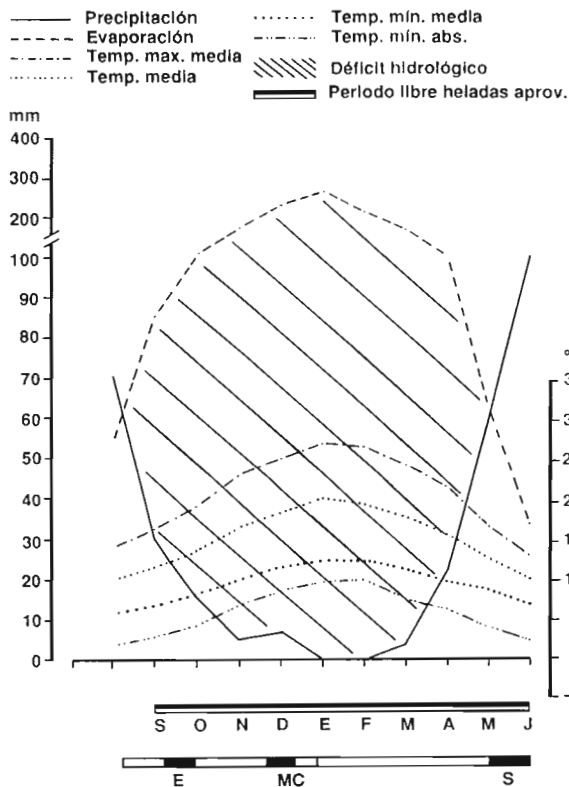


FIGURA 4. CLIMODIAGRAMA HIDANGO
 Lat. 34°07'S Long. 71°44'W Alt. 304 msnm

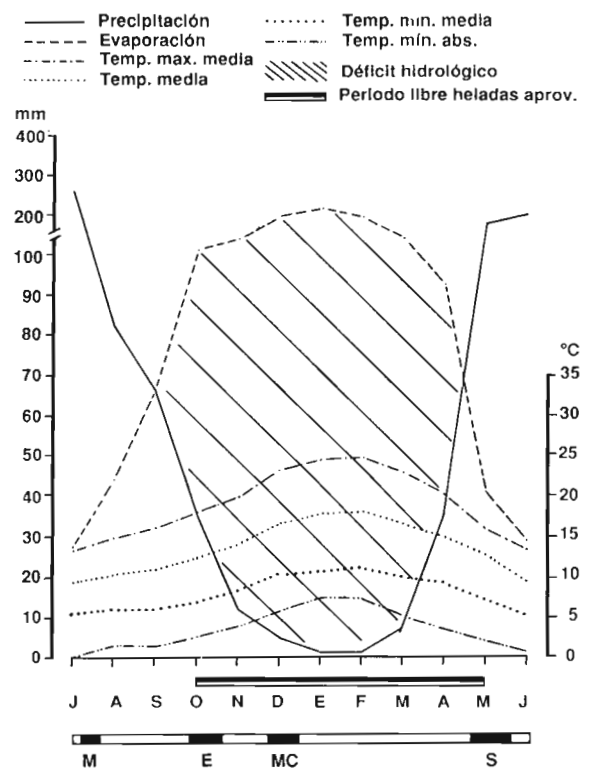


FIGURA 5. CLIMODIAGRAMA CHILLAN

Lat. 36°34'S Long. 72°06'W Alt. 144msnm

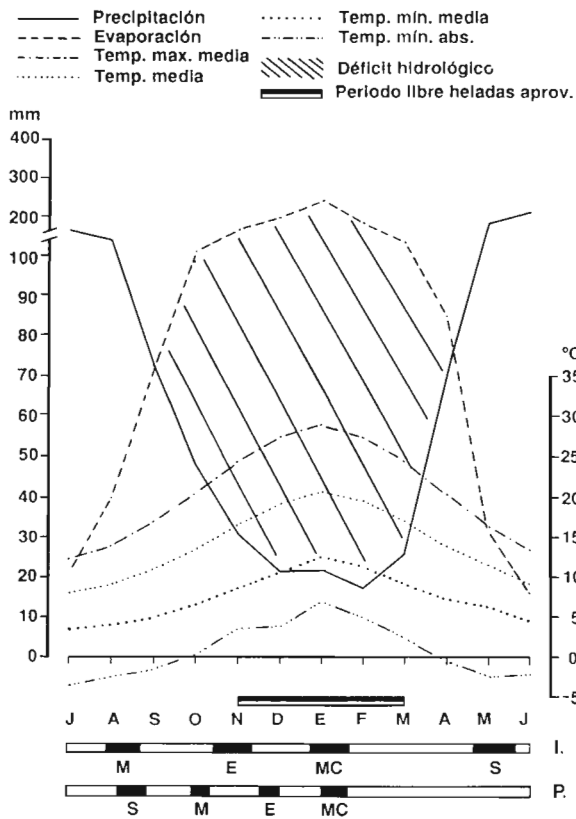
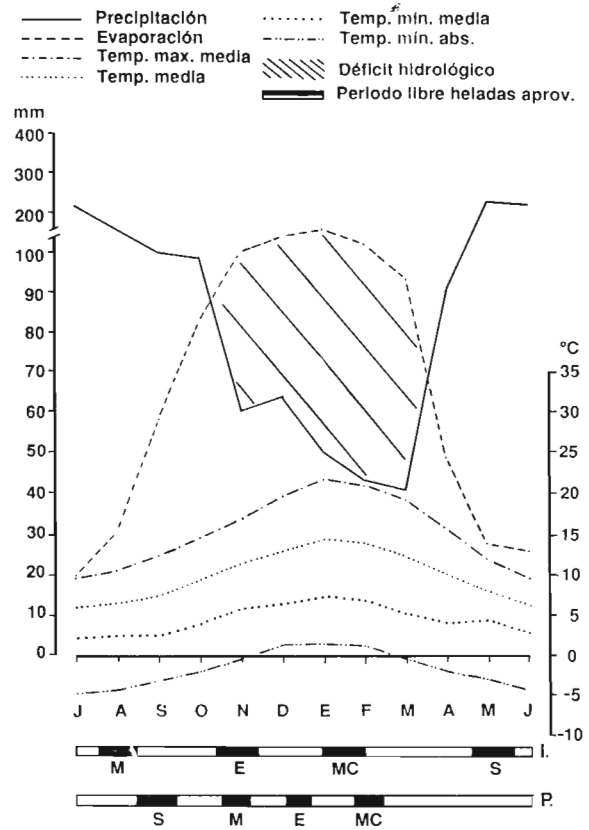


FIGURA 6. CLIMODIAGRAMA CARILLANCA

Lat. 38°41'S Long. 72°25'W Alt. 200msnm



COMPORTAMIENTO DEL TRIGO Y OTROS CEREALES EN AREAS CON DEFICIT HIDRICO DE LA ZONA CENTRO SUR DE CHILE

Mario Mellado Z.

Ing. Agrónomo. Programa Trigo
Estación Experimental Quilamapu
Casilla 426, Chillán, Chile

Resumen

En la zona centro sur de Chile se siembran aproximadamente el 40% del trigo nacional. De esta superficie alrededor del 28% estaría sometida a déficit hídrico, durante alguna fase de desarrollo del cultivo. De esta manera, la falta de humedad aprovechable puede interferir con el establecimiento de las sementeras en otoño y lo que es más generalizado, limita el crecimiento y desarrollo en primavera. En estos suelos con déficit hídrico se han encontrado marcadas diferencias en el comportamiento de variedades de distinto período vegetativo. Ello ha permitido realizar una especie de mejoramiento por eficiencia en el uso del agua, seleccionando variedades de primavera que maximizan el rendimiento en función del agua disponible en los períodos más críticos, especialmente entre la espigadura y grano acuoso. Se ha determinado que en condiciones de déficit hídrico los trigos duros son más afectados que los trigos harineros.

Introducción

El área triguera de Chile se extiende entre los 29° y 41° de latitud sur y en ella las precipitaciones aumentan de norte a sur, en tanto que las temperaturas siguen una tendencia opuesta (Cuadro 1)

En la zona centro sur (35° a 38° lat. sur), se siembra aproximadamente el 40% del trigo nacional, y en ella es posible distinguir cuatro áreas agroecológicas: secano costero, secano interior, llano central y secano de precordillera. Analizando los climodiagramas para estas cuatro áreas, se puede establecer los períodos en los cuales el agua de lluvia es suficiente o insuficiente para cubrir la demanda evaporativa de la atmósfera. Esta última, expresada como evaporación de bandeja, sería una buena aproximación de lo que gasta un cultivo como el trigo.

Tomando como criterio el punto anterior, en la Figura 1 puede observarse que en la *región costera* la humedad del suelo es adecuada hasta inicios de octubre, y que las temperaturas son moderadas durante toda la estación de crecimiento del trigo, debido a la influencia marina.

El *secano interior* de la VII y VIII Regiones, comprende unas 150,000 hectáreas de suelos arables, los cuales son en su mayoría muy pobres en materia orgánica y con niveles moderados a fuertes de erosión. Los valores de evaporación de bandeja son elevados (Figura 2), y generalmente exceden a las precipitaciones durante etapas críticas del cultivo del trigo, por lo que el déficit hídrico, que se inicia en septiembre, se constituye en la principal limitante. Respecto a la distribución de las lluvias, un 56% corresponde al invierno, 25% al otoño, 16% a la primavera y 3% al verano.

En el *llano central* de las regiones VII y VIII, las precipitaciones y evaporación de bandeja son semejantes al secano interior (Figura 3), pero en esta área se dispone de agua de riego para la mayor parte de los suelos cultivados (aproximadamente 540,000 ha).

En el *secano de precordillera*, ubicado entre los 300 y 600 m de altitud, los suelos son en su mayoría de origen volcánico y poseen abundante materia orgánica. En esta área las lluvias son las más abundantes y las temperaturas las más bajas de la zona centro sur, por lo cual la humedad del suelo generalmente no es limitante para el cultivo del trigo (Figura 4). Esta afirmación fue corroborada, en seis ensayos de campo efectuados por el Programa de Riego de la Estación Experimental Quilamapu, durante 1981 y 1982. En ellos se determinó que la aplicación artificial de agua incrementó significativamente el rendimiento de grano de trigo en los ensayos del *secano interior* y en el *llano central*, pero no en el *secano de precordillera* (Figura 5).

De acuerdo al análisis anterior el déficit hídrico se presenta como una limitante productiva, solamente en el *secano interior*. Esta restricción hídrica es variable en su duración y en su aparición estacional. A veces interfiere con el establecimiento de las sementeras en otoño, y casi siempre limita el crecimiento y desarrollo en la primavera.

Aunque no existen datos oficiales sobre rendimiento y superficie sembrada con trigo en estas cuatro áreas, a juicio del autor, las cifras serían las indicadas en el Cuadro 2.

De acuerdo a los datos del Cuadro 2, se deduce que en la región Centro Sur de Chile, un 28% de la superficie sembrada anualmente con trigo estaría sometida a déficit hídrico (*secano interior*). En esta área la superficie de trigo está distribuida en una cantidad muy grande de pequeños productores, que necesitan un sistema productivo que minimice el efecto negativo de la restricción hídrica, y la erosión del suelo. Por esta razón el Programa de Trigo de la Estación Experimental Quilamapu, permanentemente ha dedicado una parte de su investigación a resolver este problema a través del mejoramiento varietal.

Metodología de trabajo y resultados

La metodología para seleccionar variedades de trigo por su potencial de rendimiento, en condiciones de restricción de humedad, ha consistido en estudiar las diferentes etapas de crecimiento del trigo, relacionándolas con las variaciones del clima, principalmente las lluvias. Por esta razón, se ha dado gran importancia a los ensayos de variedades en distintos ambientes de la zona centro sur. Se debe recordar que tanto el rendimiento como la adaptación son caracteres cuantitativos muy afectados por el medio ambiente, por lo tanto mientras más determinaciones se efectúen, más confiables serán los resultados.

En el *secano interior* donde normalmente ocurre déficit hídrico, se han encontrado marcadas diferencias en el comportamiento de variedades de distinto período vegetativo, y ello ha permitido realizar una especie de mejoramiento por eficiencia en el uso del agua. Esta selección por eficiencia, trata a través de un mecanismo de escape, de seleccionar genotipos con un ciclo vegetativo tal que maximicen el rendimiento en función del agua disponible en los períodos más críticos, especialmente entre la espigadura y grano acuoso.

A continuación se entregarán resultados de ensayos efectuados en suelos con y sin déficit hídrico.

- a) En 1979 se efectuó un ensayo en condiciones de riego y *secano*, en el cual se compararon cinco cereales de diferente ciclo vegetativo. Los datos presentados en la Figura 6, indican que el centeno Tetra, de largo período vegetativo, aunque fue el cereal con mayor producción en condiciones de riego (54 qqm/ha), presentó el menor rendimiento en el *secano* (15 qqm/ha), es decir, se trata de una variedad muy inestable. La situación opuesta se observó con el Triticale de primavera "Yoco", el cual en riego rindió 42 qqm/ha y en el *secano* solo bajó a 35 qqm/ha, es decir, este cereal habría tenido un buen sincronismo entre las exigencias de agua en sus etapas críticas, y la disponibilidad de humedad del suelo.

b) En una red de ensayos efectuados durante los años 1985-1986, en el *secano interior* de la Séptima Región, se comprobó el mejor rendimiento y mayor estabilidad de los trigos precoces de primavera en comparación a los de mayor ciclo vegetativo, en condiciones de restricción de humedad (Figura 7). En estos ensayos el rendimiento medio de las variedades de primavera semienanas fue de 38 qqm/ha, y durante todos los años de estudio, superaron a las variedades tardías, mostrando además una mayor estabilidad.

Debido a que la madurez tardía de las variedades aparece como una característica indeseable en los secanos semiáridos, una comparación de las fechas de espigadura es una excelente información como valor predictivo de la capacidad de rendimiento. Al respecto se ha determinado que en el *secano interior*, la fecha óptima de siembra es a inicios de mayo. En estas condiciones, la espigadura se produce a mediados de setiembre en las variedades de primavera, en tanto que los trigos tardíos dilatan este proceso hasta el mes de octubre.

c) En una serie de ensayos regionales efectuados en el *secano interior* y llano central de ñuble (Lat. 36° Sur), se compararon grupos de 25 variedades de trigos de primavera semienanos, durante 1981 a 1988. La Figura 8, indica que el rendimiento promedio de las 25 variedades en los ensayos con restricción hídrica solo alcanzó 33 qqm/ha, lo cual fue equivalente a la mitad de lo obtenido con las mismas variedades en condiciones de riego. Esta diferencia puede ser explicada tomando el concepto de Justus von Liebig (1803-1873), referido al principio de los "factores limitantes", el cual señala: "el nivel de producción de un cultivo no puede ser mayor que el permitido por el más limitante de los factores esenciales de crecimiento". Este factor limitante en el *secano interior* es el agua. En este sentido, la dificultad de elevar el rendimiento más allá de los 30 qqm/ha, en el *secano interior*, no se debería a la falta de genes, conducentes a mayor productividad, sino más bien, a que se llega a un umbral fisiológico impuesto por el déficit hídrico.

d) En la búsqueda de encontrar otro derrotero para elevar el rendimiento del trigo en el *secano interior*, se efectuaron varios ensayos en los cuales se controló, la septoriosis foliar, considerada como la principal enfermedad de esta área. La Figura 9, señala que las aplicaciones de fungicidas, aunque bajaron los niveles de ataque, no elevaron el rendimiento de grano. Los datos anteriores confirmarían que en las siembras de trigo del *secano interior*, una vez ajustado el ciclo de la variedad, la disponibilidad de agua pasa a ser lo más importante en la producción. Por lo tanto, el mejoramiento genético de alguna otra característica agronómica como resistencia a enfermedades adquiere su real valor en áreas agroecológicas donde las condiciones climáticas y de suelo, a la vez que permiten un óptimo desarrollo de la planta, favorecen la presencia de patógenos a nivel de daño económico.

e) Un ensayo que tuvo por objetivo reunir antecedentes dirigidos a seleccionar cereales para condiciones de suelo con restricción de humedad, se realizó durante la temporada 1988-89. Con este propósito se sembraron cuatro grupos de cereales de hábito primaveral, preparados por el Programa de Trigo del CIMMYT en México. Los cereales fueron: 15 trigos harineros, 15 trigos duros, 15 Triticales Completos y 15 Triticales Incompletos.

La siembra del ensayo se realizó el 2 de setiembre de 1988; todos los cereales se sembraron con una dosis de 150 kg/ha, y recibieron las mismas prácticas de manejo.

Las condiciones climáticas en lo referente a precipitaciones, favorecieron los objetivos del ensayo. En efecto fue una primavera relativamente seca, con 5 días de lluvia en setiembre (81 mm), 4 días de lluvia en octubre (36 mm), 1 día en noviembre (38 mm) y 4 días en diciembre (14 mm). Esto hace un total de 169 mm, durante el ciclo del cultivo, los cuales representan solo un 33% de la evaporación de bandeja para ese mismo período.

En la figura 10, se aprecia que el desarrollo de estos cereales transcurrió en condiciones de humedad del suelo inferiores a Capacidad de Campo, con un déficit hídrico muy marcado durante la espigadura, y llegando a Punto de Marchitez Permanente cuando el grano estaba en estado lechoso (11.2 de la Escala de Feekes), es decir en una etapa de intensa acumulación de materia seca en el grano.

Bajo la suposición que en condiciones de manejo óptimo los cuatro grupos de cereales tendrían un rendimiento de grano similar, entonces los datos del ensayo permitirían establecer que los trigos duros fueron los más afectados por el déficit hídrico, correspondiendo a los Triticales Completos el rendimiento promedio más elevado (Figura 11). En términos porcentuales, si el rendimiento promedio de los 15 trigos duros se toma como base 100% (2518 kg/ha), los trigos harineros alcanzaron a 124%, los Triticales Incompletos a 144% y los Triticales Completos a 165%. Si se consideran los rendimientos máximos de cada cereal estas diferencias porcentuales se mantienen para los trigos harineros y los Triticales Completos, pero no para los Triticales Incompletos.

Al analizar el comportamiento de las variedades dentro de cada grupo de cereales, se determinaron diferencias genéticas en rendimiento de grano y biomasa (Cuadros 3, 4, 5 y 6). Es interesante destacar que en los cuatro cereales, la producción de grano estuvo correlacionada positivamente con la producción de biomasa. De esto se deduce que el rendimiento de grano se mantuvo proporcional a la producción de paja, a pesar de las condiciones de déficit hídrico que persistieron durante gran parte del ciclo del cultivo.

Algunos índices promedios para los quince genotipos de cada cereal se indican en el Cuadro 7.

En el Cuadro 8 se indican las correlaciones entre rendimiento de grano y algunas de las características consideradas en este estudio. Lo más destacado es la correlación positiva entre rendimiento de grano y biomasa. Llama la atención que el Índice de Cosecha estuviese correlacionado con rendimiento solamente en los trigos harineros. Considerando que esta correlación implica una eficiente distribución de materia seca, entre grano y paja, a favor del grano, es posible concluir que dentro del grupo de los quince trigos harineros sería posible seleccionar para rendimiento de grano, considerando el Índice de Cosecha.

Este ensayo de cereales permitió establecer que existen diferencias, entre los cereales estudiados, así como entre variedades de un mismo cereal, respecto a producción de grano y biomasa, cuando ellos se cultivan en un ambiente con restricción hídrica.

Teniendo presente que en condiciones de campo, la época, duración e intensidad de la sequía son específicas para un año y por lo tanto raramente repetibles, es posible que los mejores genotipos dentro de cada grupo de cereales, no tengan igual comportamiento en otra temporada.

Conclusiones

Existen diferencias entre cereales respecto a su capacidad para utilizar eficientemente la humedad del suelo cuando ésta es escasa.

Los ensayos regionales efectuados por el Programa de Trigo, han permitido seleccionar genotipos con habilidad para producir satisfactoriamente en un rango amplio de ambientes con y sin restricción hídrica, lo cual es importante desde el punto de vista de una mayor estabilidad fenotípica.

Los trigos precoces, semienanos tienen mejor adaptación que los trigos tardíos en suelos con problemas de sequía, ya que sincronizan mejor su desarrollo con las disponibilidades de agua del suelo.

Performance of Wheat and other Cereals under Drought Stress Conditions in South Central Chile

Abstract

Approximately 40% of the wheat in Chile is planted in the south central part of the country. Of this area, around 28% suffers from drought during one crop stage or the other. The lack of soil moisture curtails crop establishment during the fall and generally restricts growth and development during the spring. In soils showing drought stress, significant differences in variety performance have been identified at the various growth stages. This has allowed breeders to select spring wheat varieties that have higher water use efficiency and that maximize yield as a function of available water during critical periods, especially between heading and the dough stage of the grain. It has been observed that, under drought stress conditions, durum wheats are affected more than bread wheats.

Cuadro 1. Parámetros climáticos del área triguera de Chile.

Localidad	Latitud (Sur)	Precipitación anual (mm)	Temp. media anual (°C)
La Serena	29°54'	78	14,9
Santiago	33°27'	335	14,2
Talca	35°26'	737	14,7
Chillan	36°34'	1054	13,4
Temuco	38°46'	1191	12,0
Valdivia	39°41'	2540	11,9
Puerto Montt	41°28'	1982	11,0

Cuadro 2. Estimación de la superficie sembrada y rendimiento de trigo en la zona centro sur de Chile.

Variables	Areas agroecológicas			
	Secano costero	Secano interior	Llano central	Secano pre-cordillera
Superficie (ha)	10,000	65,000	70,000	85,000
Rendimiento (qq/ha)	25	15	40	30

Cuadro 3. Comparación de quince trigos duros en condiciones de déficit hídrico (INIA, Estación Experimental Quilamapu, 1988-1989).

No.	Variedades y cruzas	Rendimiento de grano (kg/ha)	Biomasa aérea (kg/ha)	Altura (cm)
1.	Altar 84	3.219	6.781	66
2.	Chen'S'	3.031	6.562	61
3.	Mexi 75	2.756	5.937	71
4.	Oste'S'//Cta'S'/Yav'S'	2.737	6.437	69
5.	Nus'S'	2.719	6.250	62
6.	Ruff'S'/Fg'S'//Yav 78	2.562	5.437	64
7.	Chi'S'/Alo'S'	2.531	5.062	55
8.	CBY/Rufo'S'//Laru'S'	2.462	6.187	66
9.	Tcho'S'	2.381	5.687	69
10.	Chen'S'/Rbc/Hui'S'/Tub'S'	2.375	5.219	61
11.	Mo'S'/Yav 79	2.369	5.437	62
12.	Yav 79	2.337	4.750	55
13.	Shov'S'/Fg/Cr'S'/3/Yav'S' 4/Cndo/Yav'S'//Pal'S'	2.175	5.637	70
14.	Mque//Mexi75/Cit/71/3/ Yav'S'	2.169	5.687	57
15.	Sula'S'	1.944	4.125	56

Cuadro 4. Comparación de quince trigos harineros en condiciones de déficit hídrico (INIA, Estación Experimental Quilamapu, 1988-89).

No.	Variedades y cruzas	Rendimiento de grano (kg/ha)	Biomasa aérea (kg/ha)	Altura (cm)
1.	W3918 A/Jup	3.900	9.094	74
2.	HD 2206/Hork'S'	3.669	7.781	75
3.	Vee #5'S'	3.650	7.344	76
4.	Jun'S'	3.475	9.375	82
5.	Palmiet	3.250	6.594	70
6.	Gv/Ald'S'	3.231	8.594	76
7.	Gen 81	3.219	7.125	71
8.	Cruz Alta INTA	3.194	8.781	77
9.	Klein Chamaco	3.062	7.812	82
10.	Mexico 82	3.056	7.562	80
11.	Yd'S'/Pci'S'	3.037	7.875	79
12.	Las Rosas INTA	3.012	7.281	81
13.	Bau'S'	2.819	6.687	74
14.	C 306	2.212	6.375	89
15.	K 342	2.181	6.875	87

Cuadro 5. Comparación de quince triticales incompletos en condiciones de déficit hídrico (INIA, Estación Experimental Quilamapu, 1988-89).

No.	Variedades y cruzas	Rendimiento de grano (kg/ha)	Biomasa aérea (kg/ha)	Altura (cm)
1.	Alamos 83	4.119	9.906	85
2.	Lechon'S'/PrI'S'	3.962	9.312	79
3.	Lechon'S'/PrI'S'	3.956	8.625	75
4.	Mse's'/3/Ksk46//Pel72380/ Atr 71/4/Topo 123	3.956	9.562	80
5.	Mse'S'/3/Ksk46//Pel72380/ Atr 71/Topo 123	3.794	8.937	84
6.	Eda'S'//M2 A/ZA75	3.687	8.625	86
7.	Pnd'S'/Castor'S'//Toro'S'/ 3/Tapir'S'	3.675	8.625	80
8.	Pnd'S'/Mpe'S'//Panther 1	3.569	8.375	80
9.	PFT7717/5/Hqn//II50-72/N10 /10/3/Blo'S'/4/Maya'S'/UT'S'	3.512	7.719	77
10.	Caborca 79	3.506	7.687	77
11.	Cananea 79	3.425	7.375	85
12.	Tge'S'/4/Arm'S'105/Bgl'S' /2*M2A/3/Ye75/5/LMG'S'/3/ Abn'S'/M1A/M2A	3.394	8.562	79
13.	Bacum	3.375	7.625	84
14.	Tcl.95/M2A//M2A/3/Eda'S'	3.369	7.656	79
15.	Eda'S'	3.100	8.094	80

Cuadro 6. Comparación de quince triticales completos en condiciones de déficit hídrico. (INIA, Estación Experimental Quilamapu, 1988-89).

No.	Variedades y cruzas	Rendimiento de grano (kg/ha)	Biomasa aérea (kg/ha)	Altura (cm)
1.	Eronga	5.356	15.000	110
2.	Tarasca 87	5.225	12.375	99
3.	Merino'S'/Jlo'S'/3/Bgl'S' /Cin'S'//Mus'S'	4.812	12.500	74
4.	Mus'S'/Bta'S'	4.725	11.750	95
5.	Rhino'S'	4.319	11.219	97
6.	Ardilla'S'	4.250	9.750	92
7.	Bgl'S'/Adx'S'	4.219	9.375	90
8.	Banteng 'S'	3.978	9.031	89
9.	S-Roq-D-G175-80 Sel	3.925	10.187	80
10.	Anoa'S'	3.862	8.750	92
11.	Civet'S'	3.856	10.500	95
12.	Buffalo'S'	3.837	10.156	76
13.	Mus'S'/Lynx'S'//Yogui'S'	3.381	8.938	87
14.	Mithan'S'	3.337	9.625	94
15.	Octonv//Drira/Kgr/3/ Mus'S'/Lynk'S'	3.150	8.125	90

Cuadro 7. Valores promedios de algunas características agronómicas de cuatro cereales.

Características	CEREALES			
	Trigos Duros	Trigos Harineros	Triticales Incompletos	Triticales Completos
Rend. grano (kg/ha)	2.518	3.133	3.627	4.149
Biomasa (kg/ha)	5.666	7.677	8.446	10.485
Produc. paja (kg/ha)	3.148	4.544	4.819	6.336
Indice cosecha	0,400	0,408	0,429	0,396
Rela. Grano-paja	0,800	0,689	0,753	0,655
P. Hecto. (kg/hl)	83.73	82.59	76.30	77.92
Altura (cm)	63	78	81	91
Espigas/m ²	335	377	375	347
Granos/espigas	18	24	30	24
P. 1000 semillas (g)	52	44	40	45

Cuadro 8. Correlaciones simples (n=15) entre rendimiento de grano y algunas características agronómicas, en cuatro cereales.

Rendimiento	CEREALES			
	Trigos duros	Trigos harineros	Triticales incompletos	Triticales completos
Biomasa	0,818	0,618	0,821	0,882
Ind. de Cosecha	0,298	0,661	0,090	0,137
Altura de Planta	0,334	-0,677	0,052	0,374
Espigas/m ²	0,602	0,422	0,473	0,490
Granos/espiga	0,618	0,484	0,469	0,582
P.1000 semillas(g)	-0,242	-0,253	-0,337	0,714

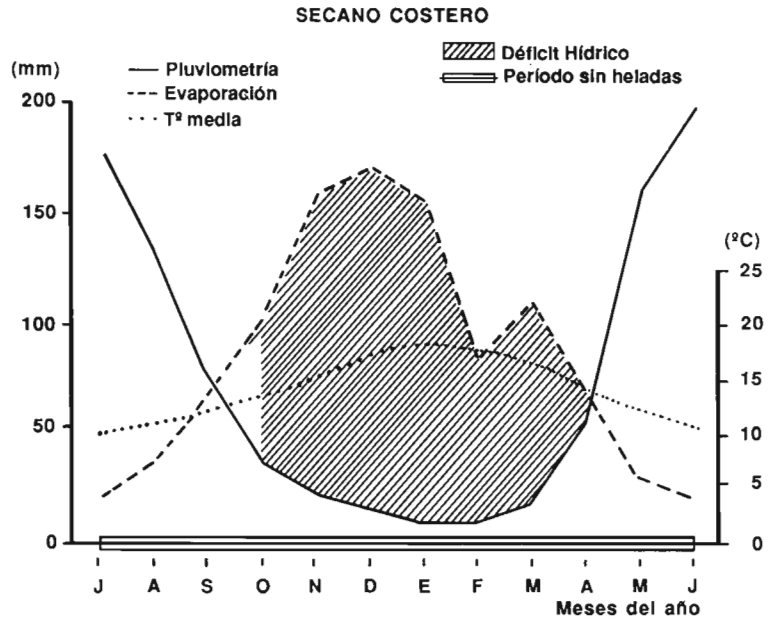


FIGURA 1 - CLIMODIAGRAMA LOCALIDAD CONSTITUCION: Lat. 35° 19'S, Long. 72°25'W y Alt. 12 m.s.n.m.

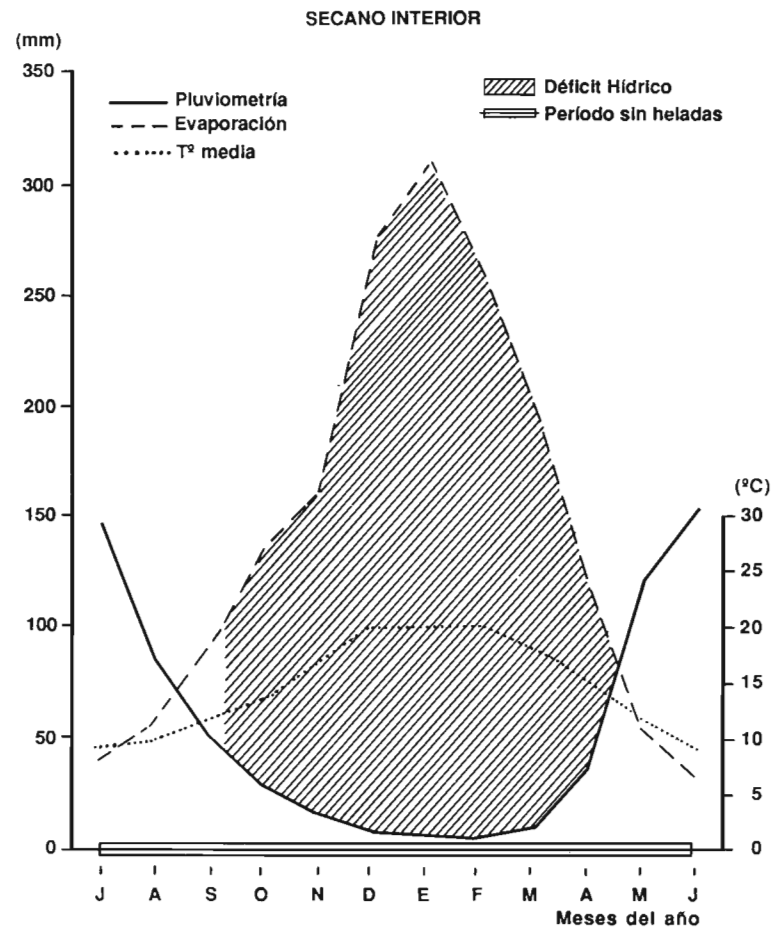


FIGURA 2 - CLIMODIAGRAMA LOCALIDAD CAUQUENES: Lat. 35° 58'S, Long. 72° 17'W y Alt. 177 m.s.n.m.

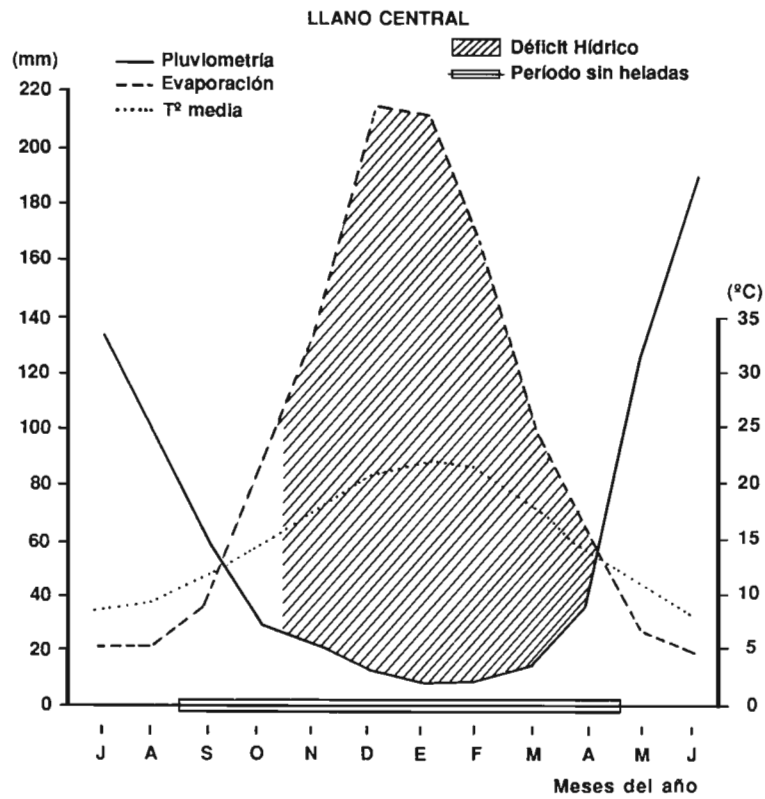


FIGURA 3 - CLIMODIAGRAMA LOCALIDAD TALCA: Lat. 35°26'S, Long. 71°38'W y Alt. 120 m.s.n.m.

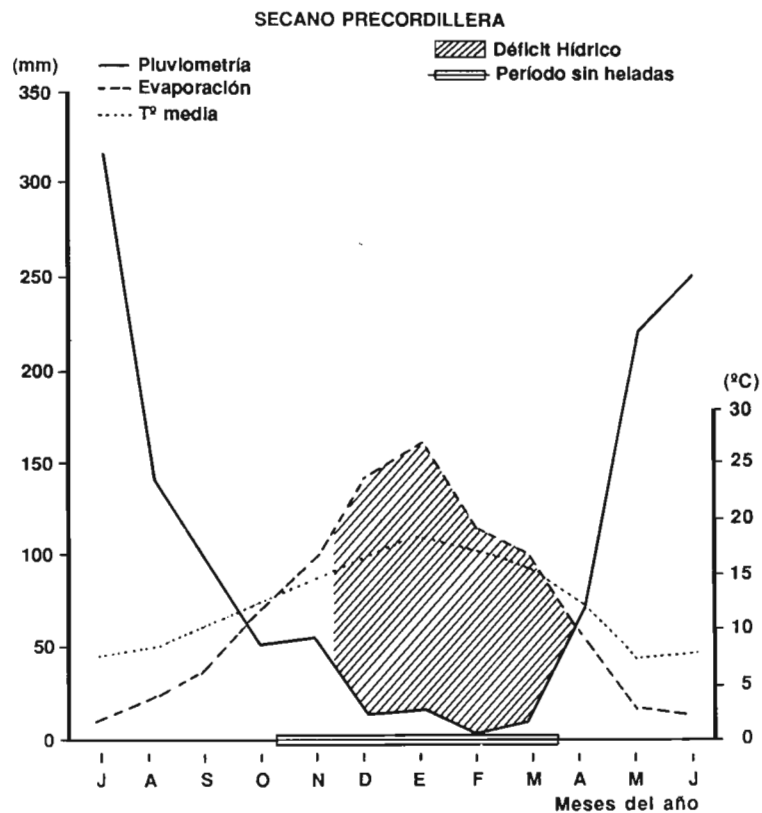


FIGURA 4 - CLIMODIAGRAMA LOCALIDAD POTRERO GRANDE: Lat. 35°12'S, Long. 71°07'W y Alt. 450 m.s.n.m.

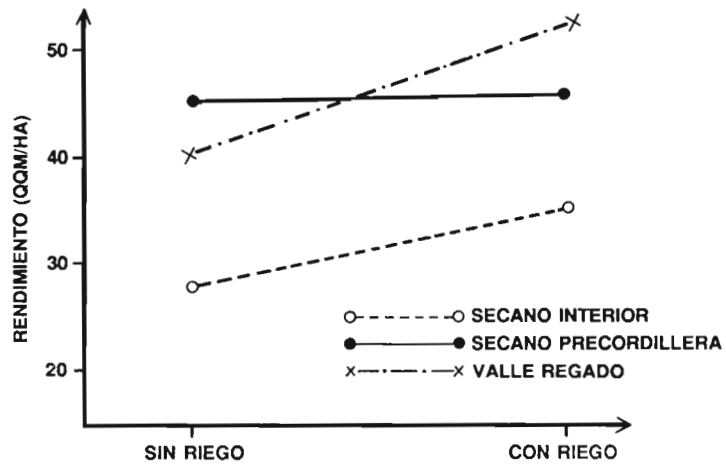


FIGURA 5 - RENDIMIENTO DE GRANO DE VARIETADES DE TRIGO, CON Y SIN RIEGO, EN TRES ZONAS DIFERENTES DE LA PROVINCIA DE ÑUBLE (LAT. 36°S.) (PROMEDIO DOS AÑOS, 1981-1982).
(Fuente: Informes Anuales, Programa Riego, E. E. Quilmapu).

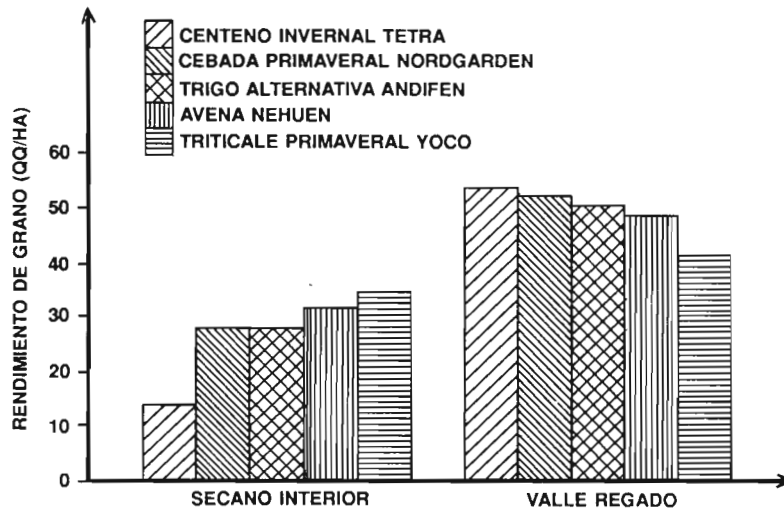


FIGURA 6 - RENDIMIENTO DE GRANO DE CINCO CEREALES EN EL SECANO INTERIOR Y VALLE REGADO DE ÑUBLE (LAT, 36°S.).
(Fuente: Revista Simiente (Chile) 50(3-4) : 146-153).

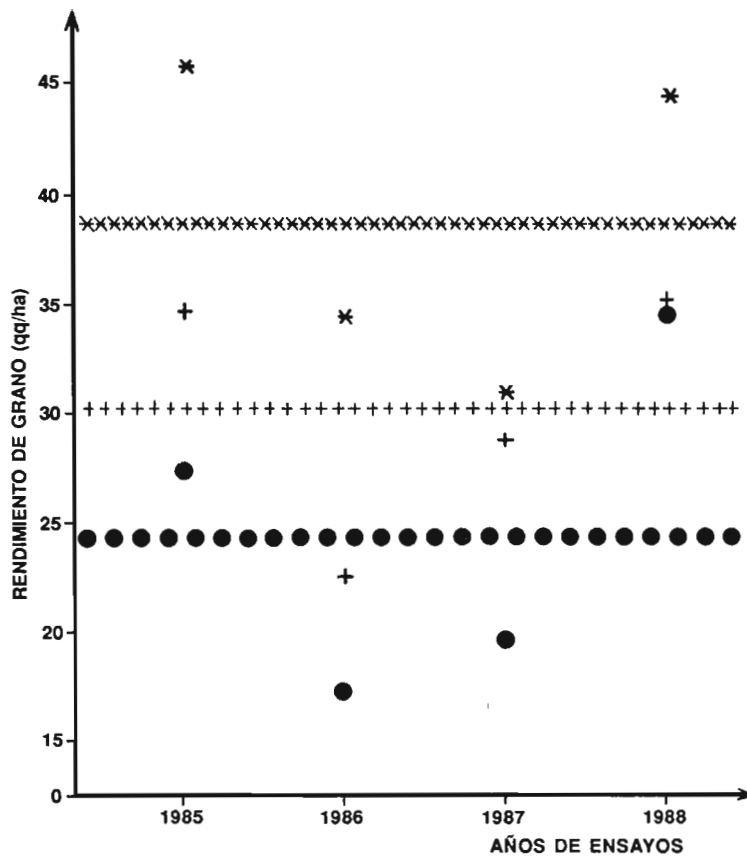


FIGURA 7 - RENDIMIENTO Y ESTABILIDAD DE VARIEDADES DE TRIGO ANTIGUAS (●), DE ALTERNATIVA (+) Y DE PRIMAVERA (*), SEMBRADAS EN EL SECANO INTERIOR DE LA VII REGION.
 (Fuente: Informes Anuales Programa Trigo, E. E. Quilmapu).

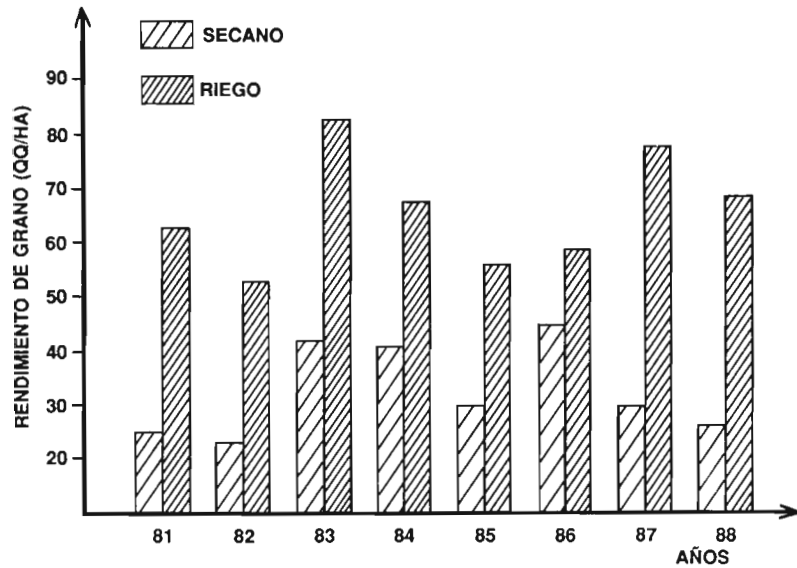


FIGURA 8 - RENDIMIENTO PROMEDIO DE 25 VARIEDADES DE TRIGOS DE PRIMAVERA (*TRITICUM AESTIVUM* L.) SEMBRADOS EN EL SECANO INTERIOR Y VALLE REGADO DE ÑUBLE (LAT. 36° S.).
(Fuente: Informes Anuales Programa Trigo, E. E. Quilamapu).

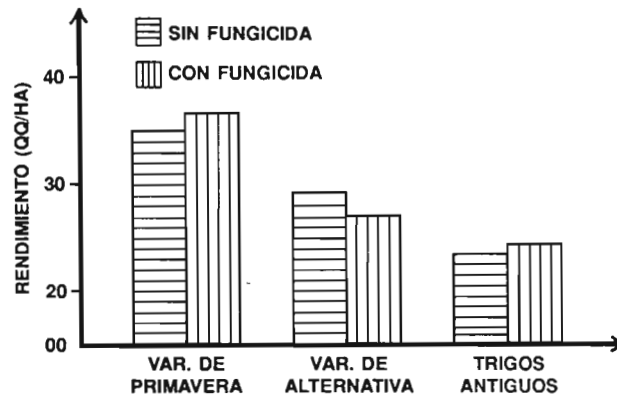


FIGURA 9 - EFECTO DEL CONTROL QUIMICO DE SEPTORIA SPP., SOBRE EL RENDIMIENTO DE GRANO DE VARIEDADES DE TRIGO, SEMBRADAS EN EL SECANO INTERIOR DE LA VII REGION. (LAT. 35°S). PROMEDIO 6 ENSAYOS, EFECTUADOS EN TRES LOCALIDADES DURANTE 1987 y 1988).
(Fuente: Informes Anuales Programa Trigo, E.E. Quilamapu).

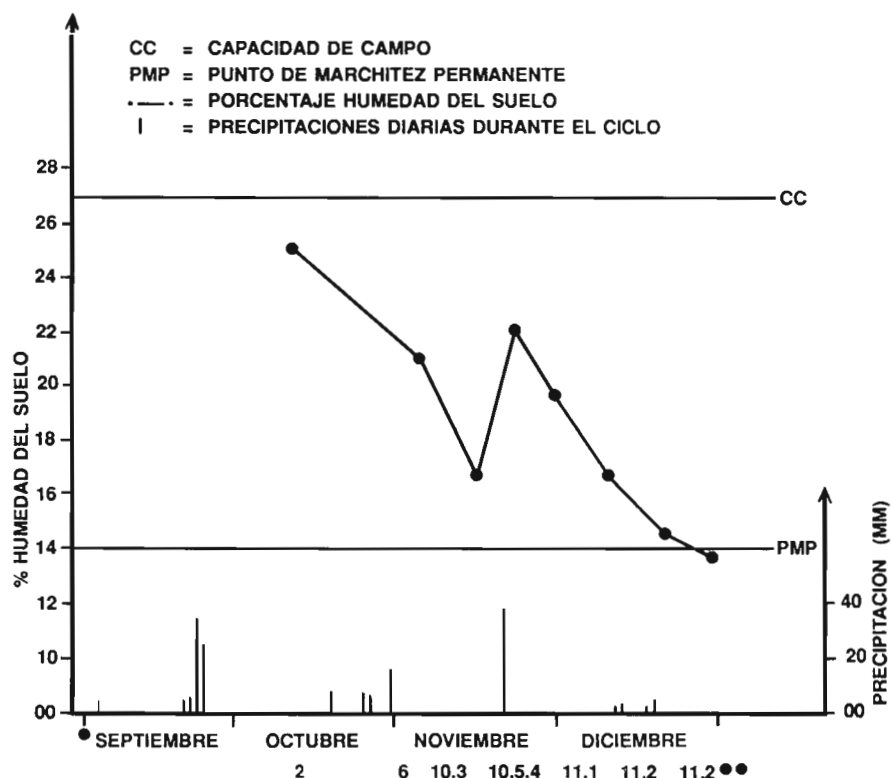


FIGURA 10 - CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO DURANTE EL CICLO DE CRECIMIENTO DE CUATRO CEREALES, SEMBRADOS EN LA ESTACION EXPERIMENTAL QUILAMAPU, TEMPORADA 1988-89.

- :FECHA SIEMBRA,
- :DESARROLLO DE LOS CEREALES (ESCALA DE FEEKES) EN EL MOMENTO DE DETERMINAR HUMEDAD DEL SUELO

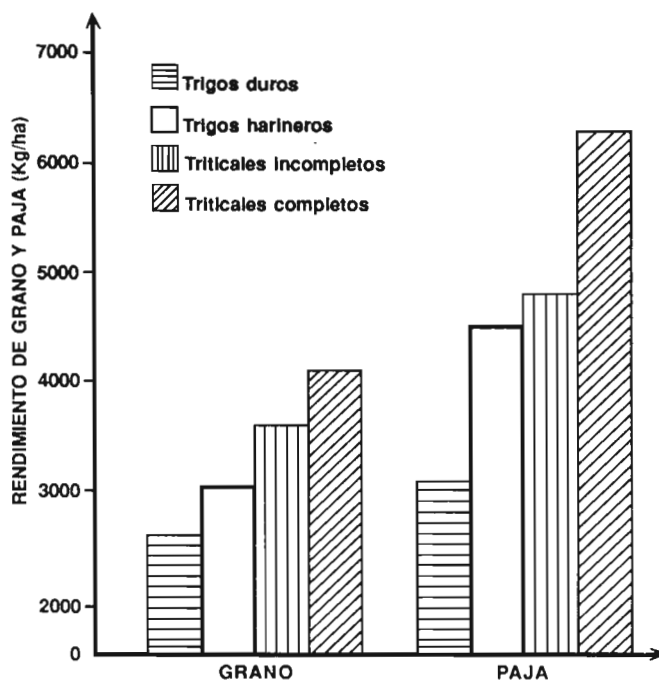


FIGURA 11 - PRODUCCION DE GRANO Y PAJA DE CUATRO CEREALES EN CONDICIONES DE DEFICIT HIDRICO DEL SUELO, (ESTACION EXPERIMENTAL QUILAMAPU, 1988-89).

MEJORAMIENTO DE TRIGO PARA OBTENER TOLERANCIA A LA SEQUÍA: PERSPECTIVAS Y OPINIONES

S. Rajaram

Jefe del Subprograma de Mejoramiento de Germoplasma
Programa de Trigo del CIMMYT, Apdo. Postal 6-641,
México, D.F., México

Resumen

Mientras continuamos explorando la posibilidad de incrementar la productividad agrícola en las tierras actualmente cultivadas, también trabajamos en la utilización de zonas marginales para la agricultura mediante una mejor adaptación genética de las plantas a factores ambientales extremos. Entre las variables ambientales que afectan el crecimiento y el desarrollo de las plantas, la sequía es una de las más importantes. El término "tolerancia a la sequía" se vincula con un medio de escasa humedad e implica la capacidad de un genotipo de ser más productivo que otro con una determinada cantidad de humedad en el suelo. El estudio de la tolerancia a la sequía exige una definición objetiva de ese factor, pero hasta el momento no se ha formulado una universalmente aceptable. Cuatro patrones principales de sequía en relación con el trigo están:

- *En el Mediterráneo: la mayor parte de la precipitación se produce en invierno antes de la antesis y la carencia de agua aumenta durante el llenado de los granos.*
- *En el Cono Sur: los cereales de grano pequeño sembrados en el invierno sufren un período moderadamente seco antes de la antesis y el llenado de los granos se produce durante un período de lluvias crecientes.*
- *En el subcontinente de la India: los cereales de grano pequeño utilizan la reserva de agua del suelo después de los monzones y sobreviven gracias a la humedad almacenada, las lluvias ocasionales y la irrigación complementaria.*
- *En zonas con irrigación reducida: los cereales reciben una irrigación limitada a causa de la disminución de la cantidad de agua almacenada en las presas..*

En los últimos 19 años, el CIMMYT ha efectuado sistemáticamente cruzamientos entre los diversos complejos de germoplasma de trigos de invierno y de primavera. Hay pruebas de que los derivados de los cruzamientos de primavera x invierno y las líneas avanzadas han presentado una mayor tolerancia a la sequía, como lo indica el alto grado de aceptación de ese germoplasma en las regiones semiáridas. En general se piensa que aún es grande la variabilidad y que es preciso usarla como una fuente primaria de recursos genéticos para obtener esa característica. Los productos de los cruzamientos amplios derivados de géneros afines y parientes lejanos del trigo ofrecen una gran oportunidad para enriquecer esa variabilidad. Algunas metodologías de la biotecnología, como el cultivo de tejidos, posiblemente permitan adquirir esos genes y combinarlos con los de variedades estables y muy productivas.

Introducción

Tradicionalmente los agricultores han usado un método de ensayo y error para seleccionar los cultivos que producen, es decir, eligen determinados cultivos porque se desempeñan bien en las condiciones de campo y climatológicas locales. Los fitomejoradores han dedicado un esfuerzo considerable a la creación de variedades de alto rendimiento adaptadas a medios relativamente óptimos. No obstante, a medida que aumenta la demanda de alimentos y fibra, crece la importancia

del efecto de los medios fluctuantes. En muchas zonas del mundo, el medio es marginal o totalmente inadecuado para la producción económica de cultivos. Incluso en las zonas normalmente aptas para esos cultivos, la sensibilidad a factores ambientales desfavorables que ocurren esporádicamente durante los períodos críticos del desarrollo del cultivo puede provocar pérdidas del rendimiento. Aunque el alto potencial de rendimiento sin duda continuará siendo un objetivo fundamental de las actividades fitotécnicas, crece la importancia de la estabilidad del rendimiento en distintos regímenes ambientales.

Mientras continuamos explorando la posibilidad de incrementar la productividad agrícola en las tierras actualmente cultivadas, también trabajamos en la utilización de zonas marginales para la agricultura mediante una mejor adaptación genética de las plantas a factores ambientales extremos. Además de las plagas y los factores adversos creados por el hombre como la contaminación atmosférica, los problemas de la producción de alimentos son (1) la disponibilidad de suelos productivos y (2) los climas que favorecen el desarrollo de los cultivos. El primero de estos elementos es en general una condición estática, mientras que el segundo es una variable incontrolable. Las principales variables climatológicas que influyen en la productividad son la temperatura y la disponibilidad de agua. Se ha estimado que el 60-80% de la variación estacional de la productividad de los cultivos obedece a fluctuaciones del clima (3, 33), entre ellas, las temperaturas extremas y la disponibilidad de agua.

Se ha señalado que ya se ha alcanzado un tope en los rendimientos de varios de los cultivos principales y que será escaso el aumento de la producción mediante un mayor uso de fertilizantes, agua y plaguicidas. Frey (13) pronostica que, en el futuro, gran parte de la producción agrícola tendrá que provenir de tierras que ahora se consideran marginales. La expansión de los cultivos hacia esas zonas estará sujeta a numerosos factores desfavorables que restringen la producción económica.

Entre las variables ambientales que afectan el crecimiento y el desarrollo de las plantas, la sequía es una de las más importantes. Sólo la precipitación pluvial o el riego puede aliviar por completo los efectos de la sequía sobre el rendimiento de los cultivos. En la actualidad no existe un método confiable para aumentar la precipitación durante los períodos de sequía. Si no se dispone de agua para la irrigación, las únicas soluciones posibles son prácticas de cultivo que aumenten la disponibilidad del agua almacenada en el suelo o la generación de variedades o híbridos que puedan evitar o tolerar en forma más eficiente la sequía.

Para el fitomejorador, el término "tolerancia a la sequía" se vincula con un medio de escasa humedad e implica la capacidad de un genotipo de ser más productivo que otro con una determinada cantidad de humedad en el suelo (25). El fitomejorador se ocupa principalmente de la variabilidad que existe dentro de una misma especie, más que de la variabilidad entre especies diferentes. El mejoramiento de trigo realizado en el CIMMYT para obtener tolerancia a la sequía ha evolucionado en los últimos 15 años. He participado en la formulación de la metodología y de los conceptos básicos desde el comienzo (7, 21, 22, 26, 35). Si bien se han producido algunas modificaciones de la metodología, no ha cambiado la base conceptual de esa labor. Las opiniones expresadas en este trabajo son las mías y no representan necesariamente los criterios del CIMMYT.

Los patrones de la sequía

Antes de intentar generar variedades mejor adaptadas, es preciso conocer los factores ambientales en los que se sembrará un determinado cultivo. Los factores climatológicos básicos más importantes son la cantidad y la variabilidad de la precipitación anual, el patrón previsto de la distribución estacional de la precipitación, la humedad relativa, la temperatura media y el tipo y la profundidad de los suelos (25). En general, la precipitación anual media no es un factor significativo a causa de la gran variación que se produce de un año a otro en la mayoría de las regiones semiáridas. La distribución estacional de la precipitación es a menudo una medición más constante. Algunas

regiones semiáridas presentan humedades relativas bajas que causan un rápido enfriamiento después de ponerse el sol. En otras zonas, temperaturas medias relativamente bajas durante la temporada de cultivo interactúan con el déficit de humedad en el suelo para moderar el efecto de la sequía mediante la disminución del crecimiento y de la evapotranspiración. La respuesta de las plantas a la falta de humedad depende en cierta medida del tipo y la profundidad del suelo.

El estudio de la tolerancia a la sequía exige una definición objetiva de ese factor, pero hasta el momento no se ha formulado una universalmente aceptable. Un informe de la Organización Meteorológica Mundial (14) sobre las definiciones de la sequía incluye 14 basadas en la precipitación, 13 en la precipitación y las temperaturas medias, 11 en índices climatológicos y estimaciones de la evapotranspiración, y 15 en parámetros relacionados con la humedad del suelo y los cultivos. Algunos de los criterios comunes usados fueron la precipitación, la temperatura ambiente, la humedad relativa, la evaporación de una superficie de agua libre, la transpiración de la planta, el viento, el flujo del aire, la humedad del suelo y las condiciones de la planta. Para los propósitos de este trabajo, se definirá como sequía todo período durante el cual las carencias de humedad de la planta y/o del suelo afecten el crecimiento y el desarrollo de los cultivos.

Edmeades et al. (7) enumeran cuatro patrones principales de sequía en relación con el trigo:

- En el Mediterráneo: la mayor parte de la precipitación se produce en invierno antes de la antesis y la carencia de agua aumenta durante el llenado de los granos.
- En el Cono Sur: los cereales de grano pequeño sembrados en el invierno sufren un período moderadamente seco antes de la antesis y el llenado de los granos se produce durante un período de lluvias crecientes.
- En el subcontinente de la India: los cereales de grano pequeño utilizan la reserva de agua del suelo después de los monzones y sobreviven gracias a la humedad almacenada, las lluvias ocasionales y la irrigación complementaria.
- En zonas con irrigación reducida: los cereales reciben una irrigación limitada a causa de la disminución de la cantidad de agua almacenada en las presas. Este tipo de sequía es frecuente en la mayoría de las zonas irrigadas.

Estos patrones parecen describir medios bien definidos. No obstante, una característica común de los medios tropicales más secos es la gran variabilidad de las lluvias estacionales y de su distribución en la temporada (11).

La respuesta de las plantas a la sequía

A pesar de que las respuestas de las plantas y su adaptación a la sequía han recibido una atención creciente por parte de los fisiólogos (19, 20, 34), no es muy clara la relación entre la información fisiológica presentada y el desempeño de los cultivos en el campo (17). Si bien existe una gran cantidad de literatura sobre el tema, no hay una base generalmente aceptada en cuanto a la tolerancia de los cultivos a un determinado factor desfavorable. Mi método aborda explícitamente la integración de estrategias fitotécnicas para mejorar el comportamiento en el campo en un medio dado. Se investigan sólo superficialmente los procesos fisiológicos que parecen ser fundamentales para la productividad del cultivo y se dedica particular atención a diferencias genéticamente determinadas en las respuestas de las plantas a la sequía, con el fin de establecer estrategias para mejorar al máximo el comportamiento de los cultivos cuando existen factores desfavorables limitantes.

El daño causado por la sequía se manifiesta comúnmente en las plantas mediante una secuencia de alteraciones fisiológicas y morfológicas, que pueden incluir una menor tasa de crecimiento, el rizado

de las hojas, la clorosis, la senescencia, la abscisión de las hojas inferiores, la marchitez, la reducción de la fotosíntesis, la alteración de la respiración, la pérdida de la integridad celular, la necrosis localizada y, por último, la muerte de la planta (17).

El conocimiento de los mecanismos que confieren la adaptación a medios desfavorables tiene un considerable valor teórico y práctico. Las adaptaciones de las plantas pueden expresarse en cuatro niveles generales: el desarrollo, la morfología, la fisiología y el metabolismo (17). La evaluación de las características de las plantas en esos cuatro niveles para determinar su importancia en la adaptación a limitantes ambientales es un objetivo general de las investigaciones sobre la tolerancia a factores desfavorables. La identificación de las características de adaptación tiene gran trascendencia porque esas características podrían aprovecharse en las actividades fitogenéticas.

Diversas características fisiológicas y morfológicas contribuyen a la tolerancia a la sequía, entre ellas, la defoliación, las alteraciones de los ángulos de inserción de las hojas, una mayor proporción de raíces/vástago, cutícula cerosa gruesa, mantenimiento de la turgencia, estomas cerrados, capacidad de continuar la translocación fotosintética y la distribución de asimilados, y menor acumulación de prolina.

Métodos para mejorar la tolerancia a la sequía y el rendimiento

Los métodos fitogenéticos tradicionales, si bien son muy eficaces en algunos casos, toman mucho tiempo y requieren un trabajo intenso. Antes de realizar un programa de mejoramiento, hay que tener en cuenta tres aspectos (17):

- ¿Existen estrategias alternativas de cultivo? Un cultivo diferente puede superar la productividad del cultivo originalmente programado para el mejoramiento de la tolerancia a la sequía. Las modificaciones de las técnicas de manejo del cultivo también pueden mejorar el desempeño de éste más de lo que se podría lograr mediante el fitomejoramiento.
- ¿Cuáles son los requisitos fisiológicos para que la planta se desempeñe mejor en condiciones de sequía? La evaluación cuidadosa de las necesidades energéticas y de asimilación para el desarrollo con diversos grados de sequía puede indicar si es fisiológicamente viable esperar un aumento de la productividad en medios con sequía.
- ¿Existe un potencial genético adecuado del cultivo en condiciones desfavorables? Es preciso efectuar análisis para determinar la existencia de variabilidad genética en relación con las respuestas a la sequía de una variedad cultivada, una variedad criolla o especies emparentadas.

Se ha señalado en repetidas ocasiones que no se puede usar un índice único de selección para la tolerancia a la sequía (1, 30). Un programa fitotécnico eficaz debe incluir la integración de varios criterios en un solo índice de selección. Se puede encontrar un ejemplo notable en la labor de Fischer et al. (9), quienes lograron un considerable progreso en la selección recurrente de materiales Tuxpeño de maíz usando un índice de selección que incluía la termometría de rayos infrarrojos, el crecimiento en condiciones desfavorables, el quemado de las hojas y la floración sincrónica. Los resultados indican que el mayor diferencial de selección y la mejor asociación con el rendimiento en condiciones desfavorables se obtuvieron con las temperaturas del follaje.

Las condiciones indicadas por Jones y Qualset (17) en relación con la variabilidad genética para la tolerancia a la sequía se comprueban ampliamente en muchos cultivos, entre ellos el trigo (2). En muchos estudios, se ha usado la supervivencia como criterio para medir la tolerancia a la sequía. Sin embargo, la supervivencia y la productividad, en el sentido tradicional, no son sinónimos. Los mecanismos de supervivencia, si bien están determinados genéticamente, pueden en muchos casos ser la característica más importante en una situación desfavorable.

Es poco realista esperar que se podrán generar cultivos adaptados a un medio desfavorable que germinen, crezcan, se desarrollen y se reproduzcan en condiciones extremas de sequía y produzcan rendimientos comparables a las variedades actuales en condiciones casi óptimas. Es muy probable que los rendimientos se reduzcan considerablemente en condiciones desfavorables extremas. No obstante, se puede lograr cierta productividad en medios donde no existe ninguna en la actualidad. Es en esta gama de condiciones desfavorables intermedias que los fitomejoradores pueden adaptar con éxito los cultivos sensibles. Una mayor estabilidad del rendimiento en condiciones desfavorables moderadas parece ser un objetivo realista (17).

La metodología tradicional

Se ha señalado que las variedades seleccionadas para alto rendimiento en condiciones de humedad casi óptimas no tienen necesariamente un rendimiento elevado cuando se les cultiva en condiciones de sequía (15, 16); en consecuencia, si se quiere generar una variedad superior para un medio afectado por la sequía, es preciso seleccionar y evaluarla en ese tipo de medios. El análisis de las interacciones cruzadas entre el genotipo y el medio (Figura 1) permite descubrir variedades con características excepcionales de adaptación a medios de bajo rendimiento (7).

Según los recursos disponibles para el mejoramiento, esto puede indicar la necesidad de contar con programas separados de mejoramiento para la adaptación específica a medios con alto y bajo rendimiento. Cuando son regulares el patrón y la intensidad de la sequía en el medio en cuestión y existen interacciones cruzadas entre el genotipo y el grado de sequía en medios con y sin sequía (5, 32), la selección para mejorar el comportamiento en la sequía se debe efectuar en esas condiciones. Sin embargo, es poco probable que la intensidad de la sequía varíe con regularidad en un medio dado.

Desempeño de las variedades de alto rendimiento del CIMMYT en medios semiáridos: Perspectiva histórica

Reitz (28) expresa en forma muy sencilla uno de los principales corolarios del fitomejoramiento: "Las variedades se clasifican en tres categorías: (1) las que tienen una superioridad uniforme en todos los medios, (2) las que son relativamente mejores en medios desfavorables y (3) las que son relativamente mejores en medios favorables". En otro trabajo (29), Reitz señala que seleccionar para lograr adaptabilidad amplia equivale a seleccionar para la mediocridad o, incluso, el bajo rendimiento. Los logros del CIMMYT en el fitomejoramiento contradicen esto, ya que las variedades de trigo derivadas del germoplasma de adaptación amplia del CIMMYT han tenido una considerable aceptación en medios semiáridos de todo el mundo (2, 4).

El CIMMYT y los organismos que lo precedieron, la Fundación Rockefeller y la Oficina de Estudios Especiales de México, emplearon un programa de mejoramiento alternado en ese país, efectuado en Ciudad Obregón, Sonora (a 27° de latitud N y 39 m sobre el nivel del mar), y el valle de Toluca (a 19° de latitud N y 2,649 m sobre el nivel del mar). Estos dos sitios presentan características bien definidas en cuanto al tipo de suelo, la radiación, el régimen de la temperatura, el fotoperíodo, la cantidad de humedad y los patrones de enfermedades. La metodología de mejoramiento usada por el CIMMYT (27) se ha analizado en otro trabajo.

Tanto en el valle de Toluca como en Ciudad Obregón existen condiciones óptimas de humedad y de aplicación de nutrimentos. Las variedades surgidas de este proyecto de mejoramiento alternado poseen un elevado potencial de rendimiento, adaptabilidad amplia y un buen nivel de estabilidad. Estas variedades en general son insensibles al fotoperíodo y poseen los genes *Rht1* o *Rht2* del enanismo, derivados de la variedad japonesa Norin 10. A fines del decenio de 1960 y comienzos del de 1970, se hizo muy evidente que estas variedades estaban adaptadas a medios casi óptimos y, por otra parte, eran aceptadas cada vez más en regiones semiáridas. Entre los ejemplos típicos

figuran las variedades 8156, Anza y Marcos Juárez INTA y, más tarde en el decenio de 1980, Veery 'S', Pavón 76 y Nacozari 76. Como resultado de la aceptabilidad de las variedades de adaptación amplia en las regiones semiáridas, el criterio del CIMMYT en el mejoramiento para obtener tolerancia a la sequía ha consistido sencillamente en identificar las líneas con rendimiento elevado tanto en medios óptimos como desfavorables. Aún no están claros los mecanismos responsables del excelente rendimiento de estas variedades en condiciones semiáridas; sin embargo, no se puede negar su adaptabilidad en esos medios. Los ensayos para determinar el potencial de rendimiento efectuados en el valle del Yaqui en Sonora, México, indican que el potencial de rendimiento en sí puede ser un útil criterio de selección en condiciones de sequía. Un mayor rendimiento en medios áridos puede considerarse un efecto "residual" del alto potencial de rendimiento (2).

Varios análisis del rendimiento a nivel mundial del material del CIMMYT han confirmado que el germoplasma de adaptación amplia y alto rendimiento generado en condiciones óptimas tiene también un excelente comportamiento en medios semiáridos (18, 23, 35). Recientemente los científicos del CIMMYT (24), usando un esquema de gradientes de riego (riego por aspersión), compararon una gran cantidad de líneas avanzadas de trigos harineros generadas en un medio óptimo o en una combinación de condiciones óptimas y de sequía para determinar su rendimiento en ambos tipos de medios. Los resultados demuestran claramente que las líneas avanzadas generadas en las condiciones óptimas del programa de mejoramiento alternado efectuado en Ciudad Obregón y Toluca, tuvieron un rendimiento mucho mayor que el de las otras líneas, en condiciones tanto óptimas como de sequía.

Otra prueba de la tolerancia a la sequía de los trigos semienanos del CIMMYT es su adopción muy difundida (8). A mediados del decenio de 1980, la superficie sembrada con trigos semienanos derivados del material del CIMYYT era del 91% en las zonas bien irrigadas, del 45% en las zonas con una precipitación anual de 300-500 mm y del 21% en las regiones con una precipitación anual inferior a los 300 mm (6). Aun así, la tasa más baja de adopción en las regiones semiáridas contrasta con la adopción casi nula que existía a comienzos del decenio de 1970.

La metodología fitotécnica actual

A pesar de que una proporción considerable del germoplasma del CIMMYT produjo un alto rendimiento en medios definitivamente distintos (Figura 2), algunos críticos consideraron que la metodología no era adecuada para generar trigos para las regiones semiáridas, que el CIMMYT descuidaba el mejoramiento para zonas marginales y que se podía lograr un mayor progreso modificando la metodología de mejoramiento para obtener tolerancia a la sequía. En el decenio de 1970, el personal del Programa de Trigo del CIMMYT dedicó mucho tiempo a demostrar que la metodología usada era suficientemente amplia para ayudar a los agricultores de las zonas marginales. No obstante, muchos críticos aún no estaban convencidos.

A causa de esas circunstancias, en 1974-1975 la administración del Programa de Trigo del CIMMYT autorizó el mejoramiento y la experimentación para obtener tolerancia a la sequía. La metodología fitotécnica original incluía pruebas de todas las generaciones, ya fuera con irrigación reducida o en condiciones de temporal en México.

Para 1981, se dispuso de datos sobre el rendimiento a nivel internacional de Veery 'S' (Figura 2) y se hizo evidente que este germoplasma tiene un rendimiento elevado en la mayoría de los medios incluidos en las pruebas. Gran parte de los 73 medios donde se efectuó el 15º Ensayo Internacional de Rendimiento de Trigo Harinero de Primavera (ISWYN) estaba en regiones semiáridas. Las variedades anteriores 8156, Anza y Pavón, también habían mostrado este patrón de adaptación. Teniendo en cuenta esta insólita adaptabilidad y combinación de caracteres, se modificó el programa del CIMMYT de mejoramiento para la tolerancia a la sequía con el fin de incluir experimentación destinada a generar germoplasma del tipo mostrado en la Figura 2.

En síntesis, nuestros conceptos y objetivos al mejorar trigos para medios semiáridos deben incluir metodologías que contribuyan a producir germoplasma con un potencial de rendimiento aceptable en condiciones semiáridas, combinado con un potencial de rendimiento elevado en medios óptimos. Este criterio se basa en el hecho de que en la mayoría de las zonas semiáridas existe una provisión variable de agua. El germoplasma descrito en la Figura 2 proporcionará buenos rendimientos en medios carentes de humedad y responderá también a una mayor cantidad de agua e insumos.

Desde 1981, este criterio ha orientado el programa de mejoramiento del CIMMYT para obtener tolerancia a la sequía. A continuación se proporcionan los detalles de la metodología.

- Progenitores: Por lo menos uno de los progenitores tiene un elevado potencial de rendimiento y adaptación amplia; el otro progenitor tiene una comprobada adaptación a condiciones semiáridas o se sabe que posee tolerancia a la sequía.
- Generación F1: Se cultiva generalmente en condiciones óptimas y se descartan las plantas que muestran un alto grado de sensibilidad a factores bióticos desfavorables y tipo agrónomico deficiente.
- Generación F2: Se efectuó la siembra espaciada de plantas individuales en condiciones óptimas de humedad y nutrimentos. Esta situación permite seleccionar para obtener resistencia a las enfermedades y capacidad de macollamiento. Las plantas se seleccionan y se trillan individualmente; se descarta la semilla de los tipos que presentan granos de calidad deficiente o arrugados.
- Generación F3: Se siembra en melgas la progenie de las plantas individuales F2 en condiciones de riego reducido. La selección se basa en el comportamiento de las líneas, que revela su competitividad en cuanto al establecimiento rápido del cultivo, el crecimiento, la biomasa, la supervivencia y el llenado adecuado de los granos. Las espigas se cosechan en masa.
- Generación F4: Se aplica el mismo procedimiento usado con la F3. Como resultado de la cosecha en masa de la F3, en la F4 se dispone de una gran cantidad de semilla. Se recomienda efectuar ensayos en localidades múltiples incluyendo medios fuera de México, especialmente en Argentina, Paraguay y el norte de África.
- Generación F5: La semilla se siembra en masa en un medio óptimo. Se seleccionan espigas individuales de las líneas que muestran resistencia a factores bióticos desfavorables, semienanismo y buen tipo agrónomico. Las espigas se trillan por separado.
- Generación F6: Se siembra la semilla de cada espiga en un medio óptimo. Se realiza la cosecha en masa de las líneas que muestran buen comportamiento.
- Generación F7 en masa: Se evalúan las líneas de observación en condiciones de riego reducido y completo. Las líneas que muestran un comportamiento aceptable en ambas condiciones se retienen para los ensayos del rendimiento.
- Ensayos de rendimiento: Se efectúan ensayos de rendimiento con repeticiones, tanto con riego reducido como completo. En el futuro, los ensayos se realizarán con tres niveles de irrigación (óptima, reducida e intermedia). Las líneas pasan también a la Sección de Agronomía del Programa de Trigo donde se estudia su comportamiento con gradientes de riego (riego por aspersion). Además, se realizan ensayos internacionales con diversos conjuntos de estas líneas, especialmente en regiones semiáridas.

- El SAWSN (Vivero de Selección de Trigo para Regiones Semiáridas): Se incluyen en el SAWSN las líneas avanzadas de mejor comportamiento y se distribuyen a los programas nacionales. Se reúne información sobre la adaptabilidad, el rendimiento, la resistencia a factores bióticos y abióticos desfavorables y el tipo agronómico. Se escogen las mejores líneas como progenitores para los cruzamientos.

El esquema anterior tiene el propósito de combinar un elevado potencial de rendimiento y la tolerancia a la sequía en el mismo germoplasma. En teoría, esto será posible siempre que el potencial de rendimiento y la tolerancia a la sequía sean características independientes, y no hay razón para pensar que no es así. Datos provenientes de otras fuentes (31) demuestran que sería posible producir genotipos que tuvieran un elevado potencial de rendimiento en todos los medios excepto aquellos donde existen limitaciones extremas de la producción.

El medio de selección

Siempre que se logre un control razonable, es muy conveniente hacer la selección en el campo. Sin embargo, los medios semiáridos naturales para los que se efectúa el mejoramiento para obtener tolerancia a la sequía son, paradójicamente, imperfectos para la labor de selección (2). Un medio con escasa precipitación pluvial (generalmente entre 200 y 500 mm) se caracteriza por las grandes variaciones de la frecuencia y cantidad total de lluvia a través de los años. En esas condiciones, es probable que cada generación esté sometida a un patrón distinto de sequía y tal vez ninguno de esos patrones sea representativo del patrón a largo plazo. Si se realiza el trabajo de mejoramiento a un sitio con muy poca lluvia (por ejemplo, 100 mm), se pueden programar muy bien las condiciones de sequía y optimarlas mediante el empleo de riego complementario. Esta opción permite reproducir las condiciones de sequía de una generación a la siguiente. De este modo, aunque el sitio experimental esté fuera de la zona de producción del cultivo, en realidad constituye un laboratorio de campo que permite ejercer un control razonable sobre las condiciones de humedad. En Ciudad Obregón se dispone de esa oportunidad para efectuar el mejoramiento para la tolerancia a la sequía.

Quiero hacer hincapié en que, con el fin de lograr la máxima eficiencia en la selección, el diseño experimental en condiciones de sequía debe ser tal que el efecto de los bordos de la parcela sean mínimos. Se deben sembrar los viveros de manera que cada línea esté representada por un mínimo de tres hileras, en lugar de las dos tradicionalmente usadas en muchos programas fitotécnicos. Se observará el comportamiento de la hilera central para evaluar el tipo agronómico y el índice de tolerancia a la sequía y se seleccionarán las líneas más promisorias.

Los principales criterios de selección

Se podría lograr un progreso considerable examinando las respuestas de las plantas durante etapas definibles del desarrollo. Se facilitará así la identificación de la variación genotípica durante esos períodos y la subsiguiente evaluación de su contribución a la productividad de las plantas.

Es preciso examinar sistemáticamente características importantes como la germinación de la semilla, la emergencia, el crecimiento temprano y el vigor en las poblaciones segregantes, para evaluar su calidad como progenitores. Un coleoptilo largo constituye una característica muy importante que facilita la emergencia en los medios semiáridos, donde se debe sembrar a mayor profundidad para aprovechar la humedad disponible en el suelo.

La evaluación empírica de la biomasa en las poblaciones segregantes (la F3 y la F4 en condiciones de sequía) es un criterio significativo para seleccionar las líneas de alto rendimiento (Cuadro 1). Las líneas que presentan una mayor biomasa son aquellas en las que sobreviven muchos macollos y que tienen una apariencia vigorosa y un gran número de espigas. Las evaluaciones empíricas (en una escala del 1 al 10 en la que este último representa la biomasa más elevada) podrían servir para este

fin, ya que las evaluaciones cuantitativas son costosas, toman mucho tiempo y muchas veces es imposible efectuarlas cuando se incluyen miles de líneas.

Se ha encontrado que la senescencia (muerte prematura) de las hojas es una característica útil en el mejoramiento para obtener tolerancia a la sequía. También se puede evaluar esta característica en una escala del 1 al 10 (el 10 representa la mayor senescencia). Se ha observado una variación genotípica en relación con esta característica, especialmente en las líneas con la translocación 1B/1R que muestran una mayor duración de la superficie foliar. Es preciso tener cuidado de no confundir los efectos de la madurez tardía con la senescencia de las hojas.

El peso hectolítrico y el peso de 1,000 granos son otras características cuantificables y mensurables que pueden constituir útiles criterios para la selección en el mejoramiento para medios semiáridos. El llenado adecuado y el arrugamiento de los granos se pueden observar fácilmente y, usando métodos empíricos, es posible clasificar un gran número de poblaciones. Siempre que sea posible, se debe medir el peso hectolítrico en mezclas de semilla de la F4 y la F5.

Los índices de estabilidad del rendimiento son mediciones importantes de las respuestas de los genotipos a la sequía (17). Se pueden calcular esos índices usando la regresión lineal. El método más sencillo es la regresión de los rendimientos medios de las entradas individuales sobre la media de todas las entradas (como en la Figura 2). El parámetro de la pendiente (es decir, el índice de estabilidad) permite entonces una comparación relativa entre las entradas (12). Un análisis de ese tipo puede ser útil al definir la tolerancia a la sequía en términos del rendimiento, siempre que el componente principal de la variación del índice ambiental usado en esos análisis sea atribuible a la sequía. El potencial de rendimiento está altamente relacionado con la pendiente en el análisis de regresión; en consecuencia, el problema de distinguir los efectos de la tolerancia a la sequía de los del potencial de rendimiento en el comportamiento de un genotipo en condiciones de sequía constituye una dificultad considerable. Para superarla, se puede sustituir el rendimiento absoluto por el rendimiento relativo, o bien incluir en el análisis un índice calculado de la susceptibilidad (10). De este modo se facilita la interpretación del análisis de regresión, en particular cuando la estabilidad del rendimiento es el criterio fundamental de selección (17). Los viveros internacionales del CIMMYT proporcionan una gran cantidad de datos de múltiples localidades provenientes de muchos medios semiáridos y el análisis de estos datos es muy útil en la identificación de genotipos para usarlos como progenitores. No obstante, existe cierta duda sobre la utilización de esos datos reunidos en medios de distintos países para el análisis de regresión (2).

La cantidad de variabilidad genética (en sentido estricto, la variación genética aditiva), llamada heredabilidad, que existe en relación con la variabilidad ambiental, es un elemento fundamental para diseñar un programa fitogenético eficaz. Los parámetros de un programa de mejoramiento -como el tamaño de la población, la intensidad de la selección, la unidad de selección (plantas o familias) y los criterios de medición- deben ser considerados en relación con los recursos económicos disponibles.

El probable avance genético en el mejoramiento para obtener tolerancia a la sequía dependerá de las fuentes disponibles de variabilidad en cuanto a esta característica. En general, se ha encontrado que las variedades criollas son tolerantes a la sequía; sin embargo, su empleo en los programas de mejoramiento reduciría considerablemente el potencial genético de rendimiento de la población. El premejoramiento es una solución para este problema siempre que se haya identificado y cuantificado una respuesta específica de tolerancia a la sequía en la variedad criolla. No debe ser difícil mejorar algunas características, como altura o floración adecuada, de una variedad criolla; no obstante, este método no ofrece una solución razonable cuando hay que combinar el potencial de rendimiento y la tolerancia a la sequía.

En los últimos 19 años, el CIMMYT ha efectuado sistemáticamente cruzamientos entre los diversos complejos de germoplasma de trigos de invierno y de primavera. Hay pruebas de que los derivados de los cruzamientos de primavera x invierno y las líneas avanzadas han presentado una mayor

tolerancia a la sequía, como lo indica el alto grado de aceptación de ese germoplasma en las regiones semiáridas. En general se piensa que aún es grande la variabilidad y que es preciso usarla como una fuente primaria de recursos genéticos para obtener esa característica. Los productos de los cruzamientos amplios derivados de géneros afines y parientes lejanos del trigo ofrecen una gran oportunidad para enriquecer esa variabilidad. Algunas metodologías de la biotecnología, como el cultivo de tejidos, posiblemente permitan adquirir esos genes y combinarlos con los de variedades estables y muy productivas.

Referencias bibliográficas

1. Blum, A. 1979. Genetic improvement of drought resistance in crop plants: a case for sorghum. In: H. Mussel y R.C. Staples, eds. *Stress Physiology in Crop Plants*. Nueva York: Wiley Interscience.
2. Blum, A. 1988. Plant breeding for stress environments. CRC Press, pp. 62-68.
3. Boyer, J.S. 1982. Plant productivity and environment. *Science* 218: 443-448.
4. Brennan, J.P. 1986. Impact of wheat varieties from CIMMYT on Australian wheat production. *Agric. Economics Bulletin* No. 5. Nueva Gales del Sur: Department of Agriculture.
5. Ceccarelli, S., M.M. Nachit, G.O. Ferrara, M.S. Mekni, M. Tahir, J. Van Leur y J.P. Srivastava. 1987. Breeding strategies for improving cereal yield and stability under drought. In: J.P. Srivastava, E. Porceddu, E. Acevedo y S. Varma, eds. *Drought Tolerance in Winter Cereals*. Nueva York: Wiley and Sons. pp. 101-114.
6. CIMMYT. 1988. 1987 CIMMYT World Wheat Facts and Trends: The Wheat Revolution in the Third World: Past and Future. Report No. 4. El Batán, México: CIMMYT.
7. Edmeades, G.O., J. Bolaños, H.R. Lafitte, S. Rajaram, W.H. Pfeiffer y R.A. Fischer. 1988. Traditional approaches to breeding for drought resistance in cereals. *CASAFA Symposium on Drought Resistance in Cereals: Theory and Practice*. Cairo, Egypt, 28-30 November, 1988.
8. Dalrymple, D.G. 1986. Development and spread of high yielding wheat varieties in developing countries. Washington, D.C.: Agency for International Development.
9. Fischer, K.S., E.C. Johnson y G.O. Edmeades. 1976. Breeding and selection for drought tolerance in tropical maize. México, D.F.: CIMMYT. p. 28.
10. Fischer, R.A. y R. Maurer. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Aust. J. Agric. Res.* 29: 897-912.
11. Fischer, R.A. y N.C. Turner. 1978. Plant productivity in the arid and semiarid zones. *Ann. Rev. Pl. Phystol.* 29: 277-317.
12. Finley, K.W. y G.N. Wilkinson. 1963. The analysis of adaptation in plant breeding programs. *Aust. J. Agric. Res.* 14: 742-754.
13. Frey, K.J. 1981. Capabilities and limitations of conventional plant breeding. In: K.O. Rachie y J.M. Lyman, eds. *Genetic Engineering for Crop Improvement*. EUA: Rockefeller Foundation. pp. 15-62.

14. Hounam, C.E., J.J. Burgos, M.S. Kalik, W.C. Palmer y J. Rodda. 1975. Drought and Agriculture. Report of the C. Ag. M. Working Group on the Assessment of Drought 1. Tech. Note 138. Ginebra: Organización Meteorológica Mundial. pp. 51-58.
15. Hurd, E.A. 1975. Phenotype and drought tolerance in wheat. In: J.F. Stone, ed. Plant Modifications for More Efficient Water Use. Nueva York: Elsevier. pp. 39-57.
16. Hurd, E.A. 1976. Plant breeding for drought tolerance. In: T.T. Kozlowski, ed. Water Deficits and Plant Growth. Nueva York: Academic 4: 317-353.
17. Jones, R.A. y C.O. Qualset. 1984. Breeding crops for environmental stress tolerance. In: G.B. Collins y J.G. Petolino, eds. Applications of Genetic Engineering to Crop Improvement. Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk, Publishers.
18. Laing, D.R. y R.A. Fischer. 1977. Adaptation of semidwarf wheat cultivars to rainfed conditions. Euphytica 26: 129-139.
19. Levitt, J. 1980. Responses of plants to environmental stresses. Vols. 1 and 2. Nueva York: Academic Press.
20. Mussel, H. y R. S. Staples. 1979. Stress physiology in crop plants. Nueva York: Wiley and Sons. 501 pp.
21. Osmanzai, M., S. Rajaram y E.B. Knapp. 1985. Breeding for moisture stress areas. In: J.P. Srivastava, E. Porceddu, E. Acevedo y S. Varma, eds. Drought Tolerance in Winter Cereals. Nueva York: Wiley and Sons. pp. 151-161.
22. Pfeiffer, W.H. 1988. Drought tolerance in bread wheat-analysis of yield improvement over the years in CIMMYT germplasm. In: A.R. Klatt, ed. Wheat Production Constraints In Tropical Environments. México, D.F.:CIMMYT. pp. 274-284.
23. Pfeiffer, W.H. y H.J. Braun. 1985. Yield stability in bread wheat. Trabajo presentado en el Taller del IRPR/DSF sobre Fuentes de Mayor Variabilidad en el Rendimiento de los Cereales, 26-29 de noviembre, Feldafing, Alemania.
24. Pfeiffer, W.H., K. Sayre, S. Rajaram y T.S. Payne. 1989. Empirical approaches to breeding for drought stress. Trabajo que se presentará en la Reunión Anual de ASA-CSSA-SSA, 15-20 de octubre de 1989, Las Vegas, NEV. Agronomy Meetings (en prensa).
25. Quizenberry, J.E. 1981. Breeding for drought resistance and plant water use efficiency. In: M.N. Christiansen y C.F. Lewis, eds. Breeding Plants for Less Favorable Environments. pp. 193-212.
26. Rajaram, S. y W.L. Nelson. 1982. Wheat production systems in arid and semiarid regions. Trabajo presentado en la Escuela Internacional de Verano sobre Agricultura organizada por la Royal Society de Dublin. pp. 305-324.
27. Rajaram, S., B. Skovmand y B.C. Curtis. 1984. Philosophy and methodology of an international wheat breeding program. In: J.P. Gustafson, ed. Gene Manipulation in Plant Improvement. Nueva York: Plenum Press. pp. 33-60.
28. L.P. Reitz. 1974. Breeding for more efficient water use: Is it real or mirage? Agric. Meteorol. 14: 3.

29. Reitz, L.P. 1975. Breeding for more efficient water use: Is it real or mirage? In: J.F. Stone, ed. *Plant Modification for More Efficient Water Use*. Nueva York: Elsevier.
30. Sammons, D.J., D.B. Peters y T. Hymowitz. 1980. Screening soybeans for tolerance to moisture stress: a field procedure. *Field Crops Res.* 3: 321.
31. Smith, E.L. 1982. Heat and drought tolerance wheats of the future. In: *Proceedings of the National Wheat Research Conference*, Beltsville, Maryland. pp. 141-147.
32. Srivastava, J.P. 1987. Barley and wheat improvement for moisture limiting areas in West Asia and North Africa. In: J.P. Srivastava, E. Porceddu, E. Acevedo y S. Varma, eds. *Drought Tolerance in Winter Cereals*. Nueva York: Wiley and Sons. pp. 65-78.
33. Thompson, L.M. 1975. Weather variability, climatic change, and grain production. *Science* 188: 535-539.
34. Turner, N.C. y P.J. Kramer. 1980. *Adaptation of plants to water and high temperature stress*. Nueva York: Wiley and Sons. 482 pp.
35. Worrall, W.D., N.H. Scott, A.R. Klatt y S. Rajaram. 1980. Performance of CIMMYT wheat germplasm in optimum and suboptimum production environments. In: *Proceedings of the 3rd International Wheat Conference*. Madrid, España. pp. 5-29.

Breeding for Drought Tolerance in Wheat: Perspectives and Opinions

Abstract

As we continue to explore the possibility of increasing agricultural productivity on currently cultivated land, we are also looking at adapting marginal land areas to agriculture through improved genetic adaptation of plants to environmental extremes. Among the environmental variables affecting plant growth and development, drought stress is one of the most important. The term "drought tolerance" is related to a moisture stress environment and means the ability of one genotype to be more productive with a given amount of soil moisture than another genotype. Study of drought tolerance requires an objective definition of drought, but to date no universally acceptable one has been developed. Four major drought patterns for wheat are:

- *Mediterranean: most rainfall in winter before anthesis, with stress increasing in severity throughout grain filling.*
- *Southern Cone of South America: small grain cereals sown in the winter experience a moderately dry period before anthesis and fill grain during a period of increasing rainfall.*
- *Indian Subcontinent: small grain cereals utilize reserve soil moisture after Monsoon and survive on stored moisture and occasional rains and supplemental irrigation.*
- *Reduced Irrigation: cereals survive on limited irrigations due to reduced amount of water supply in dams.*

CIMMYT has systematically crossed the diverse gene pools of spring and winter habit wheats for the last 19 years. There is circumstantial evidence that the derivatives of spring x winter crosses and advanced lines have given enhanced drought tolerance as indicated by the high degree of acceptance of this germplasm in semiarid environments. It is generally believed that the variability is still large, and should be used as a primary source of genetic resource for this character. Wide cross products derived from related genera and distant relatives of wheat offer a great opportunity to enrich this variability. Some biotechnology methodologies, such as tissue culture, may offer opportunities to acquire these genes and combine them with highly productive, stable varieties.

Cuadro 1. Coeficiente de relación entre rendimiento de grano, componentes de rendimiento, índice de cosecha (IC), biomasa y algunas características agronómicas obtenidas en condiciones de riego reducido (2) Y 86-87.

	Rendimiento	Biomasa	IC
Biomasa	0.932**		
IC	0.206	-0.158	
Grano por espiga	0.135	0.460*	-0.363
Peso 1000 granos	-0.212	-0.301	0.269
Espiga (m ²)	0.775**	0.649**	0.319
Floración	0.200	0.351	-0.329
Madurez	-0.175	-0.014	-0.415
Altura	0.266	0.436	-0.482

* 0.05

** 0.01

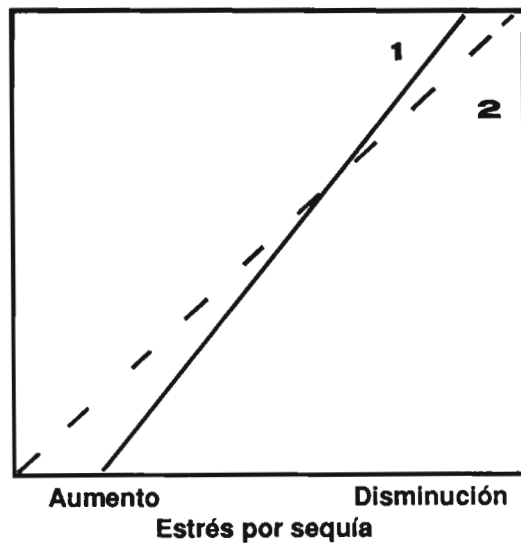


Figura 1. Respuesta generalizada en el rendimiento de dos variedades, 1 y 2 en ambientes con distintos niveles de estrés por sequía lo cual indica que hay tipos que poseen ambos caracteres.

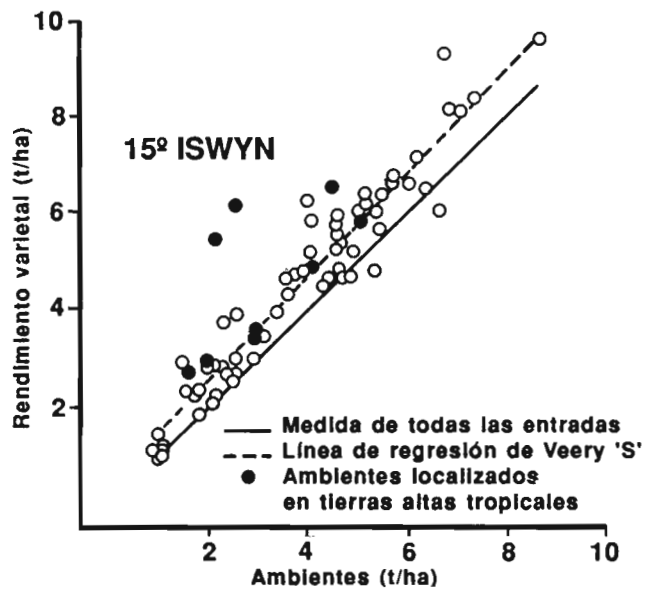


Figura 2. Línea de regresión del rendimiento de Veery 'S' y los rendimientos medios de 73 localidades en el 15º ISWYN.

MEJORAMIENTO DE TRIGO PARA RESISTENCIA A SEQUÍA

Ricardo R. Pedretti

Ministerio de Agricultura y Ganadería
Dirección de Investigación
Asunción, Paraguay

Resumen

Las condiciones ecológicas prevalentes en Paraguay han sido tradicionalmente consideradas como marginales para el cultivo del trigo. Entre las principales componentes del estrés abiótico se destaca la presencia frecuente de períodos de sequía, generalmente asociada con temperaturas elevadas, en cualquier etapa del cultivo, aunque las probabilidades de ocurrencia son mayores a mitad del ciclo. Los períodos de déficit hídrico se registran, a pesar de la elevada pluviometría, como consecuencia de la distribución irregular de precipitaciones y las características edáficas de las zonas productoras del cereal. La topografía ondulada y la degradación del suelo asociada a la labranza convencional determinan altos niveles de pérdida de agua por escurrimiento. El programa de mejoramiento genético no incluye el desarrollo específico de germoplasma resistente o tolerante a sequía, aunque el material expuesto a frecuentes períodos de déficit de humedad. En el último quinquenio, se instala un vivero de líneas avanzadas en la zona semiárida del Chaco, habiéndose identificado material de mejor adaptación y tolerancia a sequía. En el programa de mejoramiento multilocal conducido en asociación con el CIMMYT, una generación es sembrada bajo riego en México y otra en Paraguay bajo temporal, en búsqueda de genotipos mejorados de alto rendimiento y tolerancia a daños causados por sequía a mitad de ciclo.

Introducción

La producción nacional de trigo del Paraguay ha experimentado un sostenido aumento, especialmente en los últimos años, habiéndose sobrepasado la meta del autoabastecimiento del cereal, estimado en alrededor de 325.000 Tm/año en 1988. Entre los principales factores que permitieron el progreso registrado se destaca el rol de la experimentación y mejoramiento genético en la identificación y difusión de mejores materiales. En efecto, el trabajo de selección de germoplasma más adaptado a las condiciones ambientales, bióticas y abióticas, prevalentes en el país se intensificó en las décadas del 70 y 80. La totalidad del trigo es producida en condiciones de temporal o seco. En ese contexto, uno de los principales factores abióticos para la selección de germoplasma es la presencia frecuente de períodos variables de sequía, generalmente asociada con calor, en cualquiera de las etapas del ciclo vegetativo y/o reproductivo. Aunque el programa no conduce un proyecto específico de mejoramiento por resistencia a sequía, es indudable que este factor ha constituido una componente implícita del screening realizado en la mayoría de los años.

Caracterización climática

El Paraguay posee un clima tropical a subtropical; continental debido a su mediterraneidad. El río Paraguay divide al país en dos regiones muy diferentes en suelo y clima, la Región Occidental o Chaco con un clima semiárido a subhúmedo megatermal, y la Región Oriental húmeda mesotermal. El trigo es producido casi totalmente en esta última, especialmente en la frontera este y sureste.

Si bien no existe una marcada diferencia estacional se pueden distinguir las cuatro estaciones, especialmente en el sur de la Región Oriental (Itapúa). El país posee una variabilidad climática geográfica más pronunciada de lo que se esperaría al considerar su territorio relativamente pequeño

(406.752 km²). Dicha variabilidad tiene como principal causa a la distribución irregular de precipitaciones, más que a la variación de temperatura, dada la escasa diferencia en latitud (19-27 grados S) y altitud (80-500 m.s.n.m.).

Temperatura

La temperatura media anual varía desde 21°C grados en el extremo sureste (Itapúa), donde se produce alrededor de la mitad del trigo, hasta 25°C grados en el centro norte del Chaco Paraguayo (Figura 1). La información correspondiente a los valores promedios por mes y región se presentan en las Cuadros 1 al 4.

En relación a la variación estacional de la temperatura, se observa que tanto la máxima media como la mínima media registran una diferencia de aproximadamente 11°C grados entre el invierno y el verano. En cuanto a la variación geográfica, la máxima media varía en un rango desde 32°C (Caacupé) hasta 30.6°C (Cap. Miranda), mientras que la mínima media fluctúa entre 11.2 y 9.7°C para las mismas localidades, respectivamente. La temperatura máxima absoluta registra desde 39°C en Canindeyú y Alto Paraná norte hasta 44°C en la frontera noroeste, con Bolivia (Figura 2). La temperatura mínima absoluta alcanzó valores inferiores a -6°C en el extremo sureste (Itapúa).

Sin embargo, a pesar de que estos valores promedios describen la variación estacional y regional de las temperaturas, es la variación registrada durante el ciclo de trigo la que es comparativamente más pronunciada, y caracteriza adecuadamente el estrés sometido al cultivo. Es frecuente la alternancia de períodos breves de altas y bajas temperaturas durante todo el ciclo del cultivo, pudiendo registrarse temperaturas extremas inferiores a 0°C y superiores a 30°C en pocos días. Se registra asimismo una elevada diferencia nocturna/diurna de 10°C.

Precipitaciones

La mayor parte de las precipitaciones del país son de tipo convectivo producidos por tormentas aisladas o por líneas de turbonada más frecuentes desde la primavera hasta el otoño. La cantidad total y distribución de precipitaciones también presenta gran variabilidad estacional y geográfica.

La precipitación anual media en milímetros se presenta en la Figura 3. Así, la cuenca del río Paraná registra los valores máximos (1700 mm), decreciendo progresivamente en dirección noroeste hasta la frontera con Bolivia (400 mm).

La variación geográfica mencionada se explica en parte por la distribución estacional de las lluvias. En efecto, el nivel de precipitaciones registrado en la época invernal es el principal factor de variación. Este presenta un rango desde la ausencia de déficit de humedad en Itapúa, hasta la presencia de un período seco (junio a setiembre), inclusive en el extremo noroeste del país.

Considerando que en la actualidad alrededor del 90% de la producción nacional de trigo se concentra en los Departamentos de Itapúa, Alto Paraná, Canindeyú, se presentan las Figuras 4 y 5 con la distribución mensual de lluvias del CRIA, Capitán Miranda (Itapúa), Ciudad del Este (Alto Paraná) y Saltos del Guairá (canindeyú). Además, se incluye la información concerniente al IAN Caacupé, el cual presentaría a las zonas productoras del cereal ubicadas principalmente en los Departamentos de San Pedro y Caaguazú. Se observa la escasa diferencia entre Itapúa y Alto Paraná, en las precipitaciones mensuales efectuadas, excepto la tendencia decreciente de precipitaciones en los meses de julio y agosto de esta última zona. A las precipitaciones en todo el ciclo de cultivo decrecen progresivamente en dirección norte, tal como lo demuestra la Figura 4 correspondiente a Saltos del Guairá.

En contraste, los datos de precipitaciones del IAN (Figura 4) muestran valores más altos que Canindeyú en todas las etapas, excepto en los meses de julio y agosto (mitad del ciclo del trigo), en los cuales las precipitaciones alcanzan un nivel mínimo.

Evapotranspiración

La evapotranspiración potencial (ETP) registra valores mínimos en el sureste del país (Itapúa, 1100 mm), y máximos en el extremo norte del Chaco (1500 mm), debido al balance determinado por las precipitaciones y la temperatura, principalmente (Figura 6), se observa que no existe déficit de humedad en el sureste del país en promedio de varios años. En Canindeyú se registra una disminución relativa, mientras que en las zonas central y norte (San Pedro, Caaguazú) se presenta un déficit de humedad en los meses de julio y agosto. Caracterización edáfica: La distribución de los principales grupos de suelos de la Región Oriental del Paraguay se presentan en la Figura 6. En la actualidad, alrededor del 90% de la producción de trigo se realiza en la región este y sureste del país, en suelos derivados de basalto. La mayor parte del resto es cultivada en San Pedro, Caaguazú y el oeste de Canindeyú en suelos derivados de areniscas (Colonias Mennonitas).

Suelos basálticos

Estos se caracterizan por su textura superficial franco arcillo arenoso, y subsuperficial arcillosa. El perfil presenta comunmente un color 2,5 Y/R 3/6 rojo oscuro hasta 10R 3/4 pardo.

La estructura es de bloques subangulares, moderados, de tamaño grande y mediano, consistencia firme ligeramente dura, adhesiva y plástica. Se presentan cutanes continuos, más espesos en el horizonte B.

Se detectan tres horizontes A, B y C. Los suelos son profundos, bien drenados y bien aireados en superficie. Sin embargo, el laboreo convencional continuado en la sucesión trigo/soja produce procesos degradativos del suelo en sus características físicas, químicas y biológicas. Con varios ciclos de producción es frecuente observar camadas y compactadas a 10-15 cm de profundidad. Los tipos predominantes son: el latosol rojo oscuro (más frecuente en Itapúa y Alto Paraná) y el laterítico pardo rojizo (Alto Paraná y Canindeyú).

Suelos derivados de areniscas: Poseen una textura superficial franco arcillo arenosa. El perfil se caracteriza por un color rojo amarillo a rojo oscuro. La estructura es de bloques subangulares, débiles, de tamaño pequeño a mediano. La consistencia es friable, blanda, no adhesiva ni plástica. En algunos suelos se presentan cutanes discontinuos, comunes, especialmente en el horizonte B. Se presentan tres horizontes: A, B y C. En suelos nuevos la profundidad es buena, bien drenada y bien aireada en superficie con adecuada capacidad de almacenamiento de agua.

El repetido uso agrícola, sin embargo, degrada muy rápidamente las características enunciadas, especialmente las físicas, demostrando un grado de fragilidad variable. Los tipos predominantes de suelos pertenecientes a este grupo son: Podzolicos Rojo Amarillos, en los cuales la arcilla se detecta a los 70-80 cm de profundidad, y Podzolicos Rojo Oscuro.

En ambos grupos de suelos, las condiciones frecuentemente observadas en parcelas bajo cultivo mecanizado por varios años consecutivos, es común el inicio de síntomas de marchitamiento a partir de dos semanas posteriores a la última precipitación. El laboreo de suelo normalmente se suspende a partir de la tercera semana debido a sequía de los horizontes superiores.

El Figura 7 presenta la distribución porcentual de suelos por capacidad de uso en la región este del país. La mayor proporción de suelos con aptitud agrícola corresponden a las clases II y III, donde un factor importante de clasificación es la pendiente del terreno. La topografía predominante y la intensidad de las precipitaciones determinan que gran parte del agua no es almacenada en el suelo sino que se pierde por escorrentía.

Programa de mejoramiento de trigo

Antecedentes

El trabajo de mejoramiento genético de trigo es conducido por la Dirección de Investigación y Extensión Agropecuaria y Forestal (DIEAF), en los dos centros experimentales más antiguos del país, el Instituto Agronómico Nacional (IAN) y el Centro Regional de Investigación Agrícola (CRIA), realizados en Caacupé y Capitán Miranda, respectivamente.

El programa estuvo basado desde sus inicios, en la introducción de material genético fijado foráneo. La casi inexistencia de producción de trigo hasta los años 50 motivaron la introducción de materiales de muy diversa procedencia para su evaluación local. Los principales viveros introducidos provinieron del USDA, EMBRAPA, FECOTRIGO, OCEPAR, CIMMYT y otros. A partir del año 1972 se inicia un programa local de cruzamientos de selecciones del mejor material introducido en años anteriores, algunos de los cuales fueron multiplicados como variedades comerciales. Posteriormente se inició la introducción de poblaciones de diversos programas del exterior, especialmente del CIMMYT.

A partir del año 1985 se inició un programa de selección multilocal de generaciones segregantes (Shuttle breeding) en cooperación con el CIMMYT con el objetivo de desarrollar germoplasma mejor adaptado a las condiciones ambientales, bióticas y abióticas, prevalentes en Paraguay y regiones similares.

Locales de selección

En relación al medio ambiente (suelo, clima) el país presenta características de marginalidad para el trigo con grado variable según las diferentes zonas. En cuanto al clima, ya se mencionan los principales factores. En relación al factor adáptico, condiciones de acidez y en algunos casos toxicidad de aluminio, y de gradación por el uso agrícola son frecuentes en las zonas productoras del cereal.

Los dos centros de investigación de la DIEAF, el IAN y el CRIA están ubicados en regiones contrastantes. En general, el material sembrado en IAN es sometido a fuerte presión de selección por factores ambientales: altas temperaturas, sequía en post siembra especialmente en julio/agosto, degradación de suelos, baja materia orgánica, etc. El CRIA en cambio, posee características ambientales muy superiores, permitiendo la expresión del potencial de rendimiento del material y una presión selección de mayor basada en la reacción a enfermedades.

Viveros de selección de líneas avanzadas

El programa de mejoramiento genético de trigo incluye trabajos con material fijado y segregante. En relación al material fijado, el programa local recibe anualmente viveros de diversas procedencias, entre las que caben mencionar viveros de germoplasma para áreas cálidas y calientes (Warmer Areas Wheat Screening Nursery y Hot Climate Screening Nursery) que reúnen líneas avanzadas seleccionadas para esos objetivos. Estos son probados en el IAN y en algunas zonas productoras del norte de la Región Oriental del Paraguay. Las localidades utilizadas incluyen al IAN y Campo Experimental de San Juan Bautista, Misiones, son suelos arenosos y Hernandarias e Yjhovy con basálticos. Una localidad para la prueba específica de resistencia o tolerancia a la sequía en la estación experimental de la colonia menonita de Filadelfia, Chaco. En esta zona se registra un déficit de humedad pronunciado en los meses de junio/agosto inclusive, aunque no siempre repetible.

Programa local de cruzamientos

En cuanto al desarrollo de germoplasma local, se han iniciado cruza específicas para mejorar el comportamiento del material sometido a estrés hídrico, con o sin altas temperaturas, para su distribución regional. En general las líneas resultantes resultaron ser semitardías en algunos locales, por lo cual se reprograman las cruza con el objetivo de incluir líneas portadoras de mayor

precocidad. Se espera disponer de poblaciones para ser distribuidas a los países participantes a partir de 1990.

El mejor material seleccionado localmente ha ingresado a un vivero de sequía regional el cual ha sido al INTA de Marcos Juárez (Argentina), CIAT de Santa Cruz (Bolivia), OCEPAR-Palotina, Paraná (Brasil), además del IAN Y Filadelfia, Chaco Paraguayo.

Las mejores líneas y variedades en cuanto a su comportamiento en condiciones de sequía incluyen a: IAN 5, Cordillera 3, Seri 82, Galvez 87, Chilero'S', Myna/Vul y Vee/Myna. En base a resultados de los últimos años, se piensa expandir este trabajo con mejores líneas de otros países incluidos en el vivero.

Manejo de poblaciones segregantes

Las cruzas simples son realizadas en el IAN durante el ciclo del cultivo. La generación F1 resultante es enviada al CIANO/CIMMYT (México) para ser seleccionada por tipo agronómico y reacción a royas durante el verano del Cono Sur. El programa multilocal ("Shuttle Breeding") implica la siembra de dos generaciones por año, correspondiendo la temporada estival a México, en las generaciones más tempranas (F3, F5), y a Chile en las finales (F5, F7). Las generaciones pares son sembradas en condiciones de temporal en el IAN. Caacupé. En el presente esquema es seleccionado alternativamente bajo condiciones óptimas (Mexico, Chile, IAN), con el objetivo de seleccionar material de alto rendimiento, amplia adaptación y mayor tolerancia al estrés abiótico.

En cuanto al futuro desarrollo del programa, se debería considerar el estudio del uso de nuevas metodologías e instrumentos para la selección más efectiva e inequívoca de material genético superior en cuanto al comportamiento frente al estrés hídrico, de modo a permitir un avance genético más acelerado y eficiente.

Breeding Wheat for Resistance to Drought

Traditionally, the ecological conditions prevalent in Paraguay have been considered marginal for wheat production. Among the principal components of abiotic stresses, the presence of frequent drought associated with high temperatures during the crop cycle is a common occurrence. In spite of high annual rainfall, drought during winter months exists due to the irregular rainfall distribution in the wheat growing regions. The rolling topography and soil degradation associated with conventional tillage practices are responsible for high levels of water runoff. The breeding program does not include specific germplasm for resistance or tolerance to drought, although material is exposed to frequent drought stress. During the last 5 years, a nursery composed of advanced lines has been seeded in the semi-arid region of Chaco so that material with better adaptation and tolerance to drought can be selected. In the multi-location breeding program conducted jointly with CIMMYT, one generation is seeded under irrigated conditions in Mexico and the next under dryland conditions in Paraguay. This permits the identification of better genotypes for high yield and tolerance to drought in the middle of the crop cycle.

Cuadro 1. Datos climáticos de Estancia La Patria, "Chaco", 21° 20'S, 61° 30'W.

Parámetro	Meses												Total/Media	
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		
Precipitación	107.0	108.0	90.3	68.1	37.0	21.6	13.0	13.0	13.0	23.0	65.0	80.0	109.0	734.0
Temp. máxima med	33.0	34.3	32.1	29.9	29.6	26.0	26.0	26.0	26.5	29.0	32.0	32.1	31.7	30.0
Temp. mínima med	23.0	22.7	21.8	19.0	17.2	13.0	12.0	12.0	16.4	16.0	23.5	24.0	23.5	19.3
Temp. media norm	28.0	28.0	26.9	24.0	23.4	19.5	19.0	19.0	21.4	22.5	27.5	28.0	27.6	24.6
Humedad relativa	67.0	68.0	68.0	70.0	72.0	74.0	70.0	70.0	62.0	60.0	63.0	64.0	67.6	
E T P	180.1	158.0	146.7	95.6	87.2	47.3	45.6	45.6	68.7	80.9	162.5	173.3	173.9	1419.8
Heladas				1	2	1	1	1	1					5
Heliofanía	296.0	260.0	250.0	240.0	200.0	160.3	126.4	126.4	216.4	217.4	254.0	278.0	306.0	2370.0

Cuadro 2. Datos climáticos de Estación IAN Caacupé, 25° 24'S, 57° 06'W.

Parámetro	Meses												Total/Media	
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		
Precipitación	173.0	142.0	140.7	152.6	124.0	99.0	48.7	48.7	36.9	105.0	141.0	212.8	147.6	1523.3
Temp. máxima med	32.0	31.6	29.8	27.2	29.4	22.3	22.5	22.5	25.2	28.5	29.7	31.9	31.9	28.5
Temp. mínima med	20.4	20.5	19.0	16.3	14.2	12.0	11.2	11.2	12.9	14.3	17.0	18.6	20.3	16.4
Temp. media norm	25.5	26.0	24.6	21.9	19.8	17.4	17.5	17.5	18.9	20.4	22.8	24.7	26.4	22.2
Humedad relativa	71	72	75	76	77	76	74	74	70	70	68	66	68	71.9
E T P	169.5	130.0	121.2	98.5	61.5	41.9	44.9	44.9	48.1	73.5	118.8	133.2	142.5	1182.6
Heladas														7
Heliofanía	220.4	252.0	242.2	233.0	204.1	168.3	192.2	192.2	218.7	202.6	252.5	274.0	306.0	2766.0

Cuadro 3. Datos climáticos de Estación Salto del Guairá, 21° 03'S, 54° 19'W.

Parámetro	Meses												Total/Media
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Precipitación	148.0	132.0	118.0	121.0	114.0	115.0	82.0	90.0	150.0	214.0	141.2	150.0	1641.0
Temp. máxima med	31.0	32.0	29.0	25.0	23.0	21.5	21.0	24.0	27.0	28.0	30.5	30.0	26.8
Temp. mínima med	20.6	21.7	20.0	17.0	13.4	11.8	11.0	12.0	16.0	18.4	19.8	19.0	16.4
Temp. media norm	25.8	26.8	24.5	21.0	18.2	16.5	14.0	18.0	21.5	23.2	25.1	24.5	21.6
Humedad relativa	77	78	79	79	80	82	81	80	79	74	76	74	78.1
E.T.P	145.8	120.1	116.6	73.6	51.1	38.2	37.1	51.0	81.7	107.1	130.6	199.9	1033.1
Heladas													
Heliofanía													

Cuadro 4. Datos climáticos de Estación CRIA Capitán Miranda, 27° 17'S, 55° 49'W.

Parámetro	Meses												Total/Media
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Precipitación	160.8	160.2	172.0	140.6	138.0	124.7	110.1	139.6	131.6	166.5	173.8	155.8	1773.7
Temp. máxima med	31.6	31.0	29.3	26.5	23.3	21.0	21.8	22.2	24.7	27.2	29.4	30.8	26.6
Temp. mínima med	19.5	20.3	18.5	15.8	13.6	9.7	10.6	11.4	12.9	15.9	17.3	10.3	15.4
Temp. media norm	25.5	25.6	23.3	21.1	18.4	15.3	16.2	16.9	18.8	21.5	23.3	25.1	21.0
Humedad relativa	71.2	75.2	77.0	76.1	78.8	81.4	78.1	77.5	74.5	69.7	69.6	69.5	74.8
E.T.P	130.0	116.0	95.0	74.0	55.0	40.0	48.0	58.0	78.0	111.0	125.0	136.0	1066.0
Heladas			1	2	3	3	2	1					12
Heliofanía	221.0	195.0	210.0	176.0	169.0	128.0	159.0	163.0	177.0	222.0	220.0	266.0	2306.0

FIG. 1

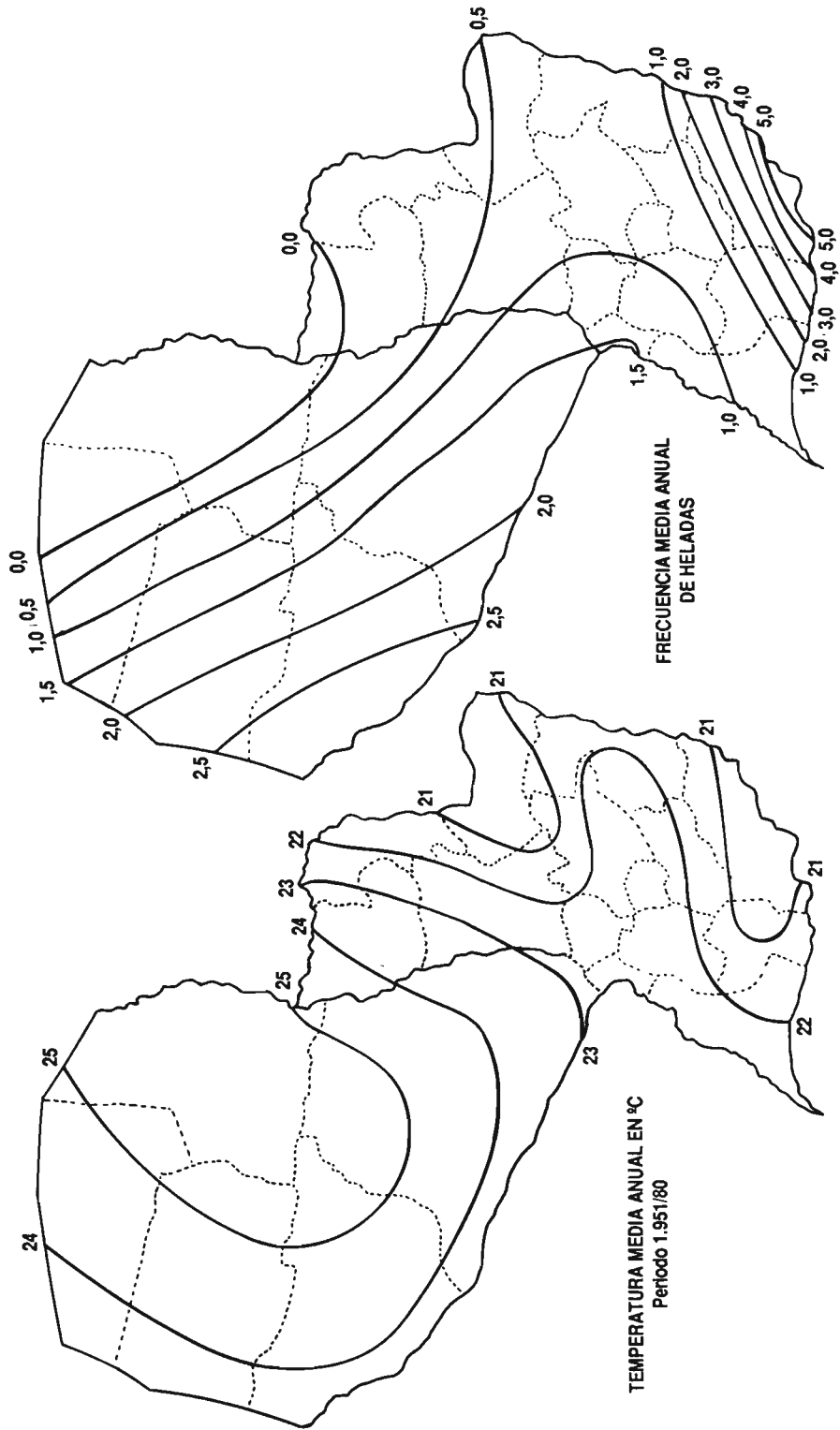


FIG. 2

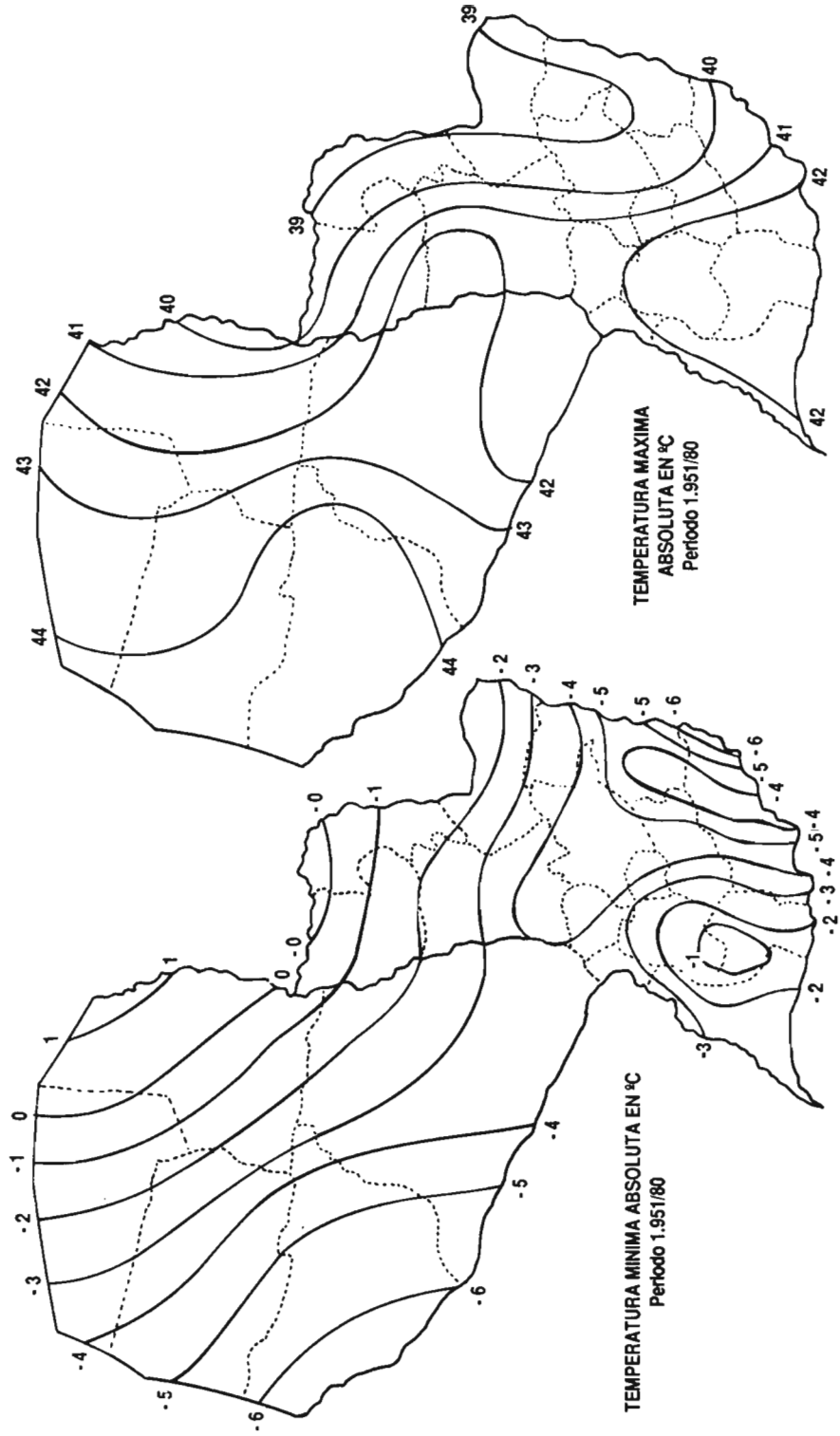


FIG. 3

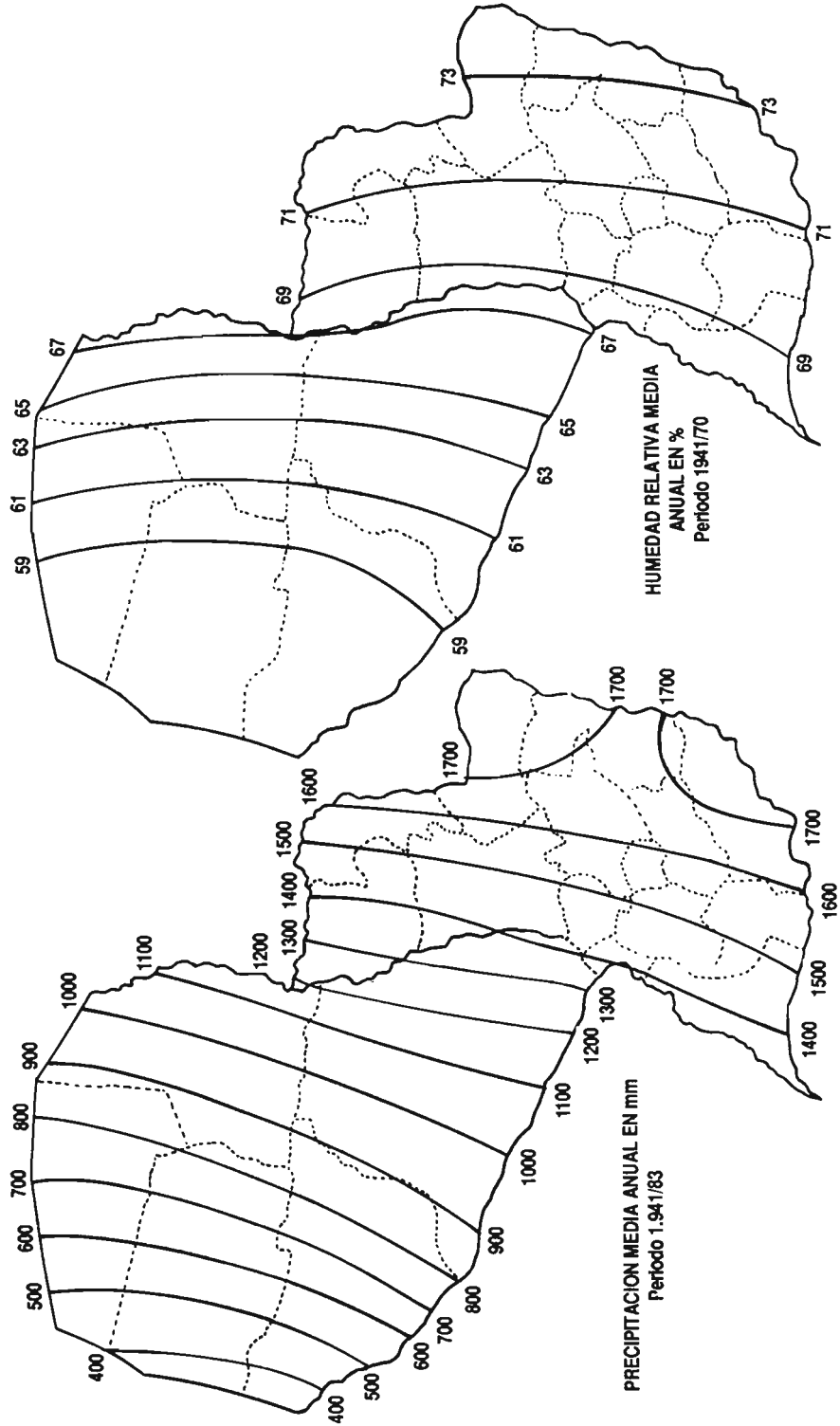
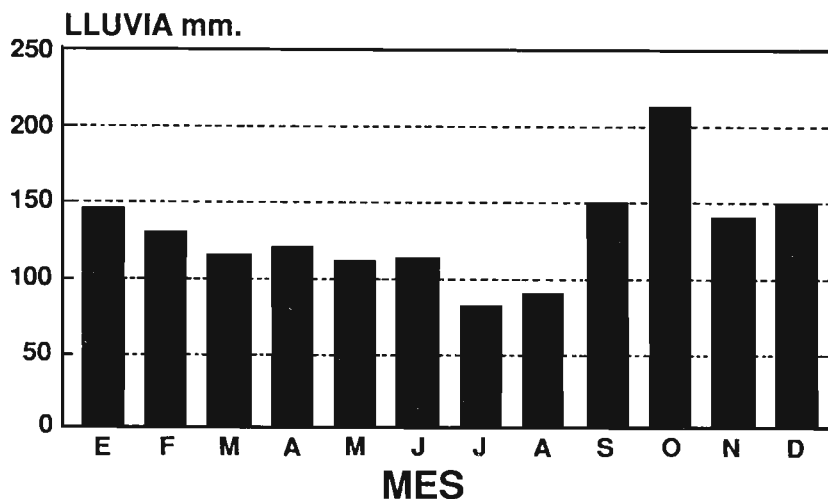


FIG. 4

SALTOS DEL GUAIRA PRECIPITACION PROMEDIO 1951/84



IAN CAACUPE PRECIPITACION PROMEDIO 1961/1985

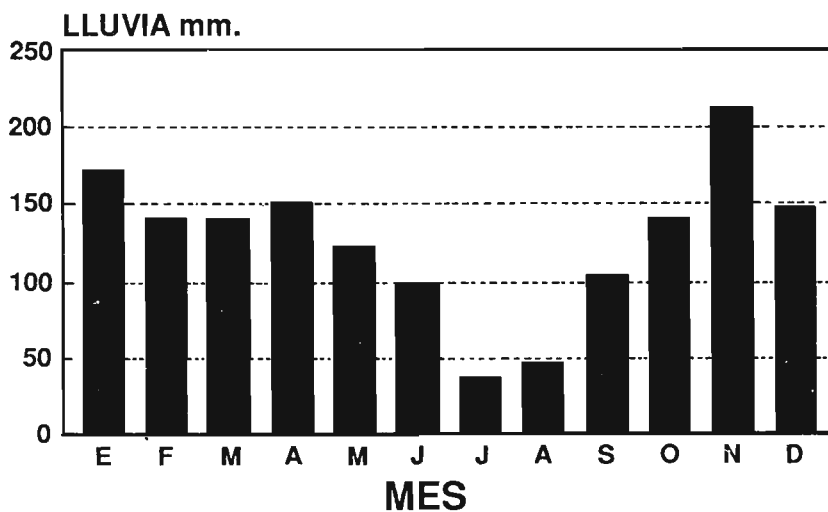
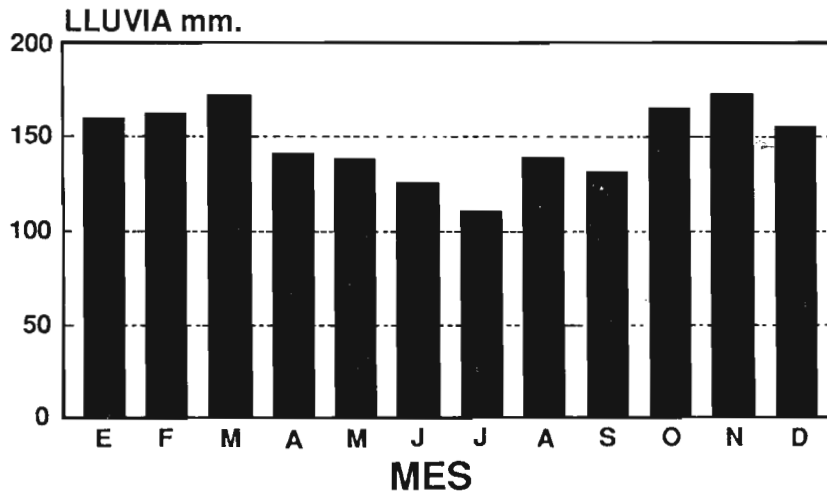


FIG. 5

CAPITAN MIRANDA PRECIPITACION PROMEDIO 1964/84



ALTO PARANA PRECIPITACION PROMEDIO 1937/80

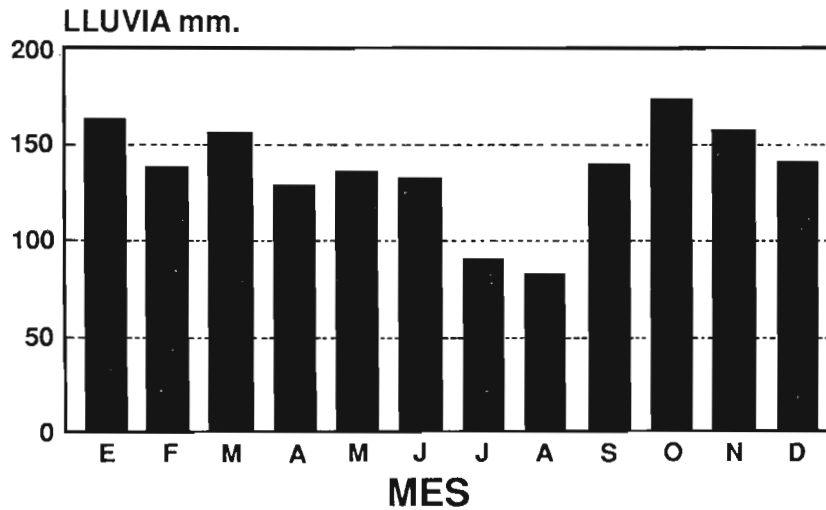


FIG. 6

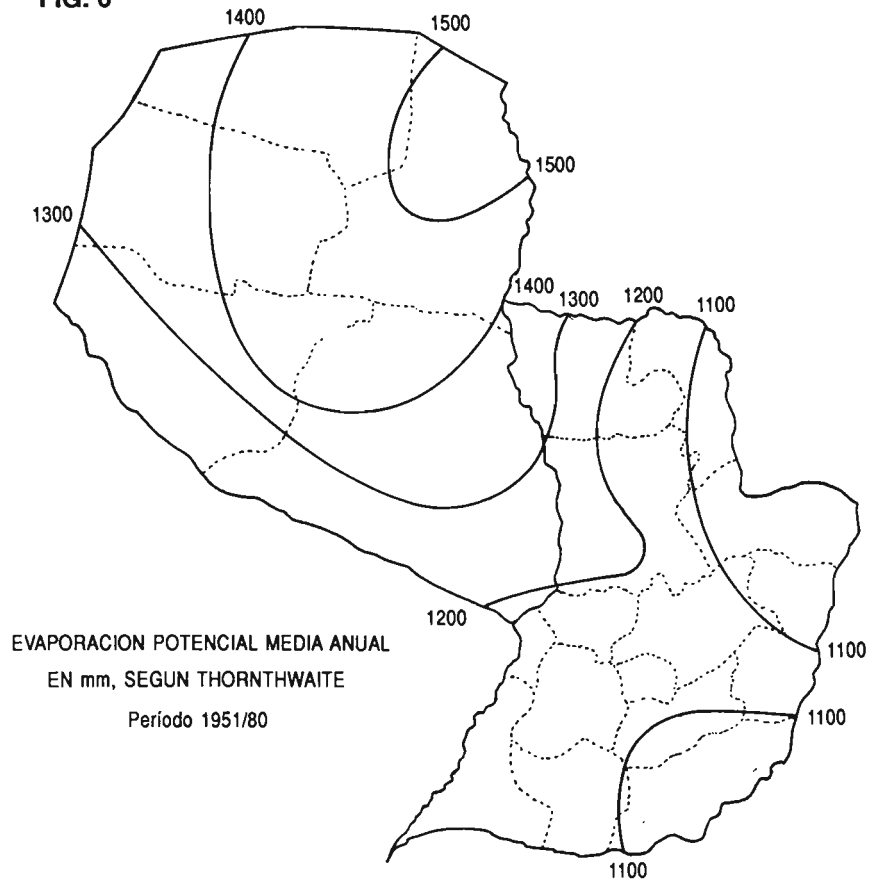
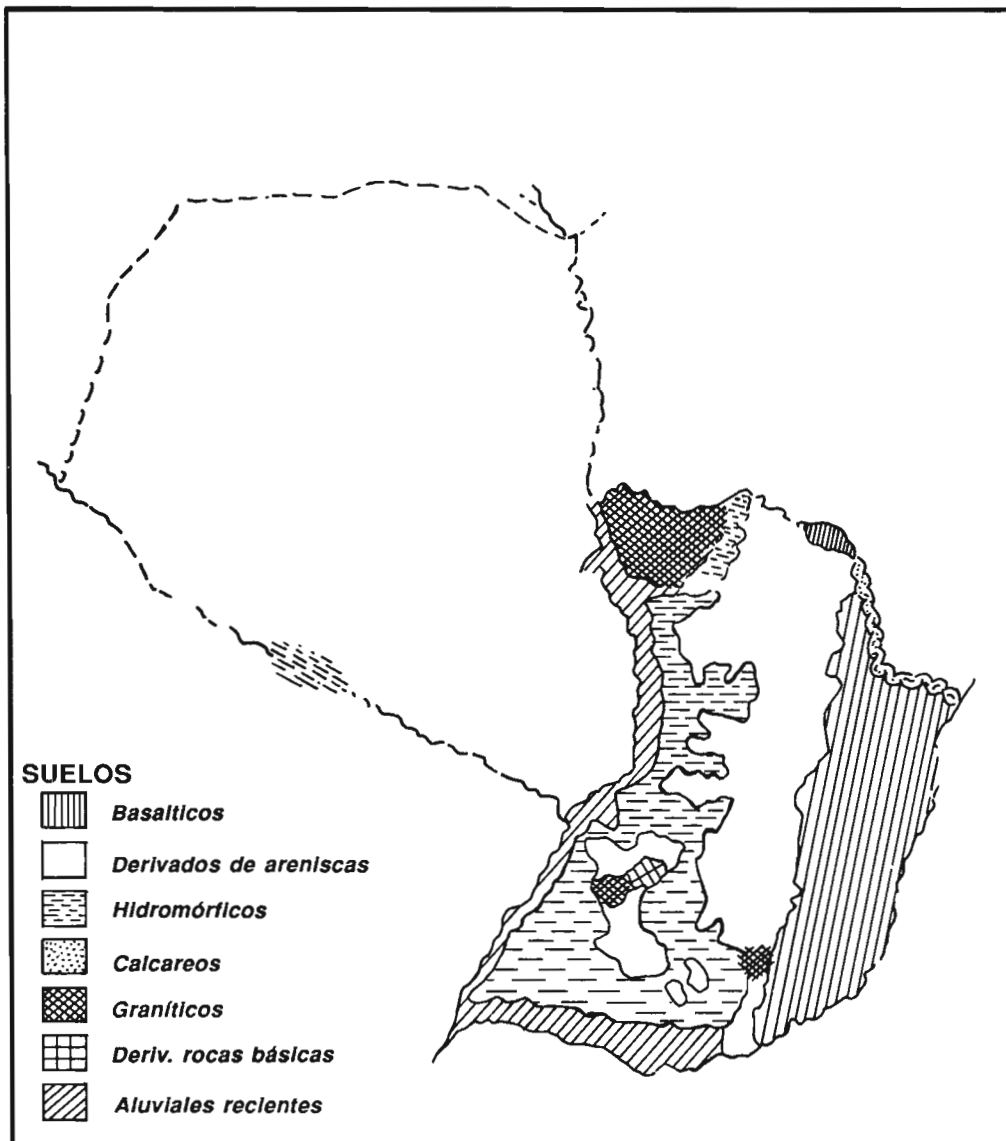


FIG. 7

SUELOS DE LA REGION ORIENTAL DEL PARAGUAY



BREAD WHEAT BREEDING FOR THE DRYLAND AREAS OF WEST ASIA AND NORTH AFRICA

G. Ortiz Ferrara

CIMMYT/ICARDA Regional Wheat Breeder
ICARDA, P.O. Box 5466, Aleppo, Syria

Abstract

The breeding methodology of any breeding program must reflect the pertinent realities of the target environment(s). The environments of countries in West Asia and North Africa are characterized as being highly variable and unpredictable with regard to moisture availability, temperature regimes, soil fertility and pH conditions, disease and insect pests, and management factors. In these countries, about 77% of the bread wheat is grown under rainfed conditions, and it has been estimated that about 43% of that area receives less than 400 mm of annual average rainfall. Wheat is grown and harvested where temperatures fluctuate significantly. Typically, however, wheat is sown in the fall, wherein its early growth and development occur during the coolest months and grain ripening occurs during the warmest months. Extreme temperatures, both cold and hot, are common abiotic stress factors during the crop season and frequently a complex interaction between them and moisture deficits develops. Other biotic stresses, such as disease and insect pests, are also important constraints of wheat production in the region.

Examples of different, yet successful, breeding programs can be found in the literature to support either one of the two following plant breeding philosophies: 1) those aiming to develop genotypes for relatively specific adaptation and 2) those aiming to develop genotypes with wide adaptation across different environments. This paper describes the breeding methodology of the joint CIMMYT/ICARDA bread wheat improvement program for the dryland areas of West Asia and North Africa.

Defining the Target Environments

Bread Wheat comprises approximately 70 percent of the total wheat (bread wheat + durum) grown in West Asia and North Africa (WANA). In WANA bread wheat is grown in three different agro-climatological zones based on moisture availability and temperature regimes. These are:

- Areas of low rainfall associated with low temperature,
- Areas of moderate rainfall with moderate to high temperature and,
- Irrigated areas.

The area and percentage of bread and durum wheat grown in these production zones are presented in Table 1. There are 7.3 million hectares of bread wheat grown under less than 400 mm rainfall. Together with the 5.7 million hectares grown under 400-600 mm, this represents 77 percent of the total wheat grown under rainfed condition in WANA.

These rainfed environments are characterized by being highly variable and unpredictable in terms of moisture (amount and distribution), temperature and other biotic stresses. These production zones may be described as follows:

Areas of low rainfall associated with low temperature

Approximately 7.3 million hectares, or 43% of the total wheat grown in WANA, is planted in these environments. This production zone includes the continental areas of Morocco, Tunisia, Algeria, Iran, Iraq, Afghanistan, Turkey and Syria. It is characterized by being highly variable and unpredictable in terms of moisture availability and temperature regimes.

In these areas bread wheat is grown and harvested under significant temperature fluctuations. Typically, bread wheat is sown in the fall where early growth and development occur during the coolest months and grain ripening occurs during the warmest months. Extreme cold and heat are common abiotic stresses encountered during the crop season and frequently a complex interaction between them and moisture deficits develops. Biotic stresses such as common bunt, loose smut, Hessian fly, sawfly and sunni bug are also important constraints to wheat production. Crop management is frequently poor and yields are low (less than 1 t/ha).

Areas of moderate rainfall with moderate to high temperatures

Approximately 5.7 million hectares, representing 34% of the total bread wheat grown in the region is planted in this production zone. These areas are represented by the coastal-Mediterranean environments of the region as found in Morocco, Algeria, Tunisia, Turkey and Syria. Beside foliar diseases, other seed-borne diseases such as common bunt and loose smut, affect yield, and stability of yield. Insect pests such as Hessian fly, sawfly and aphids infest the crop, and with high temperatures, jointly affect wheat near the end of the season. In these areas, the lack of good agronomic practices such as weed control, seed density, seed treatment, fertilizer use and seeding time are the main management factors reducing yield. Grain yields are between 1 and 2 t/ha.

Irrigated areas

Irrigation covers 3.9 million hectares, or approximately 23% of the total wheat in the region. Countries possessing this type of environment include Egypt, Sudan, Yemen PDR, Yemen AR, Saudi Arabia, Pakistan, and a few other countries in the region. Foliar diseases, especially yellow rust and septoria are by far the most important biotic constraints in these areas. Insect pests such as aphids can reduce yields by up to 20 percent and there are no tolerant varieties yet available. Heat stress, both at the early stages of plant growth and at the reproductive stage, is the most important abiotic factor reducing grain yield. Although good, high yielding bread wheat varieties have been developed and released in these areas, improved agronomic practices have not been widely adopted. This serious problem can be solved only by a sustained effort by national governments within the region to improve wheat production practices and to breed high yielding, disease and insect-resistant varieties.

In order to more precisely characterize these environments, a multivariate analysis of environmental main effects from the Regional Bread Wheat Yield Trial (RWYT) 1983-84 and 1984-85 results was performed using the stepwise discriminant procedure of the BMDP statistical software package. The most commonly reported variables, also being plant response indicators for temperature, moisture, and agronomic factors, were chosen. They were: grain yield (kg/ha), days to heading, days to maturity, and plant height. Complete results from 53 sites were available, and were classified as semi-arid (less than 400 mm rainfall) or adequate moisture (more than 400 mm rainfall) prior to the analysis. From Table 2 it is evident that the semi-arid sites are characterized, on average, by longer maturity duration, shorter plant height, and possibly lower grain yield when compared to the adequate moisture sites. The approximate F-test statistic, using Wilk's Lambda criterion for a simultaneous multivariate test of the four variables was 27.74, and highly significant ($P=0.00$, 1 and 51 df). All differences for the variables were significant, except for yield with a nonsignificant difference of 563 kg/ha.

The discriminant analysis resulted in discriminant functions using only days to maturity and plant height. The other variables were excluded due to low F-ratio tolerance. A canonical variable was

then estimated, and its histogram for the semi-arid and adequate moisture sites appears in Figure 1. The canonical group means for semi-arid and adequate moisture sites were 0.806 and -1.228, respectively. From Figure 1, it is apparent that (1) a semi-arid vs. adequate moisture classification is statistically possible given the multivariate data from the RWYT test sites (2) adequate moisture sites are more similar, whereas semi-arid sites are more variable and dissimilar (3) some semi-arid sites behave more like adequate moisture sites. The greater standard deviation for days to maturity and plant height from the semi-arid sites (Table 2), and larger spread on the canonical axis (Figure 1), are both a reflection of the greater variability in temperature and moisture availability among the semi-arid vs. and adequate moisture sites. Variability in plant height is greatly affected by variability in rainfall and temperature, and variability in maturity duration is greatly affected by fluctuations in winter temperatures.

Breeding Methodology

Examples of different, yet successful, breeding programs can be found in the literature to support either one of the two following plant breeding philosophies: 1) those aiming to develop genotypes for relatively specific adaptation (1, 2, 3, 6, 7, 12) and 2) those aiming to develop genotypes with wide adaptation across different environments (8, 10, 11, 13).

The long-term objectives of the CIMMYT/ICARDA bread wheat improvement program continues to be the development of germplasm that has the following attributes:

- 1) Increased and stable yield under varied amount and distribution of rainfall.
- 2) Stress tolerance: drought, cold, heat, and salt.
- 3) Resistance to diseases: the three rusts, septoria, bunt, etc.
- 4) Resistance to insect pests: sawfly, Hessian fly, Suni bug, aphids, etc.
- 5) Acceptable nutritional and industrial grain quality.
- 6) The development of improved agronomic practices with national programs in the region.
- 7) Training.

High yield and yield stability over years in the rainfed environments, important characteristics needed in the region, are derived through application of the following strategies:

- 1) Continuous evaluation of potential parents.
- 2) Targeted crosses.
- 3) Multilocation selection and testing.
- 4) Targeted distribution of improved germplasm to national programs in the region.

These strategies are visualized in Figure 2 where the overall breeding system of the CIMMYT/ICARDA bread wheat improvement program is presented. The philosophy behind this approach reflects the program's interest in improving yield stability by developing cultivars that perform well across diverse environments. Of course, within this breeding context, the program emphasizes site-specific breeding activities. The orientation of these special efforts, however, is always towards overcoming one or more limiting environmental factors by incorporating into widely adapted germplasm the specific genetic traits needed to improve performance in certain locations, i.e. drought tolerance, disease resistance, insect pest tolerance, etc.

Continuous evaluation of potential parents

National crop improvement programs in the region, which grow and evaluate CIMMYT/ICARDA international nurseries, provide vital information on germplasm performance. Through this system, the CIMMYT/ICARDA program identifies promising material carrying desirable genes for specific stresses found in the rainfed areas of the region. Similarly, genetic material, is also received from national programs. This material received in the form of collections, includes local varieties and land races which carry desirable genes for resistance to different stresses. After evaluation, outstanding

lines are included in the crossing block for parental usage and recycling. Since 1980, an average of approximately 21% of incoming materials has been evaluated and used by this program. This germplasm provides additional genetic variability needed in the program to meet the demands of the harsh environments found in West Asia and North Africa.

Targeted crosses

Targeted F₁'s, simple and top crosses, are designed to recombine high yield and stability with important traits needed in the region. Evaluation of international screening nurseries, international yield trials and F₂ nurseries are made in approximately 75 locations in W. Asia and N. Africa. Data from these nurseries help guide future crosses. Every year, approximately 1000 crosses are made and special emphasis is placed in the incorporation of specific traits such as yellow rust, bunt and septoria resistance as well as tolerance to insect pests such as sawfly, Hessian fly and aphids. Particular attention is placed in the combination of drought and cold tolerance with high yield under rainfed conditions.

Multilocation selection and testing

Multilocation testing, the program's most important strategy for selection and identification of material tolerant to different stresses, is done at two different levels: 1) international multilocation testing, in which data from 50 to 75 locations in the region is obtained through the CIMMYT/ICARDA international nurseries system and 2) regional multilocation testing, consisting of five different environments in Syria and Lebanon. The latter constitutes the hub of the screening program in which segregating populations and advanced lines are selected and tested under different moisture, and temperature conditions.

These five environments, with the average range of moisture, temperature and grain yield, are presented in Figure 3. Breda and terbol represent the extremes in environmental conditions in terms of moisture availability and soil fertility, while the three simulated environments at Tel Hadya help to screen germplasm under different moisture and temperature regimes. Figure 4 represents these simulated environments at Tel Hadya. By shifting planting dates of segregating population and advanced lines, the germplasm is exposed to low or high temperatures during critical stages of plant development.

The combination of early planting supplementary irrigation and high fertility is done to induce better selection for frost tolerance, enhanced disease development and more efficient selection for earliness. The late planting environment under low rainfall conditions helps to identify germplasm with heat tolerance and earliness, tolerance to premature desiccation and better translocation of stem assimilates to grain.

By selecting and testing germplasm under these gradients of stresses we are assuming the following:

- a) The environment Tel Hadya normal planting rainfed (TH-NP-RF) alone is not correlated with all the diverse environments of West Asia and North Africa.
- b) The environments TH-EP-SIR and Breda-RF are more representative of the low rainfall, cool winter environments of the region.
- c) The environment TH-LP-RF and Terbol-IRR are more representative of the moderate rainfall and high to moderate temperature areas in the region.

Preliminary research, using multivariate cluster analysis and other procedures used to characterize the environments in W. Asia and N. Africa, tend to indicate the validity of these assumptions. Further research and analysis is under way to establish the genetic, and other correlations between these environments. Such results will also be utilized to more objectively divide the target region into groups of relatively similar environments and subsequently develop more specific nurseries.

However, the value of selecting in contrasting environments, when the targeted environments are so diverse in terms of rainfall and temperature, can be seen in Table 3. Using four years of Regional Wheat Yield Trial data, the bread wheat germplasm has been well adapted to the target region.

Use of modified bulk in addition to pedigree--The Program places special emphasis on multilocation testing of early segregating material. This is done by using a Modified Bulk method (MB) of selection in the F₂ generation. It consists of performing individual plant selection in each of the most desirable F₂ crosses and bulking the selected plants within each cross. The F₃ Bulk families, formed using this procedure, are evaluated for disease resistance and overall agronomic performance in five "hot spot" locations in the region and beyond. These environments represent different soil conditions, diseases, as well as moisture and temperature stresses. The assumption in this breeding approach is that if a population performs well at many sites, it must comprise a higher frequency of desirable genotypes. The idea is to discard, early in the segregating phase, undesirable families/plants. F₃ families, performing well across locations are selected in Bulk. Segregating populations F₄ to F₈ are handled using the Bulk and Pedigree methods.

This strategy of using a Modified Bulk method of selection in F₂ crosses has been used by the program for the last six years. Results of the comparison of this method with the pedigree method of selection indicate that the Modified Bulk is an efficient and effective selection method to enhance disease resistance and stability in rainfed wheat (9). This method of selection has also been adopted by national programs in the region such as Morocco, Egypt, Sudan, Tunisia, and Syria.

Targeted distribution of improved germplasm to national programs in the region

Table 4 summarizes the breeding methodology used to select and identify genetic material suitable to the variable environments of W. Asia and N. Africa. Promising advanced lines identified using this procedure are further distributed to national programs in the region through the CIMMYT/ICARDA international nursery system. The distribution of these nurseries is carefully planned and targeted to those areas for which the final product is intended.

Figure 5 shows the trend in stability of bread wheat germplasm in 21 countries in W. Asia and N. Africa. The locations in which this germplasm was grown represent a wide range of environments in terms of moisture, temperature and other biotic stresses. From nine years of Regional Wheat Yield Trial data, the number of lines selected by national programs, based on the grain yield statistical superiority of the line over the national check, has increased. It is interesting to note that the number of locations over years has remained almost constant and that the yield gap between the best improved line and the national check has widened to approximately 1 t/ha during the last four years.

Conclusions

Bread wheat is an important crop in West Asia and North Africa where approximately 7 to 8 million hectares are grown under less than 400 mm rainfall.

The rainfed-wheat growing environments of WANA are characterized by being highly variable and unpredictable in terms of rainfall (amount and distribution), temperature, and biotic stresses.

The current breeding strategy of the CIMMYT/ICARDA bread wheat improvement program is based on the principle that germplasm for specific stresses is difficult to identify unless the material under selection is exposed to those stresses.

Multilocation selection/testing and targeting of germplasm have been valuable breeding strategies to increase the adaptation and stability of bread wheat germplasm in WANA region.

The joint CIMMYT/ICARDA program at Aleppo, Syria plays an important role in *complementing* (not in duplicating) the efforts of both centers in identifying bread wheat germplasm for the harsh environments of West Asia and North Africa.

References

1. Bingham, J., 1979. Wheat Breeding Objectives and Prospects, Agricultural Progress, pp. 1-17.
2. Bingham, J., 1983. Trends in Wheat Breeding, In: Proceedings of the Australian Plant Breeding Conference, Adelaide, February 14-18, pp. 1-15.
3. Borojevic, S., and Potocanac, J., 1966. The Development of the Yugoslav Programme for Creating High Yielding Wheat Varieties, Contemporary Agriculture 11-12:7-36.
4. Comstock, R.E. and Moll R. J., 1963. Genotype - Environment Interactions. Statistical Genetics and Plant Breeding. NAS-NRC 982, pp. 164-195.
5. ICARDA—A Partner in Cereal Improvement. Aleppo, Syria, 1985. pp. 1-74.
6. Johnson, V. A., and Schmidt, J.W. 1979. Role of Classical Breeding Procedures in Improvement of Self-Pollinated Crops, presented to: The World Soybean Research Conference, II, Raleigh, North Carolina.
7. Kronstad, W.E. 1983. Wheat Breeding: A Never-Ending Battle, IN: "Proceedings: Oregon State University Agricultural Conference Days, pp. 46-54.
8. Lehner, D.E., Ortiz Ferrara, G. 1978. Improvement of Durum Wheat Plant Type, Yield Potential, and Stability. Euphytica 27, pp. 785-799.
9. Ortiz Ferrara, G. and Deghais, M. 1988. Modified Bulk: A selection method for enhancing disease resistance and adaptation in rainfed wheat. Proceedings 7th Intl. wheat genetic symposium. Cambridge England. July 12-19, 1988.
10. Pfeiffer, W. 1983. "Ertrag Leistung und Ertragsstabilita von Commerweizen Auf Regionaler und Globaler Ebene--Analyse Einer Serie Von Internationalen Sortenversuchen Veber 15 Jahre und 973 Umwelten: Ph.D. Thesis, Stuttgart-Hohenheim.
11. Rajaram, S., Skovmand, B., and Curtis, B.C. 1984. Philosophy and Methodology of An International Wheat Breeding Program IN: Gene Manipulation in Plant Improvement, Edited by J. P. Gustafson Plenum Publishing Corporation, 1984, pp. 33-60.
12. Rao, M.V., 1980. A Coordinated Approach to Crop Improvement: India's Experience with Wheat, In: Proceedings of the International Wheat Conference, Madrid, Spain, pp. 68-82.
13. Worrall, W.D., Scott, N.H., Klatt, A.R., and Rajaram, S. 1980. Performance of CIMMYT Wheat Germplasm in Optimum and Sub Optimum Production Environments, In: Proceedings of the International Wheat Conference, Madrid, Spain, pp. 5-29.

Mejoramiento de Trigo Harinero para las Zonas Áridas del Oeste de Asia y el Norte de África

Resumen

La metodología fitotécnica de un programa de mejoramiento debe reflejar las realidades de los ambientes para los que trabaja. Los ambientes en los países del oeste de Asia y el norte de África se caracterizan por ser muy variables e impredecibles en cuanto a la disponibilidad de agua, la temperatura, la fertilidad y el pH del suelo, las enfermedades e insectos, y los factores que afectan el manejo agronómico. En estos países, cerca del 77% del trigo harinero se cultiva en zonas de secano, y se estima que alrededor del 43% de esa superficie recibe menos de 400 mm de precipitación pluvial al año. El trigo se cultiva en lugares donde las temperaturas fluctúan mucho, pero como suele sembrarse en el otoño, las primeras etapas de desarrollo y crecimiento ocurren durante los meses más frescos, y el grano madura durante los meses más cálidos. Las temperaturas extremas, tanto frías como calientes, son factores adversos abióticos comunes durante la temporada de cultivo y a menudo se da una interacción compleja entre éstas y los déficits hídricos. También son importantes en la región otros limitantes bióticos como las enfermedades y los insectos.

Es posible encontrar en la literatura ejemplos de programas de mejoramiento diferentes pero igualmente eficaces que se apegan a una de las dos filosofías siguientes: 1) los que tienen por objetivo el desarrollo de genotipos con una adaptación relativamente específica y 2) los que tratan de crear genotipos con una adaptación amplia a muchos ambientes distintos. En este trabajo se describe la metodología fitotécnica que se sigue en el programa conjunto CIMMYT/ICARDA de mejoramiento de trigo harinero para las zonas áridas del oeste de Asia y el norte de África.

Table 1. Area (millions of hectares) and percentage of bread wheat and durum wheat in different agroecological zones in the WANA region, 1981.

	Irrigated	Well Watered (400-600 mm)	Semi arid	Total
Bread wheat				
Area	3.9	5.7	7.3	16.9
%	23	34	43	100
Durum Wheat				
Area	0.5	3.9	4.7	9.1
%	5	43	52	100

Source: Byerlee and Winkelmann (1981), World Wheat Facts and Trends.

Table 2. Summary statistics for rainfed and adequate moisture sites in North Africa and West Asia for four plant response variables^a.

Variable	Semi-Arid Rainfed Sites			Adequate Moisture Sites			All Sites		
	Mean	Std.	Dev	Mean	Std.	Dev	Mean	Std.	Dev
Grain yield (kg/ha)	3693	2108		4256	1655		3916		1944
Days to heading	127**	32	89	16	112	27			
Days to maturity	168**	28	133	18		154		25	
Plant height (cm)	83**	18		96	13		89		16
Sample size	32		21	53					

^a Based on trial means from RWYT 1983-1984 and 1984-1985.

** Significant difference between rainfed and adequate moisture sites ($P < .01$).

Table 3. Adaptation of bread wheat germplasm in selected countries/locations of West Asia and North Africa. RWYT 1985-1988.

Country/Location	Environment Moisture	No. of Temp.	Lines ^a	L/Y ^b
Tunisia (Beja)	M-H	M	21	5.25
Lebanon (Tel Amara)	M-H	M-H	39	9.75
Jordan (Hawarah)	H	H	39	9.75
Morocco (Merchouche)	M	M	15	3.75
Turkey (Diyarbakir)	L-M	L-M	29	7.25
Syria (Breda)	L	L	16	4.00
Algeria (S.B.Abbes)	L	L	24	6.00
Afghanistan (Jalalabad)	L	L	23	5.75
Iraq (Telafer)	L	L	23	5.75
Tunisia (El Kef)	L	L	12	3.00

a Higher yielding than the national check by at least 10 percent. M=Moderate; H=High; L=Low.

b L/Y=Number of lines per year (1985-1988).

Table 4. Descriptive breeding methodology for the rainfed areas of West Asia and North Africa.

Trait	Low Rainfall Cool Temp. Diseases	Moderate Rainfall Moderate to High Temp Diseases
Environments	Breda-RF TH - NP - RF TH - EP - SIR	Terbol TH - LP - SIR TH - NP - RF
Segregating Populations	F2 - F8	F2 - F8
Yield Trials	Preliminary Advanced	Preliminary Advanced
International Nurseries	WON - LRT RWYT - LRT KLDN	WON-MRT RWYT - MRT KLDN

NP = Normal Planting

EP = Early Planting

LP = Late Planting

RF = Rainfed

SIR = Supplementary irrigation

TH = Tel Hadya

WON-LRT = Wheat Observation Nursery for Low Rainfall/Temperature

WON-MRT = Wheat Observation Nursery for Moderate Rainfall/Temperature

RWYT-LRT = Regional Wheat Yield Trial for Low Rainfall/Temperature

RWYT-MRT = Regional Wheat Yield Trial for Moderate Rainfall/Temperature

KLDN = Key Location Disease Nursery

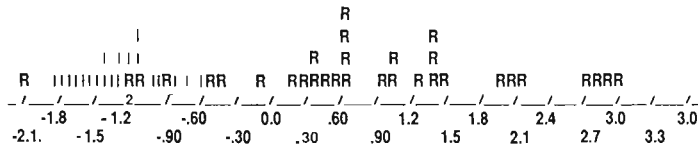


Figure 1. Histogram of a canonical variable, using days to maturity and plant height, for 53 well watered (I) and rainfed (R) sites in North Africa and West Asia.

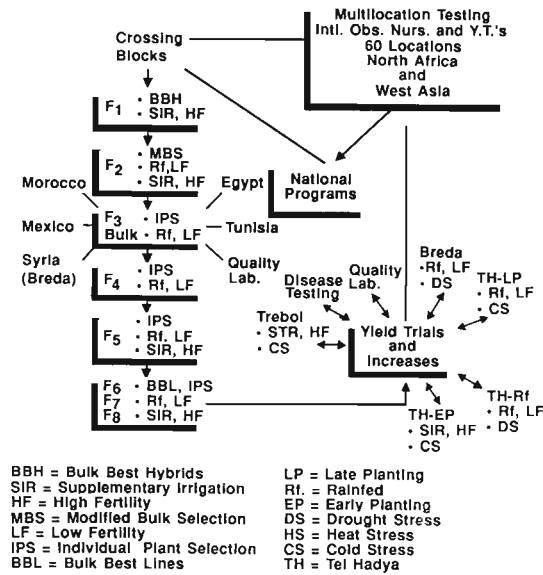


Figure 2. The Breeding Strategy of the collaborative bread wheat program.

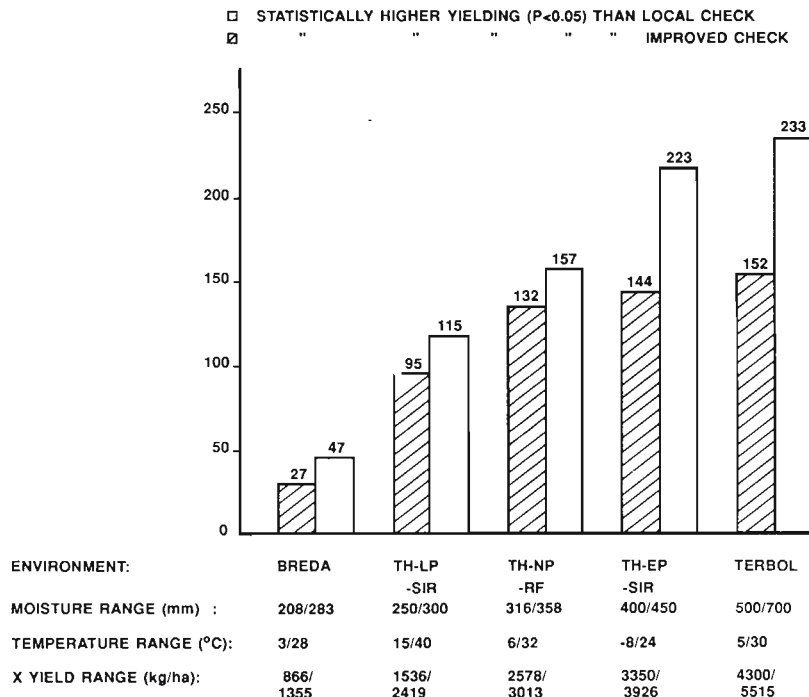


FIGURE 3. NUMBER OF LINES SELECTED UNDER FIVE CONTRASTING ENVIRONMENTS. ADVANCED YIELD TRIALS 1984-85 TO 1986-87

Figure 4. Weather conditions for the wheat crop season.
Tel Hadya, Syria, 1980 to 1985.

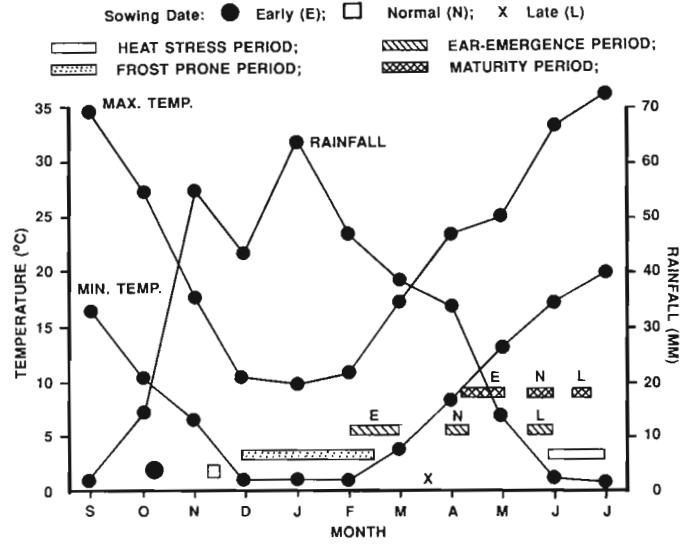
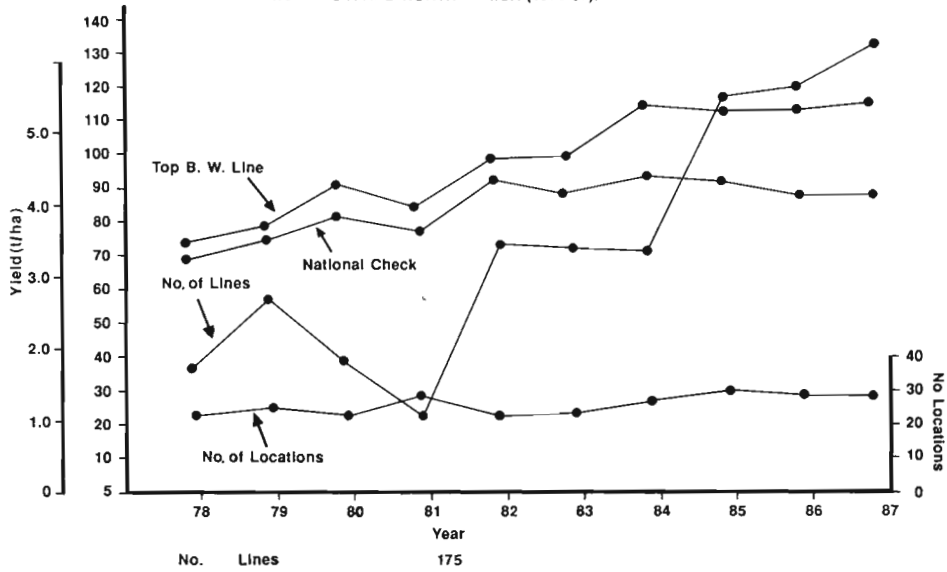


Figure 5. NUMBER OF BREAD WHEAT LINES SIGNIFICANTLY (P<0.05) OUTYIELDING THE NATIONAL CHECKS IN 21 COUNTRIES OF WEST ASIA AND NORTH AFRICA (1978-87).



IMPROVEMENT OF WINTER CEREAL CROPS IN MEDITERRANEAN ENVIRONMENTS: USE OF YIELD, MORPHOLOGICAL, AND PHYSIOLOGICAL TRAITS

E. Acevedo

International Center for Agricultural Research
in the Dry Areas (ICARDA),
P.O. Box 5466,
Aleppo, Syria

This paper was originally presented at the International Symposium on Physiology/Breeding of Winter Cereals for Stressed Mediterranean Environments, Montpellier, France, 3-6 July, 1989

Abstract

This paper describes some of the complexities facing scientists who are committed to the improvement of winter cereals for stress-prone (mainly drought) Mediterranean environments. Two major types of drought are described: a) when a crop grows on current rainfall and b) when it grows essentially on stored soil moisture. These two major cases require different approaches in crop improvement. It is emphasized that the stress environments are characterized by the occurrence of more than one physical stress at the same time or through the crop growing cycle. Methodologies have evolved in breeding and agronomy to cope with the interaction between stresses. This is not the case in physiological work.

Traits of barley landraces, evolved in the stress environments of the Fertile Crescent, are presented and postulated as contributors to stress resistance, while the effect of yield potential is recognized as an important factor of yield under stress of improved wheat genotypes.

It is argued that the quantification of stress resistance continues to be a major problem in improvement for stress environments. The most usable stress resistance indexes are based on yield and, consequently, they are highly affected by stress index x environment interaction. A useful indicator of stress resistance should be as independent of yield as possible. Otherwise, the indicator is as complex as yield itself. It is proposed that C-13 discrimination be explored for such a role.

The need for including stress environments in the selection scheme is emphasized and data supporting this view is provided. It is argued that only the identification of constitutive stress resistance characters may eventually allow selections for stress resistance in environments that have a high discrimination for yield (i.e., higher input environments). A method is presented by which morphological and physiological traits of stress resistance are postulated, assessed, and verified.

Introduction

Water stress may be conveniently defined as the soil water level at which crop evapotranspiration falls below its maximum value. Two major processes are involved, water supply and demand. The first is essentially controlled by soil physical properties and soil root interactions while

the second is mainly a function of net radiation at the crop surface and vapor pressure deficit of the atmosphere surrounding the crop.

Water deficit is a common phenomenon in plants and crops. It is accentuated when drought or lack of sufficient water in the rizosphere occurs and when the evaporative demand of the atmosphere is high. Drought may occur in any type of agriculture, including irrigated and rainfed and may have special characteristics associated to the prevalent farming system and environment.

The occurrence of drought induced plant water stress in irrigated agriculture can be controlled through proper irrigation schemes and farm irrigation practices. It is common, however, that water distribution systems may not cope with water needs during peak periods of demand imposed by the cropping systems. The result is water shortage at the farm level and hence drought.

A more difficult drought problem occurs in rainfed agriculture. This is due to the largely unpredictable nature of weather, particularly rainfall, within most climatic environments. Figure 1 summarizes rainfall patterns during four seasons in Northern Syria.

Crop evapotranspiration and more precisely crop transpiration are linearly and positively related to yield in C3 and C4 plants. Water stress inevitably decreases yield. This fact of nature has prompted agronomists, breeders, physiologist and physical scientists to study the nature of drought, the effects of water stress on plant growth, development and yield, management practices that would alleviate drought and the search for "drought resistant" genotypes. The common aim is to minimize the effects of drought on yield in cropping systems, and at the extreme, avoid crop failures.

Three major points need to be emphasized: a) drought is a complex problem, b) several disciplines are dealing with it, and c) the problem should be looked at with a system perspective. Improving the drought resistance of genotypes is one way to contribute to alleviate drought effects, i.e. yield losses due to sub-optimal water supply.

The Nature of Drought in Rainfed Agriculture

It is important to distinguish the nature of drought in rainfed agriculture because it bears directly on the strategy adopted to cope with it. Two broad situations can be recognized (Richards, 1982): a) when a crop grows under current rainfall, i.e. the soil profile undergoes recharge and discharge of water during the growing season; and b) when the crop grows essentially on soil moisture stored prior to sowing. The first case is typical, but not exclusive, of autumn sown cereals in Mediterranean environments. The second case is common to cereals grown after the major rainfall period in monsoon areas or in areas with summer rainfall. In both cases year to year variability of rainfall is high and so is the risk of drought. In general the risk increases as seasonal rainfall decreases (Dennett et al. 1984; Virmani, 1982; Watts and El Mourid, 1988). The critical differences between these two extreme cases is that in case a, rainfall use efficiency has to be maximized at a moment in which rainfall is occurring, while in case b, a strategy should be adopted that would allow finishing the crop cycle with an already existing and relatively fixed (and known) amount of water in the soil profile.

The Stressful Environments

The stressful environments are often characterized by the occurrence of more than one physical stress at the same time or through the growing cycle. This complicates improvement either by breeding or crop management. In Mediterranean environments drought spells during winter may be associated to low temperatures (many times freezing temperatures) and sub-optimal radiation levels, while terminal drought is generally associated to above optimal temperatures and excess radiation (depending on latitude). Where irrigation is practiced drought and salinity are stresses commonly associated. The soil may impose additional constraints, such as high or low pH, inducing

phosphorus and micronutrient deficiencies or toxicities (e.g. manganese and aluminum toxicity at low pH).

Breeders are familiar with this simultaneous occurrence of stresses and have developed methods to test genotypes across sites and years, exposing the breeding material to various stresses. Agronomists recognize that management practices have a high degree of specificity according to locations. This integrative view, however, breaks down when the effects of stresses are considered at the physiological or biochemical level.

It is tempting while working at different levels of integration in plant hierarchy to extrapolate to higher or lower levels. The number of interactions involved, however, have shown that these extrapolations and inferences may not produce expected practical results for breeding purposes (Passioura, 1981). This is an important aspect to keep in mind when examining ways for improving yield under drought, particularly when plant and crop physiology are called to play a part in the improvement process.

Drought Resistance

Plant growth and yield under drought have been the subject of numerous research efforts. Morphological, physiological and anatomical characteristics have been identified which enable plants to grow and survive in droughty environments (Srivastava, Porceddu, Acevedo and Varma, 1987; Turner and Kramer, 1980; Schultze, 1988; Ludlow and Muchow, 1988; Taylor, Jordan and Sinclair, 1983). Usually a complex of attributes are present in cereal species that grow and yield under severe drought. Table 1 from Acevedo and Ceccarelli (1989) illustrate this point for 2-row barley landraces evolved in the Fertile Crescent of South West Asia. It is most probable, a combination of the attributes in Table 1 what confers adaptation to stress environments and better drought resistance to the 2-row landraces as compared to the improved 2-row genotypes.

In low rainfall Mediterranean environments the crops grow essentially under current rainfall. With appropriate management the best yielding entries attain yields under stress, as expected, much lower than in higher input, less stressed environments. They usually show high crop ground cover during late autumn and winter, when water availability and crop water use efficiency is at a maximum (Cooper et al. 1987; Acevedo and Ceccarelli, 1989; Acevedo et al. 1989). Early flowering and fast grain filling period increase yield significantly. The attributes of Table 1 also increase the stability of production (decrease of crop failure in time). Other traits not included in Table 1 may be of importance to cope with intermittent drought or to temporarily alleviate its effects. These may include osmoregulation (Morgan, Hare and Fletcher, 1986; Blum, 1989), accumulation of proline and glycine-betaine (Grummet, Albretchen and Hanson, 1987), glaucousness (Richards, 1983) and others.

The traits conferring adaptation to dry environments are under genetic control but other than growing cycle they appear, individually, to have relatively small effects in improving productivity, drought resistance and yield (Fischer and Wood, 1979, Acevedo et al, 1989). It appears that no singular drought-adaptive trait is predictive of plant response to stress and that multiple physiological selection criteria are required (Blum, 1979; Nass and Sterling, 1981, Acevedo and Ceccarelli, 1989).

Drought resistance is usually equated to yield under stress. There are, however, physiological mechanisms and agronomical practices that may result in a higher yield or stability of yield under stress without being necessarily associated to a true resistance to water stress of a genotype. Tables 2 and 3 show the effect of row spacing and planting date on the number of fertile spikes and yield across three varieties of durum wheat of almost identical phenology grown in dry environments. It is clear that these simple management practices may have an important effect on durum wheat yield

grown under severe stress. Fertilizer use, particularly phosphorous may also be extremely important (Cooper et al, 1987).

Yield under stress is dependent, among other factors, on yield without stress (yield potential) and phenology of a genotype (Table 4). A genotype with a high yield potential will decrease its yield if submitted to water stress but it may still yield more than a genotype with a lower yield potential (e.g. Osmanzai et al. 1987), Figure 2. Semidwarf wheat genotypes produce more grain due to increased earliness (photoperiod insensitivity and low vernalization requirement) and higher harvest index when compared to tall wheats (Laing and Fischer, 1977). This may not necessarily imply that semidwarfs tolerate intensive (yields below ca. 1t/ha) water stress better (Richards, 1982). Conversely, a genotype with a relatively long growing cycle may have drought tolerance traits but yield very poorly in a stressed short season environment.

Yield potential and phenology are major contributors to yield under stress. Levitt (1972) distinguished between drought escape, dehydration avoidance and dehydration tolerance as included in the concept of drought resistance. Only the last two qualify in my view as true resistance physiological mechanisms. It is obvious that the best way of avoiding the effects of stress is to prevent the stress itself (escape).

Quantification of Drought Resistance

From the previous paragraphs it is clear that yield under stress may not be the best definition of drought resistance for the purpose of improving genotypic stress resistance. The contribution made by phenology and yield potential need to be accounted for (Fischer and Wood, 1979; Bidingger et al. 1987a, 1987b; Acevedo and Ceccarelli, 1989). Phenology implies sensitivity to temperature, vernalization and photoperiod.

Ideally, since water stress is a phenomenon experienced by the plants at various stages of growth, a plant index of stress should be used. The plant water relations literature is abundant in this topic (e.g. Turner and Kramer, 1980; Taylor, Jordan and Sinclair, 1983). Indices considering the fraction of maximum evapotranspiration which is realized, or plant water parameters such as leaf water potential, or relative water content, together with drought susceptibility at various stages of the growth cycle have been proposed. The accumulation of intermediary metabolites such as proline, glycine-betaine and most recently malonyl-aminocyclopropane carboxylic acid (MACC), as well as indices derived from them (e.g. Pearson et al. 1987) have been studied with the aim of tracing or quantifying water stress. It is unfortunate that none of the indices fulfills the basic requirement of being "integrative" through the growing cycle. They can be integrated if continuous measurements are done but this is usually impractical and many times impossible.

The most integrative parameter of plant stresses, (they usually occur in combination in a growing cycle) is biomass production. Roots are difficult to measure, therefore assessments of biomass production are generally limited to above ground biomass, and in the case of wheat mostly to grain production. It would seem therefore practical to agronomically define stress resistance (avoidance plus tolerance) in terms of grain yield, after accounting for the effects of yield potential and phenology. A convenient term as indicator of phenology is the number of days from emergence to fifty percent heading (spikes fully emerged from the boot). In a linear regression model, stress resistance would be equivalent to residual yield under stress after accounting for experimental error (Bidingger et al. 1987 a, 1987b). The value may be positive or negative and indicates the relative performance of a genotype with respect to the nursery under evaluation after the yield potential and days to heading effects (known to affect yield under stress) have been removed. This definition of stress resistance would have the advantage of being free of two major contributors to the genotype X environment interaction on yield, and at the same time is integrative (through the growing cycle) of various environmental stresses. If drought is the prevalent stress under consideration, the index may be considered to be a drought response index. Morphological and physiological parameters

could be assessed by the strength of the correlation with the index. Other yield derived indexes have been proposed and widely used, such as the drought susceptibility index (S) of Fischer and Maureer (1978) and the intercept of the joint regression analysis of genotype yield on site mean yield (e.g. Finlay and Wilkinson, 1963; Blum 1983, 1988). It would be expected, however, that the yield derived stress indexes may have similar drawbacks than yield for quantifying drought resistance in stressful environments, i.e. a relatively high genotype X environment interaction.

In the joint regression analysis part of the G x E is taken care by the linear component, but the intercept is highly dependent on yield potential (Fig. 3). Furthermore, highly phenologically unadapted genotypes may present a low regression slope and a high intercept without necessarily implying a high level of stress resistance.

The drought response index does present a high G x E as shown in Table 5, in spite of the fact that the index is free of the effects of yield potential and phenology as indicated by days to flowering at the wetter site (highly correlated with days to flowering at the drier sites, $r = 0.7$ to 0.9 , $P < 0.01$). A similar problem (data not shown) is presented by S calculated after adjustment of variety yield for days to flowering (Fischer and Wood, 1979). The drought susceptibility index by the way it is defined accounts for yield potential (see below).

A quantification of stress resistance independent of yield is badly needed at present. Such quantification should allow the assessment of morphological and physiological traits free of the yield potential of the genotypes, their phenology and it should have a low interaction with the environment. A promising, independent indicator of yield in dry environments has emerged in the last few years. In wheat yield trials it has been reported that C-13 discrimination (C-13 D) was positively correlated with grain yield (Condon, Richards and Farquhar, 1987). The correlation between barley grain yield and C-13 D has also been found to be strong and positive ($r = 0.84$ $P < 0.01$) in dry Mediterranean environments (Craufurd, Austin and Acevedo, unpublished data). The carbon-13 discrimination is linearly related to the ratio of intercellular carbon dioxide in the assimilating organs of the plant to that in the surrounding atmosphere (P_i/P_a). This ratio is determined by the balance of stomatal conductance and assimilatory capacity and hence measures gas exchange (Farquhar et al 1982).

The C-13 D would be a better indicator of stress resistance than yield, the trial sampling errors associated with its estimation have been found to be lower than those for the measurement of yield, the parameter measures the response of the plant averaged over its life cycle, its measurement is non-destructive, a large number of plants can be tested and it appears to have a low G x E interaction in stressed environments. A drawback at present is that the analysis is expensive. Furthermore, much more research is needed before it is fully established as an independent stress indicator, particularly since conflicting results about its relations to wheat yield under stress have been reported (Turner, 1989) contrasting with recently obtained highly encouraging results with beans (Ehleringer, 1989). It is clear that research efforts to understand better the physiological significance of this index are warranted. In the interim yield and yield-derived indexes for the quantification of stress resistance have to be used, but cautiously, in the assessment of morphophysiological traits in a breeding program.

If yield or yield derived indexes are utilized in the quantification of stress resistance the results obtained are relative to the nursery under study. This relative nature of the results is explicit in the drought susceptibility index of Fischer and Maureer. In this index the relative yield of a genotype is compared to the relative yield of the nursery. The drought susceptibility index is defined by the following equation:

$$Y_D = Y_P (1 - SD) \quad (1)$$

where Y_D is the yield under stress of a genotype, Y_P is the yield of the genotype without stress, S is the stress susceptibility index and D is a stress intensity factor defined as:

$$D = 1 - (Y_D/Y_P) \quad (2)$$

where Y_D is the average yield under stress of all the genotypes considered and Y_P is the average yield of the genotypes without stress.

Replacement of equation 2 in 1 provides an explicit definition of S ,

$$S = \frac{1 - Y_D/Y_P}{1 - Y_D/Y_P} \quad (3)$$

For valid comparisons across genotypes and/or sites the yields have to be adjusted to a common flowering date by covariance (Fischer and Wood, 1979). If in a range of stress environments the average yield potential for the nursery is fixed, the denominator of equation 3 (D) is an environmental index with a value of zero for the potential yield environment and a value of 1.0 for an environment where all the genotypes of the nursery fail to yield. The numerator will vary according to the genotype, reaching a value of zero at the potential yield environment of the particular genotype. Provided that D is not equal to zero, i.e. the environment is below the potential for at least one genotype of the nursery, a zero value of S will show the environment at yield potential of a particular genotype when S is plotted against $1/D$.

In such a plot a negative slope across environments indicates that the numerator of equation 3 decreases faster than the denominator with improvement of the environment, i.e. the genotype approaches the environment for yield potential faster than the average of the nursery because its yield potential is below the average yield potential of the nursery. If the yield potential of a genotype is above the yield potential of the nursery, S has to increase with the amelioration of the environment, the slope of S vs. $1/D$ being in this case positive. A genotype with Y_D/Y_P equal to the average of the nursery across environments will have S equal to one for all values of $1/D$ (Figure 4)

The regression of S on $1/D$ would remove the linear component of $S \times$ environment interaction, would provide an indication of the potential environment for a genotype, its yield potential and stress susceptibility at a given stress intensity (D). The sole regression of the numerator of equation 3 on the denominator (D) would provide a value of S free of the linear component of $S \times$ environment interaction. Similarly a regression of DRI on D should have similar effects on DRI for a genotype. Table 6 shows the intercepts of $(1 - Y_D/Y_P)$ and DRI 's on D for a bread wheat nursery. The intercepts of these two variables are not significantly correlated but a strong correlation ($P < 0.01$) between S and the joint linear regression intercept is observed for the bread wheat data used in the calculations.

Site for Selection

Selection for stress resistance, using yield or a yield derived index as stress indicator, implies an increased vertical stability of yield of a genotype, i.e. a decreased rate at which the genotype decreases yield per unit increase in stress intensity. The variability of stresses across years within location is such that their incidence may be considered random and therefore each year for a given site is an environment (Blum, 1988). The assessment of vertical stability comprises a range of environments with a mean of increasing (or decreasing) yield as a result of the major stress(es) under consideration. Test environments within gradients of stresses are required. The gradient should

consideration. Test environments within gradients of stresses are required. The gradient should cover the expected variation in stress occurrence and intensity for the target area of the breeding program.

From physiological considerations it is expected that stress resistance traits would have a better expression under the incidence of a high intensity of the stresses, therefore sites of this nature should be included in the testing scheme even at the risk of crop failures. Since yield potential is necessary for quantifying stress resistance, as it plays a role in yield under stress (Table 4), ideally the nursery under study should be replicated under irrigation at the drier sites. If this is not possible the yield at the wettest site of the range, located within an acceptable range of photo-thermal plant responses, could be used as the yield potential site.

The most important consideration for choosing the site(s) for selections is the relevance that they have with respect to the environment where the varieties are intended to be grown. Figure 5 shows a cross over of wheat genotypes in the relation of cultivar yield vs. site mean yield, therefore if the sites for selection fall outside of the expected mean yields of the area, the selections may be irrelevant for that area. The basic assumption that the yield of a variety is linearly related to the stress intensity of the environment seems to hold when drought is the major source of variation in environmental stress (Fig. 5,6).

If a variety yields better than the population mean in the range of environments tested it is said to have horizontal stability or wide adaptation. Yield potential and stress resistance may be combined in such varieties. The question often arises as to how wide is the horizontal stability of a variety across environments. If the range of environments is extended, say to cover all possible environments one may question the existence of a variety with such horizontal stability. Many times a trade-off between yield potential and vertical stability has been postulated as shown in Fig. 5. This has been demonstrated by Ceccarelli and Grando (1989) for barley. They observed a decrease in yield potential across cycles of selection of barley at a dry site associated to an increased yield under stress and vice-versa when selections were done under favorable conditions. This trade-off would have the effect of limiting the range of environments in which the horizontal stability associated to superior yield could be found. Ceccarelli (1989) made a thorough analysis of wide adaptability showing contrasting behavior of genotypes under stress environments and the need to include stress testing sites in the improvement for stress resistance. Furthermore, the efficiency of empirical selection (selection for grain yield) for stress environment done under stress was 6.9% higher for conventional germplasm and 32.4% higher with locally adapted germplasm when compared to selections done under favorable environments (Ceccarelli and Grando, 1989).

The breeder is interested in the discriminating power of the environment(s) where he does the selections. Brown et al (1983) proposed a genotypic index regression method to identify sites that are consistently able to discriminate genotypes. The method basically consists in the reverse of the joint regression analysis, such that the variety performance within sites (Y axis) is regressed on variety mean performance across sites (X axis). In such analysis an environment that discriminates well among varieties will have a high regression slope. An environment that consistently predicts the performance of the varieties at other sites will have a high coefficient of determination (r^2). According to the authors an optimum selection environment should have high values for both statistics. Table 7 show these parameters calculated for the bread wheat nursery of 20 varieties for eight environments, utilizing grain yield as a measure of variety performance. The varieties are discriminated best in the higher rainfall environments. Tel Hadya, on the average, the highest input, less stressed environment has a higher r^2 and hence would predict the performance of the varieties at other sites better. Breda and particularly Bouider, the lowest input environments discriminate poorly among the genotypes as far as grain yield is concerned and do not have a predictive capacity of the performance of the varieties at other sites (low r^2). In other words, selecting at Breda and Bouider would imply selecting for specific adaptation to stressed environments.

Ceccarelli et al. (1987) examined breeding strategies for improving cereal yield and stability under drought. The analysis included barley, durum wheat and bread wheat across environments ranging from 178 to 380 mm of seasonal rainfall for barley and 227 to 600 mm for wheat in Northern Syria. A high and negative correlation coefficient was found between the drought susceptibility index and grain yield at the driest sites for the three crops, whereas at the wettest sites the correlation coefficient were lower and some times positive. This was interpreted as an indication that segregating populations and lines with the largest grain yield under favorable conditions are more drought susceptible than those with the largest grain yield under drought, perhaps due to the existence of certain traits which are desirable under drought but undesirable under favorable conditions. What was clear was that selections under non stress conditions would not provide material adapted to stress environments. From the results of table 7 it appears that when a breeder is selecting based on grain yield for stress environments, he has to pay a price in terms of discriminating power of the environment, furthermore, selection only in stress environments would result in varieties with narrow adaptation. One possible way to alter this general pattern would be to identify stress resistance traits and conduct selections for yield plus those traits. If the traits are constitutive (always present), selections could be made in environments with high discriminating power for yield. If the traits are largely adaptive (present only under stress conditions) selection under stress would be mandatory. The work by Ceccarelli (1989) and Ceccarelli and Grando (1989) mentioned above has shown beyond doubt that stress environments are required when breeding for stress. The open question is the extent to which a price in terms of narrow adaptation is being paid. But Ceccarelli et al (1987) also presented data indicating that genotypes selected at stressed sites would respond to better environments, particularly in durum wheat. The reverse however was not supported by the data, i.e. it did not appear possible to produce a stress resistant genotype selecting in high input environments only.

Identification and Assessment of Stress Resistance Traits

A clear understanding of the growth pattern of the crop and stress incidence in the target area is essential to postulate sensible traits for stress resistance. This is so because stress resistance includes tolerance and avoidance mechanisms. Traits associated to stress avoidance would appear to be easier to identify. The definition of the physiological fitness of a genotype and traits associated with it is the obvious first step to be taken. As an example, growth should be maximized at times when evapotranspiration demand is at a minimum in Mediterranean type of environments. This may imply selecting for high winter ground cover, growth at low temperature and selecting for winter frost resistance. By so doing the radiation interception by the crop may be increased at critical times when radiation is lowest and consequently photosynthesis per unit ground area may be increased. Direct water evaporation from the soil surface may decrease, improving soil water infiltration or recharge and evapotranspiration efficiency. Table 8 from Acevedo and Ceccarelli, 1989 illustrate this point by comparing the winter ground covers of wheat and barley and their effect on increasing the ratio of transpiration over evapotranspiration.

A conceptual model of crop functioning, as the one developed by Fischer (1979, 1981) for wheat grown in Mediterranean environments is useful for postulating traits or developing agronomic practices which are relevant to the physiology of the crop. Other than relevant the postulated traits should comply with breeders' requirements. They should be stable in time and amenable to screening in a simple, fast and reliable way. They should not be too far from yield in the hierarchy of plant organization (Passioura, 1986) such that they can be related to yield and to stress resistance. The traits leading to improved yield and stability of yield under stress should aid in selection for stress environments. In essence the idea is to have a selection procedure based on yield but assisted by morphological and physiological criteria.

When drought is the major stress under consideration it may be useful to describe yield in terms of an identity that considers water as a central parameter (Passioura 1977). The identity has been used widely for trait identification. In the context of an environment or set of similar environments, grain

yield is looked at as the product of three terms suggested by Passioura to be largely independent between themselves: evapotranspiration, evapotranspiration efficiency and harvest index. Manipulation of these terms or their components may lead to a plant ideotype that would optimize the use of water for maximum yield. For example, evapotranspiration is made out of two terms, crop transpiration and direct soil evaporation. Any trait or agronomical practice that decreases direct soil evaporation will tend to increase the amount of dry matter produced per unit rainfall or water stored in the soil profile, cf. Tables 3 and 8. Maximizing photosynthesis per unit ground area will increase the dry matter produced per unit water evapotranspired at the crop level. Similarly and according to the environment the water use through the season can be at least partially manipulated using morphological (Passioura, 1972), physiological traits and agronomic practices such that the harvest index is least affected (Richards and Townley-Smith, 1987).

Using these tools it is possible to derive an ideotype or working hypothesis for stress resistance traits. This is shown in Table 9 from Acevedo and Ceccarelli (1989). For an excellent discussion on the subject the reader is referred to Richards (1987).

The identity of Passioura (1977) also applies when transpiration (T) instead of evapotranspiration (ET) and transpiration efficiency (TE) instead of evapotranspiration efficiency (WUE) are used. In this case, however there may be strong interactions between the terms of the identity. Figure 7, from a recent greenhouse experiment where soil evaporation was completely suppressed, shows that for a group of barley genotypes, as the seasonal water transpired increased, TE decreased linearly. Figure 8 indicates that increased total biomass production (including roots) was generally associated with a decreased TE. A notable exception is shown in Figure 8, Tadmor, a pure line isolated from landraces that has consistently outyielded the local barley check for dry areas in on farm trials during the last few seasons in Northern Syria, combines high total dry matter production with high TE.

The interaction between the terms of the identity complicates its use when physiological attributes such as gas exchange are considered in an ideotype. In general it appears that increased net carbon assimilation is the major parameter of concern when dealing with autumn sown barley in Mediterranean environments. It has an associated cost of lowered TE due to increased water transpired. But the research results show that exceptions may occur such that high TE and high dry matter production may be associated.

The long debate about the existence of measurable differences in TE within a species, across genotypes (Fischer and Turner, 1978) has been resolved and data is available, among others, from Farquhar and Richards (1984) for wheat, for beans (Ehleringer, 1989) and our own results for barley (Table 10) showing such differences. This is an important parameter to be considered in an ideotype. It is integrative and can be assessed through the C-13 discrimination technique. Positive associations between C-13 D and yield can be easily interpreted in the light of the results of Figure 8. Of major importance in the adaptation of winter grown cereals under stress is the carbon gain at periods when the major stress (drought) is at the lowest level of incidence. In barley, from the results of Fig. 8 it can be concluded that the negative association between C-13 D and TE predicted by theory (Farquhar et al 1982) and the positive association between C-13 D and yield (Condon et al 1987) are compatible.

Once the ideotype is developed, the next step is to assess the worth of the traits. Needless to say, a nursery has to be assembled representing variability in each of the postulated traits.

A close participation of breeders and physiologists is essential at this point. The results of several years of work will depend on the nursery assembled. It is convenient that initially, adapted and unadapted entries be present in the nursery. The size of the nursery (number of genotypes) should be big enough and balanced regarding the postulated traits such that valid comparisons can be done and conclusions can be drawn. When growing the nursery every effort should be made to keep the material as free of pests and diseases as possible through the spray of appropriate agrochemicals.

One way to proceed to assess the worth of the postulated traits is to observe the correlation of the traits between themselves and with a measure of stress resistance. Those traits that are correlated with stress resistance are selected for further work. Table 11 shows some identified traits for bread wheat.

Trait Verification

The correlation analysis does not necessarily imply cause effect relations. It is necessary therefore to verify the traits. The verification of the value of single traits has been done in many instances by using the near-isogenic line approach. Lines differing essentially in one trait under study are produced and tested. The yield advantage conferred by the trait is determined in field trials. The technique is clean in giving confirmation to the worth of a trait in a given genetic background. Several isogenic pares representing various genetic backgrounds should be used to verify the trait under consideration. This is so because in the actual breeding practice the breeder is utilizing a multitude of genetic backgrounds and stress resistance is not the result of a single trait. On the contrary, and particularly when dealing with stress avoidance, it appears that an architecture of traits is acting. It may also be possible that different architectures of traits may lead to similar results.

A more pragmatic approach to trait verification has been proposed by Acevedo and Ceccarelli (1989). They suggest to cross genotypes diverging in four or five traits already assessed as important in drought resistance by their correlation to a stress resistance index, harvest individual F₂ plants and grow the F₃ seed in plots using a modified augmented design with the parents as checks. The F₃ families are scored for the traits under study. Divergent selection for yield and for the studied traits is practiced. Contrasts are made for single traits in all possible combination of the other traits, similarly for two or more traits. The traits are considered to be valuable, alone or in combination, if they increase the selection efficiency when compared to yield alone as a selection criterion. By regressing the values of F₄ on the F₃ families, estimates of realized heritabilities are produced. This procedure is being implemented with barley at ICARDA. Final yield testing is done in F₅ using contrasting environments.

Screening Tests

Physiologists and breeders have been continuously confronted with the need of generating screening tests to identify drought resistance traits to aid in selections. Few of the many screening tests proposed have been adopted by breeders. This is probably to be expected since most screening tests discriminate a single attribute at a single time. As indicated, variation in stress resistance is likely to be due to the effects of many attributes and their interaction, most of them with small effects. The expression of the attributes is likely to vary with the degree and combination of stresses, age of the plant and tissue, and with the environment.

For screening purposes the traits must satisfy certain criteria: they should have a greater heritability than yield, they should be correlated with yield under stress or a yield based stress resistance index, ideally they should be causally related to yield and they should be easy and rapid to assess. Broad sense heritabilities for rapidly assessed traits detected in bread wheat and that comply with the other requirements listed are provided in Table 11.

Genetic variation has been observed in several drought adaptive attributes of wheat: maintenance of relatively higher leaf potential under conditions of soil moisture stress, osmotic adjustment, tolerance in plant or organ growth rate, plant recovery upon rehydration, tolerance in the photosynthetic system or its components, tolerance in enzyme activities, tolerance in translocation, stability of the cellular membranes, proline accumulation, root growth and plant developmental or morphological attributes such as leaf size, leaf area per plant, leaf orientation, tiller survival, epicuticular wax content, and organ pubescence. Most of this information will be of limited value to breeding work

unless routine screening techniques for large number of genotypes are available and unless the relationship between physiological drought and adaptive traits is clearly established.

Selection for Drought Resistance

Traits of dehydration avoidance and dehydration tolerance, have been found positively associated with yield under stress across genotypes of wheat (Keim and Kronstad, 1981; Sojka et al. 1981) and barley (Acevedo and Ceccarelli, 1989; Acevedo et al. 1989).

Dehydration avoidance is interpreted as the ability of genotypes to maintain a higher leaf water potential when grown under conditions of soil water stress. Several traits contribute to dehydration avoidance, all those contributing to a better water balance of the crop should be included, such as leaf rolling, best adapted root systems, increased pubescence of the aerial organs, increased reflectance of the incoming solar radiation, increased dissipation of heat through decreased boundary layer resistance at the organ level (narrow leaves, presence of awns), etc. In nature, a better water balance is associated with a higher proportion of energy dissipated as latent heat and hence a lower canopy temperature. This has prompted scientists to develop methods for fast crop temperature assessment (Blum et al 1978, Blum et al, 1982) and the method is being used in breeding programs such as in wheat (ICARDA, 1988; BLUM, 1988), maize (Bolanos et al. 1989), and others. The reader is referred to specific works (Idso et al, 1981; Jackson et al, 1981; O'Toole and Tomar, 1982; O'Toole and Hatfield, 1983; O'Toole et al, 1984; O'Toole and Real, 1984), for details on the technique.

An important form of drought stress tolerance is the tolerance to post-anthesis stress. In wheat, as in other cereals, grain filling depends partly on actual photosynthesis during this period and partly on stored carbohydrates during the pre-anthesis period and translocated from the vegetative plant parts. Under conditions of terminal drought (and heat) stress, net photosynthesis decreases significantly in wheat (e.g. Acevedo, 1989) and the proportion of translocation of stored soluble carbohydrates as a source for grain filling becomes larger (Austin et al., 1977, 1980; Richards and Townley-Smith, 1987). Values of 40 to 60% of final grain weight originating from stored pre-anthesis assimilates have been reported by these authors. It appears to exist genetic variation within cereal crop species in the plant's ability to sustain kernel growth by plant mobilization of reserves (Austin et al. 1977 Acevedo and Ceccarelli, 1989). Blum et al. (1983) developed a technique to screen for this trait in wheat. They sprayed well watered wheat plants with magnesium chlorate at the initial part of the linear phase of kernel growth (approximately 14 days after anthesis in wheat), when the kernel is complete with respect to its final cell number. The desiccant kills all photosynthetic tissue including leaves, leaf sheaths, glumes and awns. The final kernel weight of treated plots is compared with kernel weight of non treated, control plots. The technique is being applied successfully in Australia using potassium iodide as a desiccant (Turner and Nicholas, 1987; N.C. Turner, personal communication).

Dehydration tolerance is related to cellular and subcellular processes. The stability of cell membrane under stress is central to cell performance. Measurements of membrane stability can be easily done with the electrolyte leakage test (Sullivan and Eastin, 1974) after submitting plant tissue to stress. It is difficult, however to relate this type of test to plant production.

Concluding Remarks

In spite of considerable progress, the improvement of winter cereals for drought prone Mediterranean environments continues to face important problems. Only a qualitative understanding of the stress environments is at hand. The occurrence of simultaneous stresses associated to drought in the dry areas and the temporal variability of these stresses are factors that have hinder quantification of the stress environments. Yield, either grain or total above ground biomass continues to be the most reliable stress indicator. The quantification of stress resistance,

therefore, has to be based on yield or on yield derived indexes which carry with them the natural genotype X environment interaction. An assessment of stress resistance independent of yield is needed but not yet available.

Major effects of environmental fitness of a genotype such as growing cycle and yield potential can be easily shown with traditional techniques but stress resistance appears to be a combination of small effects of various morphological and physiological traits. The identification and assessment of these effects and the understanding of their interactions becomes a difficult task unless material with a wide genetic base and with wide difference in the postulated traits is included in the nurseries under study. Furthermore, the nurseries need to be grown across a gradient which includes stressed sites.

In the process of identification and assessment of stress resistance traits, conceptual models of crop functioning for particular environments are extremely useful as they provide a lead to the traits to look for. A further step is necessary which is the verification of the worth of a trait or combination of traits. Selection experiments are necessary in this step and they also provide fundamental genetic information.

At present, selection for stress resistant genotypes has to be done at stressed sites. It is anticipated that as our knowledge of stress resistance traits increases selections could be done in environments with higher discriminating power for yield. It is essential, however, that the steps of trait identification, assessment and verification be strictly followed.

References Cited

- Acevedo, E., and Ceccarelli, S. 1989. Role of physiologist-breeder in a breeding program for drought resistance conditions. In: Drought Resistance in Cereals--Theory and Practice (Cairo, Egypt, 28-30 November 1988) In Press.
- Acevedo, E., Craufurd, P.Q., Austin, R.B. and Perez-Marco, P. 1989. Traits associated with high yield in barley in low rainfall environments. *J. Agric. Sci. Camb.* (Submitted).
- Acevedo, E. 1989. Morphophysiological traits of adaptation of cereals to Mediterranean environments. In: proceedings of an International Symposium on Improving Winter Cereals under Temperature and Salinity Stresses. Cordoba, Spain, 26-29 October 1987. In press.
- Austin, R.B., Edrich, J.A., Ford, M.A. and Blackwell, R.D. 1977. The fate of dry matter, carbohydrates and ¹⁴C loss from leaves and stems of wheat during grain filling. *Ann. Bot. London*, 41: 1309-1321.
- Austin, R.B., Morgan, R.B., Ford, M.A. and Blackwell, R.D. 1980. Contributions to grain yield from pre-anthesis assimilation in tall and dwarf barley genotypes in two contrasting seasons. *Ann. Bot.* 45: 309-319.
- Bidinger, F.R., Mahalakshmi, V. and Rao, G.D.P. 1987a. Assessment of drought resistance in Pearl Millet (*Pennisetum americanum* (L) Leeke). I. Factors affecting yield under stress. *Aust. J. Agric. Res.* 38:37-48.
- Bidinger, F.R., Mahalakshmi, V. and Rao, G.D.P. 1987b. Assessment of drought resistance in Pearl Millet (*Pennisetum americanum* (L) Leeke). II. Estimation of genotype response to stress. *Aust. J. Agric. Res.* 38: 49-59.

- Blum, A., Schertz, K.F., Toler, R.W., Welch, R.I., Rosenow, D.T., Johnson, J.W., and Clark, L.E. 1978. Selection for drought avoidance in Sorghum using aerial infrared photography. *Agronomy Journal*, 70: 472-477.
- Blum, A. 1979. Genetic improvement of drought resistance in plants: A case for sorghum. In: *Stress physiology in Crop plants* (H. Mussell and R.C. Sables eds.). Wiley Interscience, New York, N.Y. pp: 242-445.
- Blum, A., Mayer, J. and Golzan, G. 1982. Infrared thermal sensing of plant canopies as a screening technique for dehydration avoidance in wheat. *Field Crops Res.* 5:137-146.
- Blum, A., Poiarkova, H., Golan, G. and Mayer, J. 1983. Chemical desiccation of wheat plants as a simulator of post-anthesis stress. I. Effects on translocation and kernel growth.
- Blum, A. 1983. Genetic and physiological relationships in plant breeding for drought resistance. *Agricultural Water Management* 7: 195-205.
- Blum, A. 1988. *Plant Breeding for Stress Environments*. CRC Press, Florida. 223 p.
- Blum, A. 1989. Osmotic adjustment and growth of barley genotypes under drought stress. *Crop Sci.* 29: 230-233.
- Bolaños, J., and Edmeades, G.D. 1989. Cambios en la población tuxpeno sequia después de ocho ciclos de mejoramiento para resistencia a sequia. (Meeting at San Pedro Sula, April 2-9, 1989).
- Brown, K.D., Sorrells, M.E. and Coffman, W.R. 1983. A method for classification and evaluation of testing environments. *Crop Sci.* 23: 889-893.
- Ceccarelli, S., Nachit, M.M., Ferrara, G.O., Mekni, M.S., Tahir, M., van Leur, J. and Srivastava, J.P. 1987. Breeding strategies for improving cereal yield and stability under drought. In: *Drought Tolerance in Winter Cereals* (J.P. Srivastava, E. Porceddu, E. Acevedo and S. Varma eds.) John Wiley and Sons. Chichester. U.K. pp. 101-114.
- Ceccarelli, S. 1989. Wide adaptation: How wide? *Euphytica* 40: 197-205.
- Ceccarelli, S., and Grando, S. 1989. Efficiency of empirical selection under stress conditions in barley. *J. Genet. and Breed.* 43: 25-31.
- Condon, A.G., Richards, R.A. and Farquhar, G.D. 1987. Carbon isotope discrimination is positively correlated with grain yield and dry matter production in field-grown wheat. *Crop Sci.* 27: 996-1001.
- Cooper, P.J.M., Keatinge, J.H.D. and Hughes, G. 1983. Crop evapotranspiration. A technique for calculation of its components by field measurements. *Field Crops Research*, 7: 229-312.
- Cooper, P.J.M., Gregory, P.J., Tully, D. and Harris, H.C. 1987. Improving water use efficiency of annual crops in the rainfed farming systems of West Asia and North Africa. *Expl. Agric.* 23: 113-158.
- Dennett, M.D., Keatinge, J.H.D. and Rodgerds, J.A. 1984. A comparison of rainfall regimes at six sites in northern Syria. *Agricultural and Forest Meteorology* 31: 319-328.

- Ehleringer, J.R. 1989. Water use efficiency and ^{13}C discrimination. In: *Photosynthesis and Growth under Mediterranean Conditions: Influence of Dryness and Salinity*. (International Seminar CIHEAM/OECD, Oeiras, Portugal, 22-24 May, 1989).
- Farquhar, G.D., von Caemmerer, S. and Berry, J.A. 1982. On the relationship between carbon isotope discrimination and the intercellular carbon dioxide concentration in leaves. *Aust. Jour. Plant Physiol.* 9: 121-137.
- Farquhar, G.D., and Richards, R.A. 1984. Isotopic composition of plant carbon correlates with water-use efficiency of wheat genotypes. *Aust. J. Plant Physiol.* 11: 539-552.
- Finlay, K.W., and Wilkinson, G.N. 1963. The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. *Australian J. Agr. Res.* 14: 742-754.
- Fischer, R.A., and Turner, N.C. 1978. Plant productivity in the arid and semiarid zones. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 29:277-317.
- Fischer, R.A., and Maureer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Aust. J. Agric. Res.* 29: 897-912.
- Fischer, R.A., and Wood, J.R. 1979. Drought resistance in spring wheat cultivars. III. Yield associations with morphophysiological traits. *Aust. J. Agric. Res.* 30:1001-1020.
- Fischer, R.A. 1979. Growth and water limitations to dryland wheat yield in Australia: a physiological framework. *J. Aust. Inst. Agric. Sci.* 45:83-94.
- Fischer, R.A. 1981. Optimizing the use of water and nitrogen through breeding of crops. *Plant and Soil* 58:249-278.
- Grummet, R., Albretchen, R.S. and Hanson, A.D. 1987. Growth and yield of barley isopopulations differing in soluble potential. *Crop Sci.* 27:991-995.
- ICARDA, 1988. Cereal Improvement Program. Annual Report. pp:39-53.
- Idso, S.B., Jackson, R.D., Pinter, P.J., Reginato, R.J. and Hatfield, J.L. 1981. Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. *Agricultural Meteorology*, 24: 45-55.
- Jackson, R.D., Idso, S.B., Reginato, R.J. and Pinter, P.J. 1981. Canopy temperature as a crop water stress indicator. *Water Resources Research*, 17 (4):1133-1138.
- Keim, D.L., and Kronstad, W.E. 1981. Drought response of winter wheat cultivars grown under field stress conditions. *Crop Sci.*, 21: 11-15.
- Laing, D.R., and Fischer, R.A. 1977. Adaptation of semidwarf cultivars to rainfed conditions. *Euphytica*, 26:129-139.
- Levitt, J. 1972. Responses of plants to environmental stress. Academic Press. New York. 697 P.
- Ludlow, M.M., and Muchow, R.C. 1988. Critical evaluation of the possibilities for modifying crops for high production per unit precipitation. In: *Drought Research Priorities for the Dryland Tropics*. (F.R. Bidinger and C. Johanson eds.) ICRISAT. pp.179-211.

- Morgan, J.M., Hare, R.A. and Fletcher, R.J. 1986. Genetic variation in osmoregulation in bread and durum wheats and its relationship to grain yield in a range of field environments. *Aust. J. Agric. Res.* 37: 449-457.
- Nass, H.G., and Sterling, J.D.E. 1981. Comparison of tests characterizing varieties of barley and wheat for moisture stress resistance. *Can. J. Plant Physiol.* 61: 283-289.
- Osmanzai, M., Rajaram, S. and Knapp, E.B. 1987. Breeding for moisture-stressed areas. In: *Drought Tolerance in Winter Cereals* (J.P. Srivastava, E. Porceddu, E. Acevedo and S. Varma eds.) John Wiley and Sons. Chichester, U.K. pp: 151-161.
- O'Toole, J.C., and Tomar, V.S. 1982. Transpiration, leaf temperature and water potential of rice and barnyard grass in flooded fields. *Agricultural Meteorology*, 26: 285-296.
- O'Toole, J.C. and Hatfield, J.L. 1983. Effect of wind on the crop water stress index derived by infrared thermometry. *Agronomy Journal*, 75: 811-817.
- O'Toole, J.C., Turner, N.C., Namuco, O.P., Dingkuhn, M. and Gomez K.A. 1984. Comparison of some crop water stress measurement methods. *Crop Sci.*, 243: 1121-1128.
- O'Toole, J.C., and Real, J. 1984. Canopy target dimensions for infrared thermometry. *Agronomy Journal*, 76:863-865.
- Passioura, J.B. 1972. Effect of root geometry on the yield of wheat growing on stored water. *Aust. J. Agric. Res.* 23: 745-752.
- Passioura, J.B. 1977. Grain yield, harvest index and water use of wheat. *J.Aust. Inst. Agric. Sci.* 43: 117-120.
- Passioura, J.B. 1981. The interaction between the physiology and the breeding of wheat. In: *Wheat Science--Today and Tomorrow* (L.T. Evans and W.J. Peacock eds.). Cambridge University Press. pp. 191-201.
- Passioura, J.B. 1986. Resistance to drought and salinity: Avenues for improvement. *Aust.J. Plant Physiol.* 13:191-201.
- Pearson, J., Smirnoff, N., Stewart, G.R. and Turner, L.B. 1987. Nitrogen metabolism in relation to water stress. In: *Drought tolerance in winter cereals* (J.P. Srivastava, E. Porceddu, E. Acevedo and S. Varma, eds.) John Wiley and Sons Ltd., Chichester, U.K. pp.241-262.
- Richards, R.A. 1982. Breeding and selecting for drought resistance in wheat. In: *Drought Resistance in Crops with Emphasis on Rice*. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines. pp. 303-316.
- Richards, R. 1983. Glaucousness in wheat, its effects on yield and related characteristics in dryland environments, and its control by minor genes. *Proc. 6th. International Wheat Genetics Symposium, Kyoto, Japan.* pp: 447-451.
- Richards, R.A. 1987. Physiology and the breeding of winter-grown cereals for dry areas. In: *Drought Tolerance in Winter Cereals* (J.P. Srivastava, E. Porceddu, E. Acevedo and S. Varma, eds.) John Wiley and Sons. Chichester. U.K. pp: 133-170.
- Richards, R.A., and Townley-Smith, T.F. 1987. Variation in leaf area development and its effect on water use, yield and harvest index of droughted wheat. *Aust. J. Agric. Res.* 38:983-992.

Schultze, E.D. 1988. Adaptation mechanism of noncultivated arid-zone plants: useful lessons for agriculture? In: Drought Research Priorities for the Dryland Tropics. (F.R. Bidinger and C. Johanson eds.) ICRISAT. pp. 159-177.

Sojka, R.E., Stolzy, L.H. and Fischer, R.A. 1981. Seasonal drought response of selected wheat cultivars. *Agronomy Journal*, 73: 838-844.

Srivastava, J.P., Porceddu, E., Acevedo, E. and Varma, S. 1987. Drought Tolerance in Winter Cereals. John Wiley and Sons. Chichester. 387 pp.

Sullivan, G.Y., and Eastin, J.D. 1974. Plant Physiological responses to water stress. *Agric. Meteorol.* 14: 113-127.

Taylor, H.M., Jordan, W.R. and Sinclair, T.R. 1983. Limitation to Efficient Water use in Crop Production. ASA, CSSA, SSSA. 538 pp.

Turner, N.C. 1989. Evaluation of traits for the improvement of water-use-efficiency and harvest index. In: Drought Resistance in Cereals-Theory and Practice (Symposium (CASAFA/IBN/ACIAR, Cairo, 28-30 November 1988). In press.

Turner, N.C., and Kramer, P.J. 1980. Adaptation of Plants to Water and High Temperature Stress. John Wiley, New York. 482 pp.

Turner, N.C., and Nicholas, M.E. 1987. Drought resistance of wheat for light-textured soils in a Mediterranean climate. In: Drought Tolerance in Winter Cereals. (J.P. Srivastava, E. Porceddu, E. Acevedo and S. Varma eds.). John Wiley and Sons. Chichester, U.K. pp: 203-216.

Virmani, S.M. 1982. Rainfall probability estimates for selected locations of semi-arid India. ICRISAT. Research Bulletin No. 1. 170 pp.

Watts, D.G., and El Mourid, M. 1988. Rainfall patterns and probabilities in the semi-arid cereal production region of Morocco. INRA/MIAC, Morocco. 47 pp.

Mejoramiento de Cereales de Invierno en Ambientes Mediterráneos: Uso de las Características Morfológicas, Fisiológicas y de Rendimiento

Resumen

Este trabajo describe los problemas complejos que afrontan los científicos dedicados al mejoramiento de cereales de invierno para los ambientes mediterráneos adversos (principalmente, los secos). Se detallan dos tipos importantes de sequía: a) cuando el cultivo sólo recibe agua de lluvia y b) cuando depende fundamentalmente del agua almacenada en el suelo. Estos dos tipos de sequía requieren distintas metodologías fitotécnicas. Se subraya que en los ambientes adversos suelen ocurrir al mismo tiempo o en el mismo ciclo más de un factor físico limitante. Aunque se han elaborado metodologías fitotécnicas y agronómicas para manejar la interacción entre los distintos factores adversos, este no es el caso de la fisiología.

Las características de las razas criollas de cebada que evolucionaron en los ambientes adversos de la región del Tigris y el Eufrates, se presentan como posibles fuentes de resistencia al estrés,

en tanto que el efecto del potencial de rendimiento se reconoce como un factor importante del rendimiento bajo estrés de los genotipos de trigo mejorados.

Hay quienes sostienen que la cuantificación de la resistencia al estrés sigue siendo un problema primordial en el mejoramiento para los ambientes adversos. Los índices más usados de dicha resistencia se basan en el rendimiento y, por consiguiente, son muy afectados por la interacción entre los índices del estrés y el ambiente. Un indicador útil de la resistencia al estrés debería ser lo más independiente posible del rendimiento, sino se vuelve tan complejo como el rendimiento mismo. Por tanto, se propone que se investigue la discriminación C-13 como posible indicador.

En este trabajo se hace hincapié en la necesidad de incluir los ambientes adversos en un programa de selección, y se presentan los datos que respaldan esta necesidad. Hay quienes sostienen que sólo mediante la identificación de las características que contribuyen a la resistencia al estrés es posible realizar la selección para lograr esta resistencia en ambientes donde existe una gran discriminación a favor del rendimiento (es decir, ambientes donde se usan muchos insumos). En consecuencia, se propone un método para la postulación, evaluación y verificación de las características morfológicas y fisiológicas de dicha resistencia.

Table 1. Attributes of two-row pure lines isolated from landraces as compared with two row improved barleys.^a

Higher grain yield under drought
 Higher harvest index
 Higher grain mass
 Earlier heading
 Shorter grain filling period
 Higher drought resistance index
 Prostrate growth habit in winter
 Dark green leaves before stem extension
 Light green leaves after stem extension
 Shorter stature under drought
 Higher tillering
 Higher number of fertile spikes
 Higher discrimination for C-13
 Lower transpiration efficiency
 Medium vernalization requirement
 Longer emergence to double ridge period
 Shorter ear initiation and ear growth period

^a Nursery composition: 14 Syrian pure lines isolated from landraces, 23 improved barley genotypes.

After Acevedo and Ceccarelli (1989).

Table 2. Effect PF variety, row spacing and planting date on number of fertile spikes per unite area. Durum wheat, 88/89 season. Rainfall: Tel Hadya 239 mm + 50 mm irrigation. Breda: 194 mm.

Factor	No. of fertile spikes/m ²	
	Tel Hadya	Breda
Variety		
OM RABI 14	203* b	107**b
SEBOU	206 b	122 ab
KORIFLA	234 a	141 a
Row spacing (cm)		
10	225**a	133* a
20	222 a	126 a
40	196 b	111 b
Planting date		
Early	236**a	194**a
Medium	202 b	166 b
Late	205 b	10 c

N = 27; *P < 0.05; **P < 0.01; Numbers followed by a different letter in a column for a given factor differ significantly.

Table 3. Main effects of variety, row spacing and planting date on total above ground biomass (BIOY) and grain yield (GWT). Durum wheat. 1988/89 Season. Rainfall: Tel Hadya 239 mm + 50 mm irrigation. Breda: 194 mm.

Factor	Tel Hadya		Breda	
	IOY	GWT (t/ha)	BIOY (t/ha)	GWT
Variety				
OM RABI 14	4.8* b	1.6 a	1.6 a	0.4 a
SEBOU	5.3 a	1.9 a	1.7 a	0.4 a
KORIFLA	5.1 ab	1.7 a	1.8 a	0.5 a
Row spacing (cm)				
10	5.7**a	2.5**a	2.1**a	0.6**a
20	5.0 b	2.3 a	1.6 b	0.4 b
40	4.6 c	2.0 b	1.4 b	0.3 b
Planting date				
Early	6.7**a	2.4**a	3.9**a	0.7**a
Medium	4.3 b	1.5 b	1.9 b	0.5 b
Late	4.4 b	1.3 b	0.3 c	0.0 c

N = 27; *P < 0.05; **P < 0.01; Numbers followed by a different letter in a column for a given factor differ significantly.

Table 4. Percentage variance accounted for by regressions of grain yield at stress sites (Breda and Boudier) against days to heading (DH), grain yield or both at Tel Hadya (wetter site).

Trait at Tel Hadya	Grain yield at stress sites			
	Barley		Wheat	
	2-Row	6-Row	Bread	Durum
DH	58(58)*	31(31)	19(19)	14(6)
Grain yield	2(40)	20(42)	9(8)	20(20)
Total	60	51	28	34

* Figures in parentheses are variance accounted for by traits when considered as independent variables.

Table 5. Correlation of the drought response index (DRI) across sites and years in northern Syria. Bread wheat nursery. Yield potential was considered to be at Tel Hadya, the highest rainfall site. DR was calculated with the average yield of Breda and Bouider keeping Tel Hadya as a potential site.

DRI	BR6	BR7	BR8	BO6	BO8	DR
BR6	-	-0.22	0.36	0.48*	-0.07	0.68**
BR7		-	0.13	-0.13	0.13	0.24
BR8			-	0.48*	0.29	0.39
BO6				-	0.19	0.60**
BO8					-	0.27
DR						-

N = 20; *P < .01; **P < .01; BR6 = Breda site in the 1985/86 season, etc.

Table 6. Quantification of stress resistance across environments. Ranking of bread wheat genotypes using the intercept [1-Y_D/Y_P] VS.D (S), the intercept of the joint regression analysis (I) and the intercept of drought response index (DRI) on D.

Genotype	Value of the intercept			Ranking ^a according to		
	S	I	DRI	S	I	DRI
Vulture'S'	0.05	-0.12	-0.84	12	15	16
Sham 2	-0.24	0.04	2.25	4	9	2
Sonalika	0.02	0.23	-1.97	9	5	17
Bobwhite'S'	0.07	-0.10	-0.41	14	13	14
Seri 82	0.08	-0.07	-1.97	15	12	18
Mexipak	-0.12	0.15	-0.09	5	6	10
FLK'S/Hork'S'	-0.08	-0.05	2.96	6	10	1
Florence Aurore	-0.28	0.55	-3.39	2	1	19
Golan	-0.61	0.54	1.14	1	2	7
Bloudan	0.01	-0.25	0.76	8	16	8
Parula	0.02	-0.05	1.59	10	11	6
Akraa	0.16	-0.27	-0.76	17	17	15
Sunbird	0.05	-0.29	-0.15	13	19	12
HD 2206/Hork	0.25	-0.27	-1.36	19	18	13
Sakha-8	0.10	0.10	-0.18	16	7	11
Neelkant'S'	-0.01	-0.11	1.75	7	14	5
Veery	0.21	0.04	2.16	18	8	3
Ures 81	0.03	0.23	1.87	11	4	4
Katya A-1	-0.25	0.29	0.12	3	3	9
9D-27-262	0.26	-0.56	-3.80	20	20	20

^a Ranking 1: Highest stress resistance correlation coefficient of S VS I = 0.654 P < 0.01.

Table 7. Inverse of the joint regression analysis to define an optimum site for selection. Nursery composition: 20 bread wheat genotypes.

Environment ^a	Rainfall (mm)	Regression parameters		R ²
		Intercept	Slope	
TH6	316	-0.70	1.61	0.70
TH7	343	0.60	0.85	0.37
TH8	499	-1.52	2.94	0.59
BR6	218	0.33	0.28	0.21
BR7	245	0.28	0.25	0.26
BR8	408	-1.18	2.13	0.35
BO6	205	0.45	0.10	0.03
BO7	174	-	-	-
BO8	382	1.38	0.40	0.14

^a TH6 = Tel Hadya 1985/86 season, etc.

Method of Brown et al. (1983). See text for details.

Table 8. Percent difference between barley (B) and wheat (W) in groundcover and in the ratio of transpiration to evapotranspiration. The values are for the winter months of January and February, 40 to 80 days after emergence (Approximate Zadoks scores 13 to 24).

Days after emergence	Ground cover (B-W)/B %	T/ET ^a (B-W)/B %
40	16	63
50	17	52
60	12	46
70	10	20
80	9	14

^a Mean of six barley and four wheat genotypes. Transpiration (T) obtained as in Cooper et al. (1983).

After Acevedo and Ceccarelli (1989).

Table 9. Attributes expected to lead to improve yield under drought in low rainfall Mediterranean environments.

Purpose	Attribute	Screening tool
Maximize T as a fraction of ET	-Fast ground cover	Visual
	-Prostrate growth habit	Visual
	-Good Winter growth (early vigor)	Visual
Maximize TE under drought	-High carboxylation efficiency	IRGA (C-13 D)
	-Low non-stomatal effect on NP	IRGA (C-13 D)
	-Stomatal adjustment to drought	Porometer Crop temperature
	-Initial dark followed by light leaf color	Visual
Maximize harvest index	-High translocation of preanthesis assimilates to the ear	Desiccation
	-Flowering date -Short grain filling	Visual

Table 10. Transpiration efficiency (TE) of selected 2-row barley genotypes. Plants grown in pots and irrigated either to field capacity (FC) or one half field capacity (1/2 FC). Greenhouse study, 1988-89.

Type	Cultivar	TE (MG DW/G H ₂ O) ^a	
		FC	1/2 FC
Improved	HARMAL	7.81	8.95
	WI 2198	7.68	9.12
	WI 2198/WI 2269	7.50	8.92
	ROHO	7.00	8.82
	SBON 96	7.33	7.66
Landraces	TADMOR	7.47	8.73
	SLB 62-99	6.81	8.20
	SLB 39-99	6.76	8.28
	SLB 62-35	6.47	7.94
	SLB 8-6	7.21	8.58

^a Dry weight includes roots.
Mean day time VPD: 0.53 KPa.
LSD.05 for cultivar at the same level of watering: 0.97
LSD.05 for treatment at the same level of cultivar: 1.06
The cultivar X watering interaction is insignificant

Table 11. Broad sense heritability (H) of traits correlated to yield under stress. Bread wheat, 20 genotypes. Breda and Bouider, 1885-86 season.

Trait		H
Grain yield		0.28
No. fertile spikes	(+)	0.36
Grains/m ²	(+)	0.44
Grains/spike	(+)	0.24
Harvest index	(+)	0.48
Straw yield	(+)	0.41
Plant height	(+)	0.53
Peduncle length	(+)	0.58
Days to heading	(-)	0.93
Days to maturity	(-)	0.79
Pale leaf color anthesis	(+)	0.61
Growth vigor 5-leaf	(+)	0.43

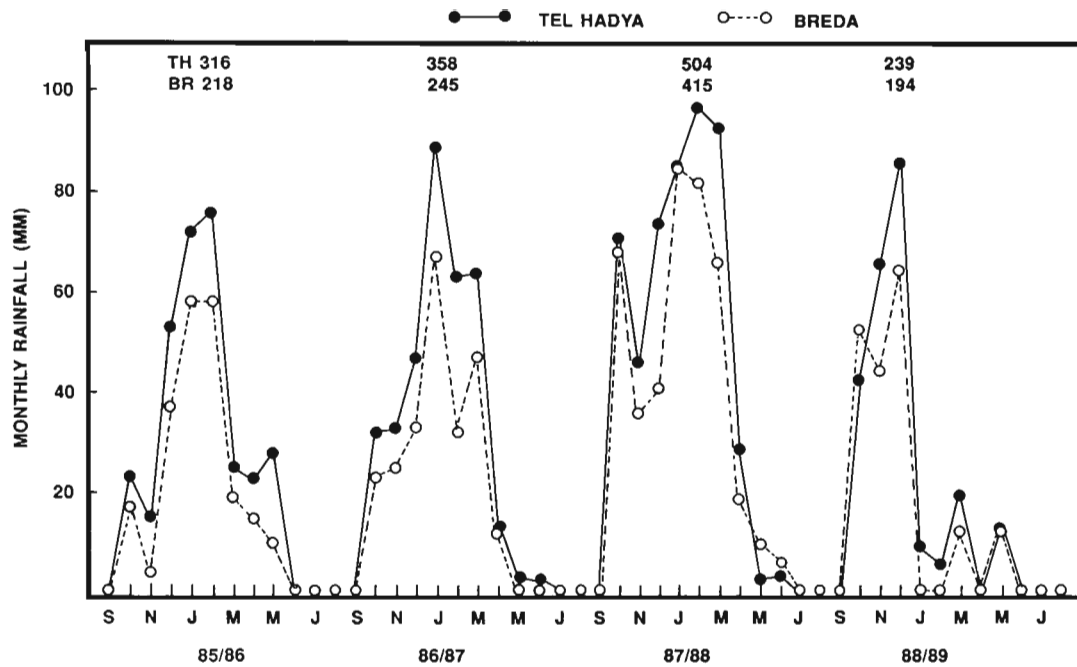


FIGURE 1. MONTHLY RAINFALL DISTRIBUTION THROUGH FOUR SEASONS IN NORTHERN SYRIA. TEL HADYA (36°01'N, 36°56'E, 284 M ELEVATION, 328 mm LONG TERM RAINFALL) AND BRED A (35°40'N, 37°10'E, 300 M ELEVATION AND 281 MM LONG TERM RAINFALL).

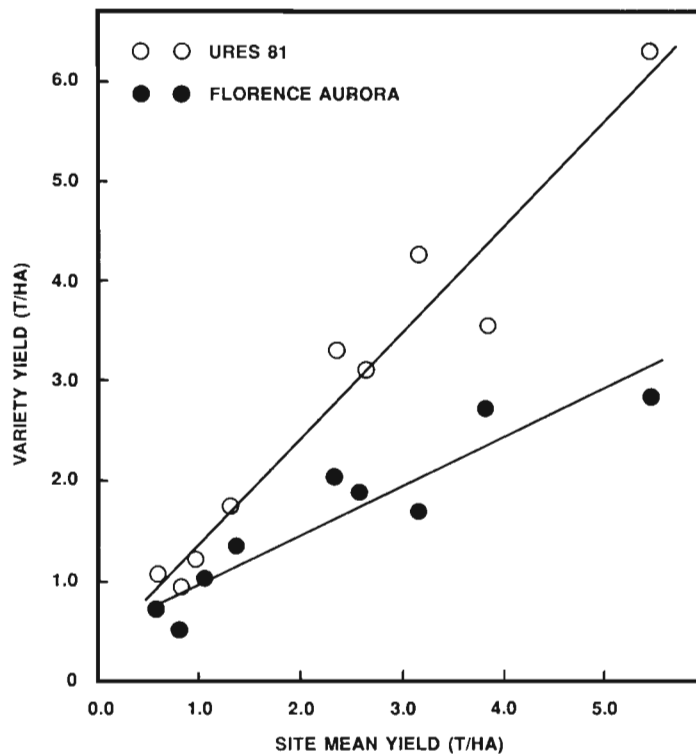


FIGURE 2. EFFECT OF BREAD WHEAT YIELD POTENTIAL ON YIELD UNDER STRESS. REGRESSION LINES CALCULATED FROM DATA OF NINE ENVIRONMENTS. REGRESSION PARAMETERS: URES 81 HAS A REGRESSION SLOPE = 1.09 AND INTERCEPT = 0.23; FLORENCE AURORA HAS A REGRESSION SLOPE = 0.47 AND INTERCEPT = 0.55

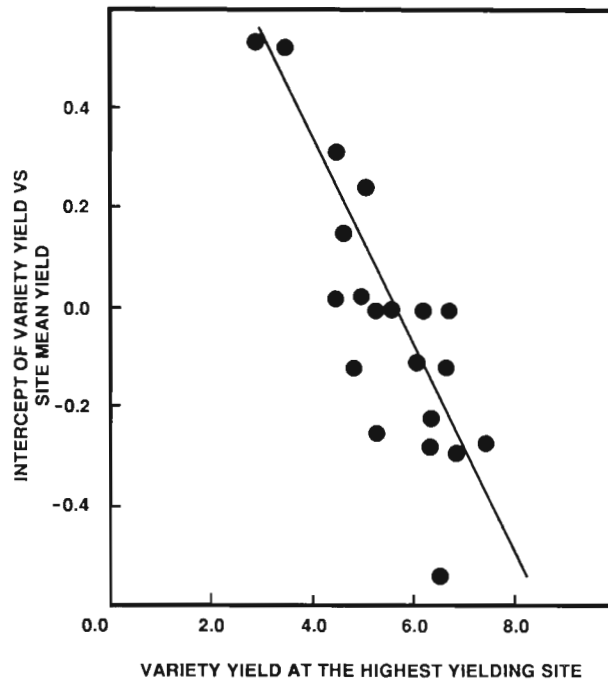


FIGURE 3. INTERCEPT OF THE JOINT REGRESSION ANALYSIS ACROSS NINE ENVIRONMENTS VERSUS YIELD POTENTIAL. BREAD WHEAT GENOTYPES (N = 20, $r = -0.81$ P < 0.01).

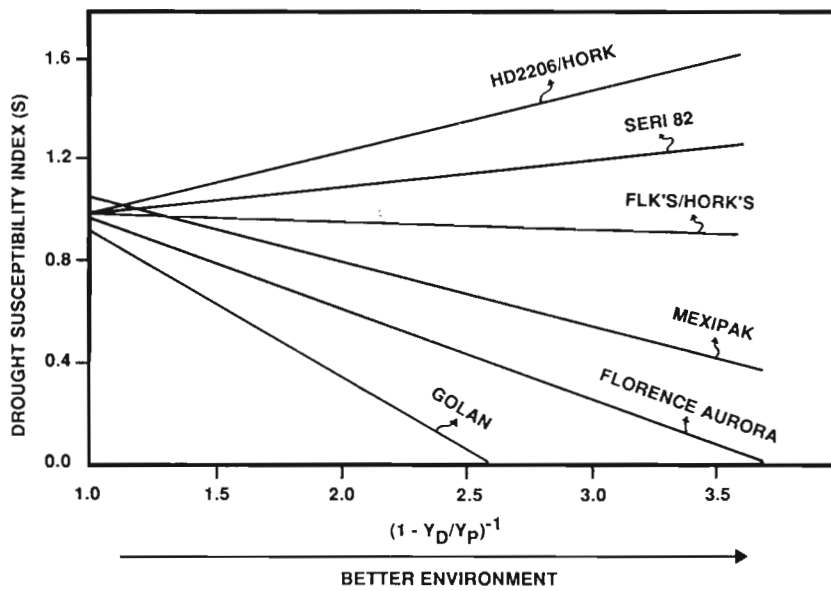


FIGURE 4. A PLOT OF S ON 1/D FOR VARIOUS WHEAT GENOTYPES. SEE TEXT FOR THE INTERPRETATION OF THE FIGURE.

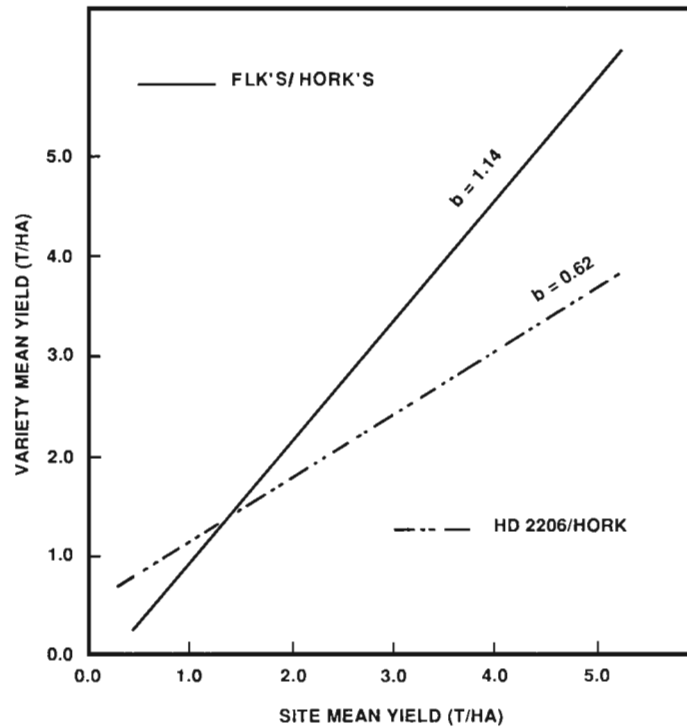


FIGURE 5. TWO BREAD WHEAT GENOTYPES DIFFERING IN YIELD POTENTIAL. THE CROSS-OVER OCCURS AT ABOUT 1.5 (T/HA). REGRESSION LINES DERIVED FROM NINE ENVIRONMENTS IN NORTHERN SYRIA ($r^2 = 0.99$ FOR FLK'S S/HORK'S AND 0.97 FOR HD 2206/HORK).

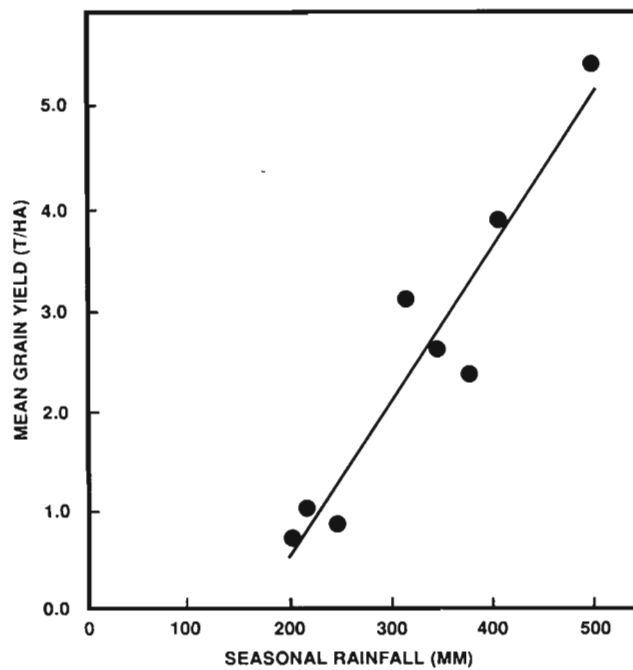


FIGURE 6. BREAD WHEAT NURSERY. TWENTY GENOTYPES GROWN ACROSS A RAINFALL GRADIENT IN NORTHERN SYRIA (THREE SEASONS, THREE SITES). $r^2 = 0.901$ ($P < 0.01$), SLOPE: 15.3 KG/ HA MM RAINFALL.

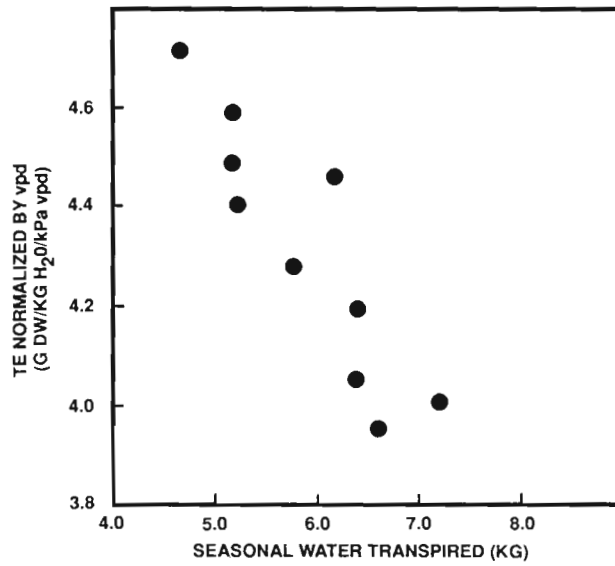


FIGURE 7. TRANSPIRATION EFFICIENCY OF BARLEY GENOTYPES AS RELATED TO SEASONAL TRANSPIRATION ($r = -0.69$, $P < 0.05$).

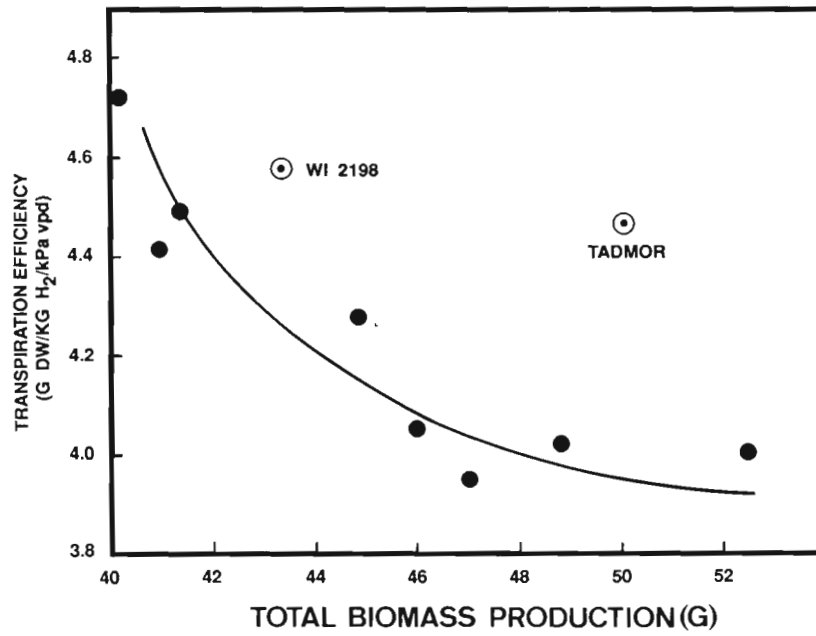


FIGURE 8. TRANSPIRATION EFFICIENCY AND TOTAL BIOMASS PRODUCTION IN BARLEY GENOTYPES. GREENHOUSE DETERMINATIONS (88/89).

ROLE OF THE PHYSIOLOGIST-BREEDER IN A CROP BREEDING PROGRAM FOR DROUGHT RESISTANCE

E. Acevedo and S. Ceccarelli

International Center for Agricultural
Research in the Dry Areas (ICARDA),
P.O. Box 5466
Aleppo, Syria

This paper was originally presented at a Drought Symposium in Cairo, Egypt, 28-29 November 1988, sponsored by the International Council of Scientific Unions and Australian Centre for International Agricultural Research.

Abstract

Breeding crops for low rainfall rainfed environments presents several levels of complexity that result in slow progress when conventional breeding is used. For ICARDA, stability of production is a major thrust. Being located in the center of origin of cultivated cereals provides an opportunity for careful examination of the role of adaptation. We discuss our present approach on how to incorporate physiological concepts into a breeding program for stress environments, the type of germplasm being used, the clues to drought resistance provided by the selection, the genotype x environment interaction, and the approach we are following for trait evaluation and verification.

Introduction

The topic assigned to us for discussion in this Symposium has been directly or indirectly in the agenda of plant physiology meetings for decades. It reflects the awareness on the subject, and proposes a team approach in a breeding program for drought resistance, merging physiological and breeding concepts. The implicit assumptions of this are: 1) that improvement in the drought resistance and yield of cultivated plants can be made through breeding, 2) that traditional breeding tools are not as efficient in drought stressed environment as in relatively favorable ones, and 3) that knowledge of mechanisms operating in plants growing in drought prone areas could be used in breeding for those areas. Today there are controversies about all three assumptions.

Efficient use of water is the major goal of all dryland systems. However, not too long ago, L.P. Reitz (1974) posed a fundamental question. Is breeding for more efficient water use real or a mirage? He referred to drought tolerance "as part of that elusive thing called adaptation". At the same time Moss et al. (1974) concluded that the information to guide plant breeders in developing higher yielding varieties by selecting for specific physiological traits controlling the efficiency of water use was not available. They recommended close cooperation between physiologists, physical scientists and plant breeders in defining yield limiting water use traits, in discovering genetic variability for these traits and in incorporating desirable traits into new varieties. A book was published at the time with the above and other papers which we consider a benchmark (Stone 1975).

Later Boyer (1982), considered plant adaptation to environments. He observed that 71% of the indemnification made to U.S. farmers for crop losses was due to drought, excessive water and cold. He made a plea to make selections under the adverse conditions likely to be encountered so that genotypes capable of exploiting limited resources could be identified.

At the International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), improving cereals for low input and variable environments is the major objective. In this paper we define the problem and present our strategy to approach it. The implementation has been going on for only three

years, a very short time in an improvement program and even shorter in a crop improvement program for low input and variable environments, but where appropriate we will illustrate with our information. Our discussions will be essentially on barley but we will use wheat for pertinent comparisons.

A Philosophical Preamble

The breeders' problem has been and is to increase the precision of identifying the genotype through the observation of the phenotype. The degree of precision decreases with increased complexity of the character, and becomes very low for highly complex characters such as yield. Breeders try to find the combination of attributes which bred into a genotype would maximize productivity and/or stability of yield. In the context of this Symposium the two concepts, productivity and stability, may be equated to water use efficiency and drought resistance. The former being the ability to convert water into harvestable material and the second the capacity to escape, survive or endure damage from water stress (Reitz, 1974; Hsiao and Acevedo, 1974). The breeder defines drought resistance as the ability of a crop to grow and yield satisfactorily in areas prone to water deficits. Both drought resistance and water use efficiency are involved in this definition.

Stability of yield, defined here as decreased number of crop failures in time, is a major concern to barley improvement at ICARDA. Barley is the only cereal crop that grows in the more marginal lower rainfall environments (200-300 mm/year), where the variability of rainfall within and between years is the highest (Dennet et al. 1984). We use the premise that natural and farmers' selection have operated in such a way that drought resistance traits are more likely to be found in the naturally adapted barley population (landraces) as well as in its wild progenitor *Hordeum spontaneum* (Ceccarelli, 1984). We will present information which seems to indicate that this working assumption is not unrealistic.

The word "trait" invokes several considerations. One is the level of integration or hierarchy of plant organization one should address. Generally breeders do not face the problem of choosing between levels of integration because the final product (the variety) demands only work at crop level. However, a physiologist continuously faces a choice between levels of integration. The reasoning of Passioura (1981) is appealing in this context. He argued rightfully that breeding is judged in farmers' fields while physiology is judged primarily on how enlightening it is, and secondarily on whether it provides leads or tools for crop improvement. We believe that in a breeder-physiologist team a common level of integration has to be clearly set.

We have chosen to work for the time being at the plant level and look to the organ and crop levels of organization for explanations. In this way we are hoping to avoid the formidable transductional problems of bridging with lower hierarchical levels such as cellular or molecular. Our approach is pragmatic and we are motivated by the fact that essential tasks such as the identification of useful physiological traits and their verification are yet to be completed.

General Approach to Physiology--Breeding

A practical approach to physiological breeding geared to improving drought resistance or yield under stress is forced to start from yield and move towards underlying processes. This is a consequence of the fact that at present a quantitative definition of total drought resistance is not possible in physiological terms. Fischer (1981) named this strategy the "black box" and contrasted it to the "ideotype" strategy which attempts to predict yield from an understanding of processes. We are using a combination of the two strategies, defining drought resistance based on yield and deriving traits based on an ideotype for our environments. As a team, we are probably midway between the traditional and analytical approaches to breeding (Richards, 1982).

Our plan for merging physiology and breeding for cereal improvement in dry areas considers four aspects:

- Selection of ideotypic traits which could act on drought resistance and water use efficiency and could be easily screened. Preliminary assessment of the worth of the trait is made by the strength of its correlation with a yield based drought resistance index.
- Assessment of the variability of the traits within a physiology nursery which includes a wide range of genotypes.
- Verification of the traits through multitrait indirect and divergent selection experiments.
- Incorporation of the trait(s) into well adapted genetic background.

The joint definition of the ideotype by the physiologist and the breeder alerts the breeder in the selection of parents for potential traits in the crossing program. In the selection process due consideration is given to the traits. The assessment of the variability of some traits is therefore done at a much wider scale than in the physiology nursery. The end result is that traits are used as selection criteria by the breeder at the same time that the physiologist performs a rigorous verification. This is a highly desirable result of the interaction of the two disciplines.

Quantification of Drought Resistance

In discussing drought resistance it is essential that means should be available to quantify the dryness of the environment and the drought resistance of the genotypes. Interannual and intraseasonal variability of rains is high and therefore rainfall probabilities should ideally be used. This requires long term climatic data which we do not have at hand for the stations in which we are working. Furthermore, drought, though dominant, is usually associated with temperature stresses.

The working stations are located in northern Syria and cover a steep rainfall gradient. They are Tel Hadya at ICARDA Headquarters, 36° 01'N, 36° 56'E, 284 m elevation, 328 mm mean rainfall; Breda 35° 56'N, 37° 10'E, 300 m elevation, 281mm mean rainfall, and Bouider 35° 40'N, 37° 10'E, 268 m elevation, 212 mm mean rainfall. The three stations are within a 50 km radius from Tel Hadya. The climate is typical Mediterranean with winter rainfalls distributed in a 7 month period. Table 1 gives climatic data averaged for two growing seasons (86 and 87) at the two more contrasting sites. The drought intensity relative to Tel Hadya based on relative yield (Y_d/Y_p), on a grain yield basis has been 0.46 and 0.22 for Breda and Bouider and 0.49 and 0.33 when total above ground biomass is used as indicator.

At present grain yield is generally used to quantify drought resistance. Fischer and Maureer (1978) defined a drought susceptibility index (DSI) to relate to drought resistance traits. The index, however, did not consider time to flowering, associated to drought escape, and a correction had to be made for differences in anthesis date. Yield under drought is often negatively correlated to anthesis date (Fischer and Wood, 1979; Bidinger et al., 1987a; Craufurd et al., 1988; Acevedo et al., 1988). Furthermore, the DSI was found to be positively related to yield potential (Fischer and Wood, 1979; Ceccarelli, 1987), therefore it may not be a true indicator of drought resistance. Blum (1982) advocated the use of stability analysis (Finlay and Wilkinson, 1963; Eberhart and Russell, 1966) to define stress resistance in terms of yield, provided that the major component of variation in the environmental index could be attributed to the water regime. The stress resistance would be given by the intercept of cultivar yield regressed on the environmental index (mean site yield). This approach does not consider the confounding effects of flowering time on yield nor the effects of yield potential on the slope of the regression and hence on the intercept and drought resistance.

Bidinger et al. (1987b) proposed a drought resistance index (DRI) based on the residual variation in grain yield, adjusted for experimental error. The DRI accounts for yield potential and days to flowering. We calculated this index considering the grain yield at the wetter site as yield potential along with days to heading at the same site. The index was positively associated with yield under drought and independent of yield potential and time to flowering. We consider it to be a good criterion for assessment of drought resistance traits which will be manipulated as independent genetic characters. These traits should be free, as far as we can assess, from the confounding effects of other traits. Table 2 (Acevedo et al. 1988) shows that yield potential and particularly time to flowering explain a substantial fraction of yield under drought of three cereal crops.

Approach to Trait Identification

The process of postulating desirable traits is strongly geared to the barley breeding objectives. For Icarda low rainfall rainfed areas the number of crop failures must be reduced. Breeding for survival to ensure a minimum yield in the bad years is necessary but a cultivar response in better years should be maintained. The conceptual framework of cereal growth in Mediterranean environments elaborated by Fischer (1979, 1981) is being used. The identity disclosed by Passioura (1977) considering grain yield under drought as the product of transpiration, water use efficiency and harvest index provided a conceptual model at the appropriate level of integration for derivation of traits in breeding work. Passioura (1986) and Richards (1987) have argued convincingly that the possible worth of many drought resistant characters needs assessment on their influence to improve the crop's capability to extract water from the soil, produce dry matter given a limited water supply and convert dry matter into grain. Regardless of the assumption of independence of components, the proposal is useful as a conceptual tool. Acevedo (1987) hypothesized traits on these basis which are summarized in Table 3.

The second step in the identification of traits was to assemble what we refer to a "physiology nursery". This step was taken with the awareness that the identification of traits for any purpose is highly dependent on the nursery under study and this in turn is the result of a hypothesized ideotype for a target environment.

In our experience assembling a wide nursery (72 genotypes), including naturally adapted and improved barley cultivars differing in days to flowering and maturity, growth habit and winter vigor, plant height, grain yield, yield potential and stability of yield, as well as other characters has proven valuable as a starting point. The diversity of the material, though it introduces complexity to the analysis, avoids bias associated which the nursery or the working hypothesis (ideotype).

Comparisons between two row landraces and two row improved genotypes have provided clues to adaptive features (Table 4). Comparisons between cereal species occupying specific niches of increasing rainfall consistently indicate that barley has a higher evapotranspiration efficiency and transpiration efficiency than wheat at the crop level and at the leaf level (Table 5)

Assessment of the Worth of a Trait

It is necessary to emphasize that our target environments receive less than 300 mm rainfall per year as winter rainfall. Earliness is perhaps the most important attribute of cereals grown in the low rainfall (rainfed) Mediterranean environments. The pattern reverses as drought is relieved (Craufurd et al., 1988). To investigate other traits a DRI, calculated from the mean grain yield across dry sites for 86 and 87 seasons, was correlated to various phenological, morphological and physiological attribute (Table 6). All the attributes which correlated significantly with DRI at the drier environments are better expressed in the naturally adapted genotypes (compare tables 6 and 4), validating the breeder's hypothesis that this material provides a source of drought resistance and its utilization is therefore advisable in breeding for these purposes.

The DRI used correlated extremely well with DRI's calculated for each dry site at each year. The mean correlation coefficient was 0.82 ($P < 0.001$), with a range between 0.74 and 0.93. We are confident that the index is providing a good measure of drought resistance (yield potential and days to flowering excluded) for the period under analysis. In 1987/88 when there was above average rainfall (400 mm at Breda and 388 mm at Bouider), the index used (86 and 87) was not correlated with the seasonal indices. This finding supports the validity of the index for drought trait assessment and indicates that drought resistance traits are unlikely to be identified in high rainfall environments.

Attributes that Maximize Transpiration

The three attributes postulated to maximize T as a fraction of ET in Table 3 appeared correlated with the drought resistance index (Table 6). On the grounds of the physical principles governing soil evaporation and crop evapotranspiration the correlation was expected. The traits need, however, experimental verification. There are difficulties associated with the measurement of transpiration under field conditions. We have used indirect ways to evaluate these traits. We have compared similar crops (wheat and barley), differing in canopy structure in the early (winter) stages of growth, such that the errors in estimating transpiration are lower than the actual differences between the crops. The assumption is that genotypes differing in canopy structure in a similar way to the crops would behave similarly. Another way of testing the traits has been to use agronomic experiments in which a given genotype is grown at various row spacings with a fixed sowing rate. The experiment creates various crop architectures which are expressed in different ground covers.

Table 7 shows a comparison between barley and wheat in ground cover as well as the ratio of crop transpiration over evapotranspiration during the second and third month after emergence (January and February), time at which increasing the ratio is most critical. Barley had better early growth and a prostrate growth habit which was reflected in an increased ground cover. The higher leaf area index and ground cover of barley was transduced into a substantial increase of transpiration as a fraction of evapotranspiration. This resulted in a more efficient water use by barley than wheat during the winter months. Similar trends may be expected within species between genotypes differing in these attributes. Visual scores of growth habit and growth vigor of barley genotypes at the five leaf stage have been found to be positively correlated ($P < 0.01$) to the dry matter accumulated at that stage (Acevedo and van Oosterom unpublished).

Other evidence supporting that fast initial ground cover and prostrate growth habit are desirable traits for drought resistance comes from our row spacing studies. In the dry Mediterranean environments of northern Syria we have consistently found that decreasing row spacing (to 10 cm) increased ground cover and induced a more prostrate growth habit in the early stages of growth. Dry matter production at harvest and grain yield increased by 20 to 30% in the closer spacing. Admittedly, associated to the changes in crop geometry there are other factors related to competition which affect yield. Notwithstanding, the confounding effects, increased winter ground cover increased yield and evapotranspiration efficiency (Table 8). These effects are similar to those resulting from fertilizer use reported by Cooper (1983).

Prostrate growth habit and associated horizontal leaf posture in the early stages of growth is usually associated with some degree of vernalization requirement. This is so in pure lines isolated from Syrian landraces. Fortunately this linkage can be broken (Ceccarelli, unpublished) and material with prostrate characteristics and no vernalization requirement can be produced for Mediterranean environments with mild winter climates.

Attributes that Maximize WUE

To maximize seasonal water use efficiency (Table 3) it is necessary to match the genotypes to the environment, such that they are grown during the period of the year when water availability is at the maximum and the evaporation demand at the lowest possible value. Attributes that maximize

transpiration as a fraction of evapotranspiration will improve the water use efficiency of the crop (Table 3) because they increase the solar radiation interception by the canopy, increasing photosynthesis per unit land area. Also, more water is available to the crop due to reduced direct soil evaporation (Table 7). There are, however, other considerations which become apparent when the drought effects on net photosynthesis (NP) are analyzed. Figure 1 shows NP-Ci curves obtained from eight barley genotypes at flag leaf-1, between heading and anthesis. The measurements were taken across four sites in northern Syria. The seasonal rainfall ranged from 340 to 185 mm. The two wettest sites had the same demand function for CO₂. Net photosynthesis for these two sites, was decreased via partial stomatal closure. As the water stress increased there was further stomatal closure but a concomitant increase in the calculated internal CO₂ concentration, indicating a decrease in carboxylation efficiency (slope of the demand curve in the NP-Ci plot). Non-stomatal effects on photosynthesis under drought are therefore important. If stomatal closure was the sole cause of a decrease in photosynthesis, a decrease in the ratio of internal to external CO₂ concentration would be expected, with a concomitant increase in transpiration efficiency (Farquhar and Richards, 1984). However, if non-stomatal effects become important, a decrease in TE would be expected to be due to decreased net photosynthesis. The net photosynthesis data from the rainfall gradient show the two patterns. Figure 2 indicates that leaf TE increased with drought intensity from relatively non stressed environment (NP=18 μmol CO₂m⁻²s⁻¹) up to a stress level which decreased NP to about 7 μmol CO₂ m⁻²s⁻¹. Within this range the carboxylation efficiency was not affected and the decrease in NP was due to decreased stomatal conductance (from 0.5 to 0.15 mol m⁻² s⁻¹). As the drought stress increased there was an almost linear decrease in TE with decreasing NP. Thus, for the drought intensity levels at which we are working, the maintenance of NP at low stomatal conductances, (i.e. the maintenance of carboxylation efficiency via low non-stomatal effects on photosynthesis) would appear to be an important genotypic attribute to maximize TE under drought. We have observed similar patterns in our barley and wheat nurseries. A wide range has been found in Ci (from 160 to 300 μl/L) when gas exchange measurements are done under drought. The range is much narrower (from 200 to 240 μl/L) under relatively wetter environments.

The gas exchange information was produced using a portable infrared gas analyzer. The instrument, even though extremely valuable in a breeding program for the identification of traits in drought prone environments, is not the most appropriate screening tool for breeding purposes. Table 4 shows that the discrimination of C-13 (C-13 D) by the plants was associated with the drought resistance index for genotypes grown in dry environments. In fact the C-13 D explained about 44% of the variation in the index in a subsample of 20 barleys. We have undertaken these studies in collaboration with Dr. R. B. Austin of the PSIR, Cambridge and noted that the C-13 discrimination measured in the grain is highly positively correlated with grain yield under the dry environments of Breda, Bouider and a drought trial under rainout shelters at Cambridge. The correlation has been nonsignificant at Tel Hadya and negative in irrigated trials grown at Cambridge. The discrimination was also found to be significantly higher in the naturally adapted pure lines than in the improved two row genotypes at our driest sites. Work is in progress to clarify this point. The C-13 technique would be an excellent screening tool under dry environments. The C-13 value provides an average value for the gas exchange through the season. Data shown in Figure 3 indicate that C-13 measured in the straw at harvest had a relatively strong linear relation with the NP measured between ear emergence and heading. Admittedly, the relation may be circumstantial due to the point nature of the NP measurement. The accuracy and precision of the C-13 measurements make it possible to differentiate genotypes easily and it appears that the genotype x environment interactions are low for drought stressed plants. A drawback is that the analyses are expensive at the moment.

The hypothesized stomatal adjustment or low stomatal sensitivity to drought (Acevedo, 1987 and Table 5) has been found to be a consistent characteristic of barley. Values averaged over two seasons of NP, leaf conductance to CO₂ and TE for the barley and wheat nurseries have shown that at the wetter site barley consistently had a lower stomatal conductance and lower NP. At the

drier sites the results were reversed with a much lower leaf conductance and photosynthesis in wheat. The TE of barley has been consistently higher across sites (Acevedo, 1988). Since the measurements have been taken at the same time in the barley and wheat nurseries, this behavior may indicate a drought resistance trait. So far, however, we have not found a clear relation to the drought resistance index, something to be expected due to the point nature of the gas exchange measurements. Nonetheless this trait, being essential for carbon assimilation under drought, merits additional study. We are investigating the possibility of screening for it using infrared thermometry.

A dark leaf color early in the season, through Zadoks score 24, followed by a change to a pale green color is a characteristic of the local naturally adapted barley genotypes. Measurements of total chlorophyll and chlorophyll a/b ratio done by Dr. W. Watanabe at IPSR, Cambridge Laboratory, in a subset of genotypes indicated that light green genotypes consistently had a higher chlorophyll a/b ratio than dark green ones but there was no consistent difference between groups in their chlorophyll content per unit leaf area (Dr. R.B. Austin, personal communication). The observed difference in the a/b ratio was similar to that between high photosynthesis diploid wheat species and bread wheat. In diploid wheat, the high a/b ratio is associated with a smaller ratio of chlorophyll in the antenna to that in the core complex of photosystem II and with a higher capacity for photosynthetic electron transport, particularly at light saturation. These associations are being investigated in barley. As indicated in Table 4, a light leaf color around anthesis in barley is correlated with DRI.

During the initial part of the season, solar radiation is limiting in northern Syria ($8 \text{ MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$) increasing to values around $20 \text{ MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$ at stem extension and $26 \text{ MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$ after heading, during grain filling (Table 1). If the hypothesis of our IPSR, Cambridge colleagues is proven, leaf color would be an interesting adaptive feature of the local barleys. They would be adjusting their light capturing system to prevalent solar radiation and terminal drought and heat stresses. Experiments are being conducted to test this hypothesis.

Attributes to Maximize Harvest Index

The realization of a high harvest index (HI) depends on the grain number and grain weight at harvest. The terminal drought of Mediterranean environments affects these two grain yield components. We have shown (Acevedo et al., 1988) that the harvest index of two row barleys is the least affected by drought. One possible reason for the lower effect of terminal drought on the HI of two row barleys is their lower stature under drought and high biomass at anthesis. Particularly in the naturally adapted genotypes, the last internode length is drastically shortened under drought and competition for growth between the stem and spike consequently may be reduced. The other point in this context (Table 3) is the translocation of pre-anthesis assimilates to the ear. We have studied the ability of two row barleys to translocate assimilates to the ear using the desiccation technique of Blum et al. (1983) as modified by Turner and Nicholas (1987) by fully wetting plants (ears included) with a solution of 4% potassium iodide ten days after anthesis. At the 5th day after the treatment leaf photosynthesis (flag leaf⁻¹) was reduced by 40 to 50% from controls but stomatal conductance only by 8.5%. The ears were highly sensitive to the treatment showing almost complete chlorophyll loss few days after the treatment. Final kernel weight of treated genotypes decreased from 0 to 29% from the controls giving clear scope for selection for this trait. We are repeating this experiment for a second season.

In summary, we have evidence that all the traits which were hypothesized in the conceptual model (Table 3) are contributing to drought resistance in the breeders' definition of the concept. Furthermore enough variability exists in each trait to warrant selection and practical screening tools are available.

Optimum Environment for Selection

In the process of identification of traits and of the assessment of their variability it became evident that the environment plays an important role in both steps (Figure 2, and Acevedo, 1988).

The choice of the environmental conditions which maximize the precision with which a genotype can be recognized through the phenotype is also basic to the breeder. In the context of breeding for drought resistance, the question is whether the precision of genotype classification for performance under drought stress is higher in the presence or in the absence of stress. The question is still largely controversial (Gallais, 1984; Blum, 1985; Ceccarelli, 1987). The controversy centers on the relative magnitude of genetic differences (compared with environmental differences) which are expected to be greater under relatively wet conditions than under dry conditions. Since response to selection, and hence breeding progress, strongly depends on the ratio between genetic differences and environmental differences, it follows that selection is expected to be easier and more effective under relatively wet than under dry conditions. Implicit in this approach is the assumption that varieties with high yield potential will express this character wherever they are grown. When the conditions are so adverse that the high yield potential is no longer expressed, this is considered to be the extreme of breeding possibilities, and increased productivity is assumed to be expected only by the introduction of agronomic practices.

It has been argued, however, that it is not the magnitude of genetic differences in a given environment, but their consistency in different environments, that plays a key role in deciding on the optimum environment for selection (Ceccarelli, 1989). This argument is supported by the results of the simultaneous evaluation of the same genotypes (ranging from a minimum of 300 to a maximum of 800) in contrasting environments (Tel Hadya considered as nonstress, and Bouider considered as stressed environment). The comparison of the top yielding lines in each of the two environments (Table 9) indicates that differences in yield in absence of stress are to a large extent irrelevant under stress conditions regardless of how inheritable they are.

The poor yields under stress of the lines with the largest yields in relatively wet conditions indicate that selection has to be conducted under drought.

Results from two cycles of selection conducted in the presence and absence of stress (Ceccarelli, 1989) indicate that this conclusion depends on the definition of stress. As shown in Figure 4 if we define as unfavorable those environments where the average yield is about 3.0 t/ha, it is evident that the optimum environment for selection is the more favorable one with grain yield of 6.0 t/ha where differences are high and relevant. However, when the unfavorable environments we are breeding for have yields of about 1.0 t/ha, materials selected in the favorable environment are not expected to perform better than the local cultivars, and are expected to yield less than materials specifically selected for these environments. The environmental conditions conducive to yield levels of 3.0 t/ha or more, have a probability of occurrence of about 1 in 30 years.

The major implication is that the optimum environment to select for stress conditions can be different for different crops and/or for different countries, depending on the maximum level of stress to which a given crop is likely to be exposed. From a physiological standpoint, attributes like C-13 discrimination, gas exchange parameters, growth vigor, leaf color, and stomatal adjustment have been identified as important under stress conditions. The lack of correlation of the stress indices between wet and dry years is also indicative of using the right selection environment.

The Role of Adaptation

The inclusion in the physiology nursery of lines derive through pure-line selection from locally adapted barley landraces was a critical factor in the process of trait identification and assessment.

Parallel to the physiology work, pure lines extracted from landraces were evaluated in the multilocation-multiyear selection program together with conventional genetic material developed through the bulk-pedigree method (Ceccarelli, 1988).

A comparison of the efficiency of selection, measured as percent of selections outyielding a local check at each cycle, was made after three cycles of selection (Table 10, from Ceccarelli and Grando, 1989).

The combination of direct selection and of adapted germplasm increased the efficiency of selection by almost 30 times over the efficiency of indirect selection with conventional germplasm. Changing only the selection strategy with conventional germplasm increased selection efficiency by 6 times. Although, these results are biased due to the different genetic structure of the material (mixture of genotypes and pure lines), they indicate that a higher level of precision in exploiting genetic differences can be obtained when working with an adapted genetic background.

Verification of Traits

Physiology and breeding work have been both strongly pointing in the same direction by indicating that what we call "drought tolerance" is likely to be the result of a combination of many morphophysiological traits. There are also indications that different combinations of a given set of traits may result in a similar grain yield under stress because of the interaction between characters.

Therefore the conceptual approach to trait verification was based on the possibility to test selection criteria representing architectures of different characters.

The use of near-isogenic lines was not considered to be the most satisfactory methodology for trait verification because it generates information on the effect of a particular trait in a particular genetic background. This is bound to be of limited value to the breeder who is likely to incorporate the traits in a multitude of genetic backgrounds. An approach based on divergent selection for combinations of traits appeared more powerful because it:

- Offers the possibility to assess the role of individual traits as well as combination of traits in randomly assorted genetic backgrounds;
- Generates information on heritability of traits as realized heritability under contrasting environments; and
- Allows a comparison of selection efficiency between selection based on yield and selection based on physiological and morphological traits.

The verification of traits through selection experiments is being conducted according to the following protocol:

- Four characters, namely days of heading, growth habit, growth vigor, and leaf color, were chosen as result of the work on trait assessment and keeping in view the need for easy and fast screening;
- F₂ populations were generated by crossing parents differing in the expression of the four characters;
- Selection will be made between F₃ families for genotypes representing the 16 combinations of the two contrasting expressions of the four characters. In addition we will select two groups of F₃ families for low and high yield and one group will be chosen at random. We are planning to have at least 10 families in each of the 19 groups;

- The 190 families will be evaluated for the four traits and for yield both under dry and relatively wet conditions;
- The analysis of the data will be based on contrasts between groups of lines which differ for the expression of one trait (for example prostrate versus erect growth habit) but with all possible combinations of the other three traits. The same analysis will be used for combinations of two, three, and four characters;
- The efficiency of each selection criterion will be measured by the ratio between the yield difference associated with a given contrast and the yield difference between the two groups selected for high grain yield and low grain yield.
- The experiment will permit a measure of realized heritability of the four characters both when selection and testing are done in the same environment and when selection and testing are done in contrasting environments. The realized heritability is defined as: $h^2 = R/S$; where R (response to selection) will be measured against the random group and S is the selection differential.
- By comparing the relative efficiency of different selection criteria at Bouider and Tel Hadya it should be possible to validate conclusions on the expressions and combinations of characters which maximize yield in a stress and non-stress environment.

We have launched a second type of selection experiment to verify the efficiency of using C-13 D as a selection criterion. The principles are the same as described above. We have made crosses between four parents with high C-13 D and two parents with low C-13 D, all of them being adapted lines. Within segregating populations resulting from these crosses we will select both for high and low C-13 D and for high and low yield. Direct and correlated responses to selection will be measured as well as correlations with traits such as those being verified in the other selection experiment.

We need to reiterate that although selection for C-13 D will be based on single measurements this cannot be considered as single trait selection because of the integrative nature of C-13 D.

Concluding Remarks

We have attempted to discuss the role of a physiologist and a breeder in a breeding program for drought resistance. To meet this end, we presented our experience of three years work as a team in northern Syria.

We hope that through the presentation the role of each discipline became clear. The discussion is biased by our backgrounds, experiences and expectations. Furthermore, we have chosen to present our data, which is limited, to illustrate the various points related to a physiology-breeding program

Our work is at the crop, plant and organ levels of organization. So far we have not attempted to go beyond this point. We see drought resistance more in a breeding context than in a physiological one. We are trying to understand adaptation to drought and verify identified traits through indirect selection experiments. We have chosen simple, easily screened traits with major relation to yield in dry Mediterranean environments.

Comparisons between cereal species, particularly wheat and barley, as well as within species, naturally adapted versus improved genotypes, have provided essential clues to direct our work. The approach is helping to understand adaptation, to which drought resistance belongs.

We miss in our team a physical scientist who should provide a better definition of the environments, because while we talk about drought resistance, we are in reality addressing several physical stresses associated to rainfed agriculture. The stresses are highly variable in time and space and we would like to have their probability of occurrence.

The level of organization at which we have chosen to work is dictated by immediate and practical needs. This does not preclude us from using techniques developed at other levels, should they show their worth and relevance to our work. We are looking closely to biotechnological developments to speed our work. Another culture and bulbosum techniques have already been launched at ICARDA. Others like the use of RFLP, because of the possibilities offered to manipulate and map quantitative characters (Beckmann and Soller, 1986), have exciting perspectives.

We are cautious with the single trait approach in physiology-breeding program. The evidence is that drought resistance is a multitrait phenomenon and we do not know a given trait would operate in different genetic backgrounds. One thing is clear for us: the progress made in breeding for drought resistance using naturally adapted material is order of magnitude higher than that achieved with regular improved germplasm. We have shown that several traits contribute to yield under drought and stability of yield in the naturally adapted genotypes.

New "integrative" physiological screening techniques are becoming available such as C-13 discrimination, crop temperature, leaf desiccation. They have solid physiological bases. We see a promising future for physiology-breeding for dry environments.

References Cited

- Acevedo, E. 1987. Assessing crop and plant attributes for cereal improvement in water-limited Mediterranean environment. In: Drought Tolerance in Winter Cereals (ed. J.P. Srivastava, E. Porceddu, E. Acevedo and S. Varma) pp. 303-320. John Wiley and Sons. New York.
- Acevedo, E. 1988. Morphophysiological traits of adaptation of cereals to Mediterranean environments. In: Proceedings of an International Symposium on Improving Winter Cereals under Temperature and Salinity Stresses. Cordoba, Spain, 26-29 October 1987 (In press).
- Acevedo, E., Perez-Marco, P. and van Oosterom, E. 1988. Physiology of yield of wheat and barley in stressed Mediterranean environments. In: Proceedings of the International Congress of Plant Physiology. New Delhi, India, 15-20 February 1988 (In press).
- Beckmann, J. S. and Soller M. 1986. Restriction fragment length polymorphisms in plant genetic improvement. Oxford surveys of plant molecular and cell biology 3: 197-250
- Bidinger, F.R., Mahalakshmi, V. and Rao, G.D.P. 1987a. Assessment of drought resistance in Pearl Millet (*Pennisetum americanum* (L.) Leeke). I. Factors affecting yields under stress. Aust. J. Agric. Res. 38: 37-48.
- Bidinger, F.R., Mahalakshmi, V. and Rao, G.D.P. 1987b. Assessment of drought resistance in Pearl Millet (*Pennisetum americanum* (L.) Leeke). II. Estimation of genotype response to stress. Aust. J. Agric. Res. 38: 49-59
- Blum, A. 1982. Evidence for genetic variability in drought resistance and its implications for plant breeding. In: Drought Resistance in Crops with Emphasis on Rice. pp. 53-68. International Rice Research Institute, Philippines.

- Blum, A. 1985. Breeding crop varieties for stress environments. *CRC Critical review in plant sciences*, 2(3): 199-238.
- Blum, A. Poiarkova, H., Golam, G. and Mayer, J. 1983. Chemical desiccation of wheat plants as a simulator of post-anthesis stress. I. Effects on translocation and kernel growth. *Field Crops research* 6: 51-58.
- Boyer, J.S. 1982. Plant productivity and environment. *Science* 218: 443-448.
- Ceccarelli, S. 1984. Utilization of landraces and *Hordeum spontaneum* in barley breeding for dry areas at ICARDA. *Rachis* 3(2): 8-11.
- Ceccarelli, S. 1987. Yield potential and drought tolerance of segregating populations of barley in contrasting environments. *Euphytica* 36: 265-273.
- Ceccarelli, S. 1988. Increasing productivity in unfavorable conditions: philosophies, strategies, methodologies. In: *Proceeding of an International Workshop on Advanced Technologies for Increased Agricultural Production: Actual Situation, Future Prospects and Concrete Possibilities of Applications in the Developing Countries*. S. Margherita Ligure, Italy, 25-29 September 1988 (In press).
- Ceccarelli, S. 1989. Wide adaptation: How wide? *Euphytica* (In press).
- Ceccarelli, S. and Grando, S. 1989. Efficiency of empirical selection under stress conditions. *Genetics and Breeding* (In press).
- Cooper, P.J.M. 1983. Crop management in rainfed agriculture with special reference to water use efficiency. pp. 63-79 *Proc. 17th Coll. Inst. Potash Institute Bern*.
- Cooper, P.J.M., Keatinge, J.H.D. and Hughes, G. 1983. Crop evapotranspiration--A technique for calculation of its components by field measurements. *Field Crops Research* 7: 299-312.
- Craufurd, P.Q., Clipson, N.J., Austin, R.B. and Acevedo, E. 1988. An approach to defining an ideotype for barley in low rainfall Mediterranean environments. In: *Proceedings of an International Symposium on Improving Winter Cereals under Temperature and Salinity Stresses*. Cordoba, Spain, 26-29 October 1987 (In press).
- Dennett, M.D., Keatinge, J.H.D. and Rodgerds, J.A. 1984. A comparison of rainfall regimes at six sites in northern Syria. *Agricultural and Forest Meteorology* 31: 319-328.
- Eberhart, S.A. and Russell, W.A. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science* 6: 36-40.
- Farquhar, G.D. and Richards, R.A. 1984. Isotopic composition of plant carbon correlates with water-use efficiency of wheat genotypes. *Aust. J.Plant Physiol.*, 11: 539-552.
- Finlay, K.W. and Wilkinson, G.N. 1963. Analysis of adaptation in a plant-breeding programme. *Aust. J.Agric. Res.* 14(6): 742-754
- Fischer, R.A. 1979. Growth and water limitations to dryland wheat yield in Australia: a physiological framework. *J. Aust. Inst. Agric. Sci.* 45: 83-94.
- Fischer, R.A. 1981. Optimizing the use of water and nitrogen through breeding of crops. *Plant and Soil* 58: 249-278.

- Fischer, R.A. and Maureer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield response. *Aust. J. Agric. Res.* 29: 897-912.
- Fischer, R.A. and Wood, J.R. 1979. Drought resistance in spring wheat cultivars. III. Yield associations with morpho-physiological traits. *Aust. J. Agric. Res.* 30:1001-1020.
- Gallais, A. 1984. Use of indirect selection in plant breeding. In: *Efficiency in plant breeding*. pp. 45-60. In: *Proceed. 10th Congress of EUCARPIA, Wageningen, The Netherlands, 19-24 June, 1983*.
- Hsiao, T.C. and Acevedo, E. 1974. Plant responses to water deficits, water-use efficiency and drought resistance. *Agricultural Meteorology* 14: 59-84.
- Moss, D.N., Woolley, J.T. and Stone J. F. 1974. Plant modification for more efficient water use: the challenge. *Agricultural Meteorology* 14: 311-320.
- Passioura, J.B. 1977. Grain yield, harvest index and water use of wheat. *J. Aust. Inst. Agric. Sci.* 43: 117-120.
- Passioura, J.B. 1981. The interaction between the physiology and the breeding of wheat. In: *Wheat Science--Today and Tomorrow* (ed. L.T. Evans and W.J. Peacock) pp. 191-201. Cambridge University Press.
- Passioura, J.B. 1986. Resistance to drought and salinity: Avenues for improvement. *Aust. J. Plant Physiol.* 13: 191-201.
- Reitz, L.P. 1974. Breeding for more efficient water use - is it real or a mirage? *Agricultural Meteorology* 14: 3-11.
- Richards, R.A. 1982. Breeding and selecting for drought resistance in wheat. In: *Drought Resistance in Crops with Emphasis in Rice*. pp: 303-316 International Rice Research Institute. Philippines.
- Richards, R.A. 1987. Physiology and the breeding of winter-grown cereal for dry areas. In: *Drought Tolerance in Winter Cereals* (ed. J.P. Srivastava, E. Porceddu, E. Acevedo and S. Varma)pp. 133-170. John Wiley and Sons. New York.
- Stone, J.F. 1975. *Plant modification for more efficient water use*. Elsevier Scientific Publishing Company. New York. 320 p.
- Turner, N.C. and Nicolas M.E. 1987. Drought resistance of wheat for light-textured soils in a Mediterranean climate. In: *Drought Tolerance in Winter Cereals* (ed. J.P. Srivastava, E. Porceddu, E. Acevedo and S. Varma) pp. 203-216. John Wiley and Sons. New York.

Funcion del Fisiologo/Mejorador en un Programa Fitotecnico para Obtener Tolerancia la Sequia

Resumen

El mejoramiento de cultivos para ambientes con poca precipitación pluvial presenta niveles de complejidad que resultan en un avance lento si se usa la fitotecnia tradicional. Para el ICARDA, la estabilidad del rendimiento constituye una actividad fundamental. La localización de este Centro en el punto de origen de los cereales cultivados permite un examen profundo de la función que tiene la adaptación.

En este trabajo se presenta la metodología que se utiliza actualmente en el ICARDA para incorporar el aspecto fisiológico en un programa de mejoramiento para ambientes adversos, el tipo de germoplasma que se siembra, lo que la selección ha revelado que se debe hacer para lograr la tolerancia a la sequía, la interacción genotipo x ambiente y la metodología que se usa en la evaluación y verificación.

Table 1. Monthly average weather data for two sites in northern Syria (1986 and 1987).

Site	Temp. (°C)		Solar Radiation Pan		Rainfall (mm month ⁻¹)
	Máx.	Min.	(Mj m ⁻² d ⁻¹)	Evap. (mm d ⁻¹)	
Tel Hadya					
November	19.8	5.7	10.5	2.7	24.2
December	13.3	1.2	8.2	1.9	50.4
January	12.4	3.0	8.2	1.5	80.4
February	15.8	4.1	12.1	2.5	69.5
March	16.7	3.6	15.8	3.4	44.5
April	24.1	7.6	22.1	5.7	17.6
May	28.3	11.0	24.6	8.6	15.5
				302.5	
Bouider					
November	17.9	2.6	12.0	2.5	13.8
December	12.9	-0.2	9.7	1.5	32.6
January	12.4	4.5	9.7	2.5	51.7
February	15.7	3.7	14.1	2.3	31.7
March	17.0	2.4	17.5	3.3	24.0
April	25.0	7.0	25.1	6.0	16.8
May	28.6	10.1	27.8	9.3	10.4
				181.0	

Table 2. Proportion of the total sum of squares of grain yield under the drier environments (Breda and Bouider) accounted for by grain yield and days to flowering at the wetter site (Tel Hadya). Data based on 37 two-row barley genotypes, 35 six-row barleys, 20 durum wheat, and 20 bread wheat genotypes.

Crop	Grain Yield at Tel Hadya %	Days to Flowering at Tel Hadya %	Total %
Barley			
2-row	6	40	46
6-row	23	18	41
Durum Wheat	16	20	36
Bread Wheat	5	26	31

Table 3. Attributes expected to lead to improved yield under drought in low rainfall Mediterranean environments.

Purpose	Attribute	Screening Tool
Maximize T as a fraction of ET	Fast ground cover	Visual
	Prostrate growth habit	Visual
	Good winter growth (early vigor)	Visual
Maximize TE under drought	High carboxylation efficiency	IRGA (C-13 D)
	Low non-stomatal effects on NP	IRGA (C-13 D)
	Stomatal adjustment to drought Temperature	Parometer crop
	Initial dark followed by light leaf color	Visual
Maximize	High translocation of harvest index to the ear	Desiccation pre-anthesis assimilates
	Flowering date	Visual
	Short grain filling	Visual

Table 4. Attributes of two-row pure lines isolated from landraces as compared with two row improved barleys.^a

Higher grain yield under drought
 Higher harvest index
 Higher grain mass
 Earlier heading
 Shorter grain filling period
 Higher drought resistance index
 Prostrate growth habit in winter
 Dark green leaves before stem extension
 Light green leaves after stem extension
 Shorter stature
 Higher tillering
 Higher number of fertile spikes
 Higher discrimination for C-13
 Medium vernalization requirement
 Longer emergence to double ridge period
 Shorter ear initiation and ear growth period.

^a Nursery composition: 14 pure lines isolated from syrian landraces, 23 improved barley genotypes.

Table 5. Evapotranspiration efficiency (WUE), transpiration efficiency at the crop level (TE crop) and at the leaf level (TE leaf). Values obtained at Tel Hadya. TE leaf measured between heading and anthesis.

	Barley	Wheat	W/B
WUE (mg DW g ⁻¹ H ₂ O)	4.6	4.2	0.91
TE crop (mg DW g ⁻¹ H ₂ O)	7.6	6.3	0.82
TE leaf (μmol CO ₂ mmol ⁻¹ H ₂ O)	5.6	4.3	0.77

Table 6. Phenotypic attributes associated with the drought resistance index in two-row barley genotypes (Breda and Bouider, 86 and 87 seasons).

Type of trait	Attribute
Phenological	Short grain filling period Short crop duration
Morphological	High winter ground cover Initial prostrate growth habit Initial horizontal leaf position Short stature High tillering High number of fertile spikes
Physiological	High above ground biomass at anthesis High kernel weight High total above ground biomass at harvest High harvest index High C-13 discrimination Light plant color at anthesis

Table 7. Percent difference between barley (B) and wheat (W) in ground cover and in the ratio of transpiration to evapotranspiration. The values are for the winter months of January and February, 40 to 80 days after emergence (approximate Zadoks scores 13 to 24).

Days after	Ground cover emergence %	T/ETa (B-W)/B B-W)/B %
40	16	63
50	17	52
60	12	46
70	10	20
80	9	14

a Mean of six barley and four wheat genotypes. Transpiration (T) obtained as in Cooper et al. (1983).

Table 8. Seasonal values for mean ground cover, above ground biomass (DW) and actual evapotranspiration at two sites in northern Syria. Barley cv. Harmal planted at 10 and 30 cm. row spacing at the same sowing rate.

	Tel Hadya			Breda		
	10cm	30cm %	30/10	10cm	30cm %	30/10
Mean Ground Cover (1-10)	7.0	5.8	82.8	7.3	5.2	71.2
Dry weight (g/m ²)	1934	1401	72.4	1079	720	66.7
ETa (mm) ^a	391	379	96.9	291	291	100.0
DW/ETa (WUE) (g/m ² /mm)	4.9	3.6	73.5	3.7	2.5	67.6

a Actual evapotranspiration from soil water balance.

Table 9. Grain yield (kg/ha) in two contrasting environments of the top yielding barley lines in each environment.

Testing environment		Top yielding lines under:	
Year	Rainfall (mm)	Stress	Non-stress
1984/85	178	1686	929
1985/86	180	2699	1833
1986/87	164	1002	668
1987/88	382	2950	2710
1984/85	373	3935	5367
1985/86	316	5186	5842
1986/87	343	2603	3494
1987/88	499	4569	4513

Table 10. Efficiency of selection under unfavorable conditions in relation to selection strategy (direct vs. indirect), and of type of germplasm (conventional vs. landraces).

Selection Environment	Target Environment	Type of Germplasm	Efficiency of selection %
Favorable	Unfavorable	Conventional	1.1
Unfavorable	Unfavorable	Conventional	6.9
Unfavorable	Unfavorable	Landraces	32.4

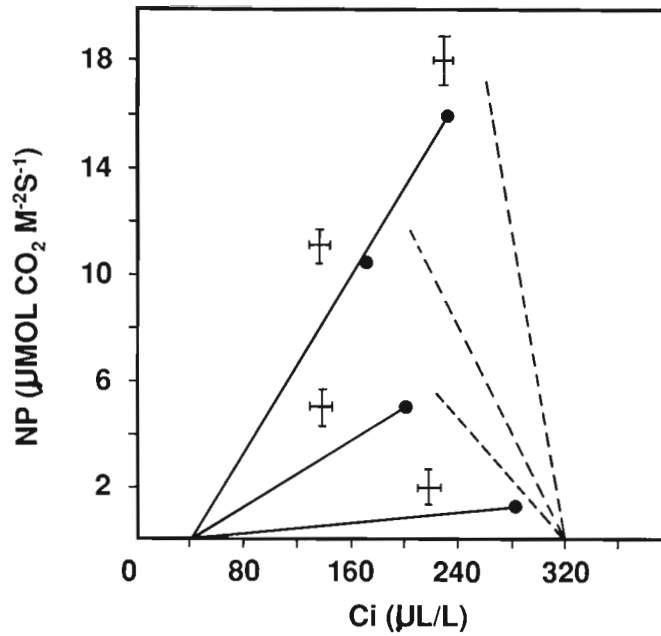


Fig. 1. CO₂ supply and demand functions. Mean of eight barley genotypes grown at four sites of decreasing rainfall in northern Syria. Bars indicate twice the standard error of the mean. (Acevedo and Gomez - McPherson, unpublished).

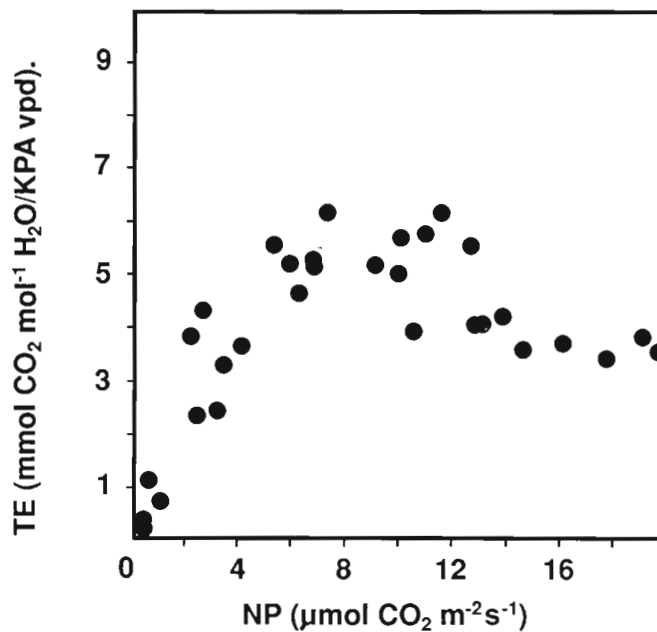


Fig. 2. Transpiration efficiency normalized by vapour pressure deficit. IRGA measurements in penultimate leaf of eight barley genotypes across a rainfall gradient in northern Syria. Measurements between heading and anthesis as in Fig. 1 and 3. (Acevedo, unpublished).

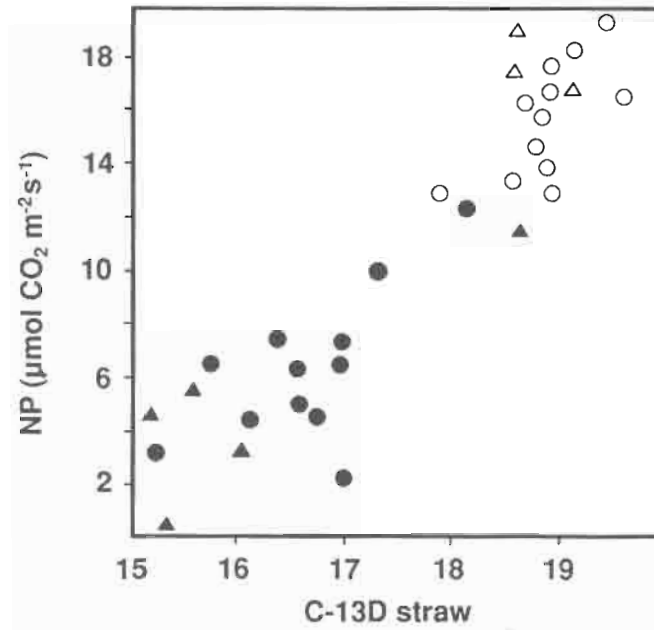


Fig. 3. Net photosynthesis (NP) and C-13 discrimination. NP obtained as in Figs. 1 and 2. C-13 discrimination measured in the straw at harvest. Closed symbols, Bouider (185 mm). Open symbols, Tel Hadya (320 mm). (Acevedo, unpublished).

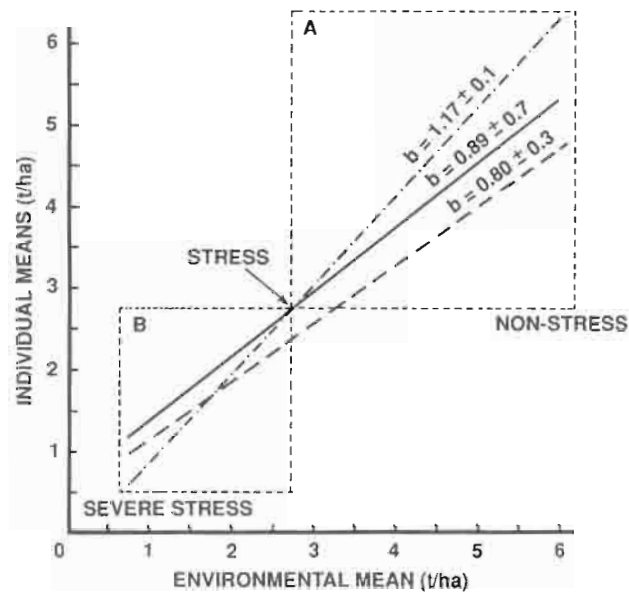


Fig. 4. Grain yield (t/ha) of barley bulks in 5 contrasting environments. Regression lines refer to bulks selected under wet (---) or dry (—) conditions compared to a landrace(- · - ·).

LISTA DE PARTICIPANTES

Argentina

Ing. Agr. Daniel ALVAREZ
EEA-INTA Manfredi
5988-MANFREDI

Ing. Agr. Carlos BAINOTTI
EEA-INTA Marcos Juárez
Casilla de Correo Nro. 21
2580-MARCOS JUAREZ

Ing. Agr. José BARIFFI
EEA-INTA Balcarce
Casilla de Correo Nro. 276
7620-Balcarce

Ing. Agr. Aquileo BUCAR
EEA-INTA Manfredi
5988-MANFREDI

Ing. Agr. Alfredo CALZOLARI
EEA-INTA Pergamino
Casilla de Correo Nro. 31
2700-PERGAMINO

Ing. Agr. Mario CATTANEO
Criadero BUCK
Partido de Necochea-FCGB
7637-LA DULCE

Ing. Agr. Isidro CETTOUR
EEA-INTA Sáenz Peña
Casilla de Correo Nro. 164
3700-ROQUE SAENZ PEÑA

Ing. Agr. Edgardo CIANDANA
EEA-INTA Manfredi
5988-MANFREDI

Ing. Agr. Noemí COLOMBO
Departamento de Genética
INTA Castelar
1712-CASTELAR

Ing. Agr. Héctor CONTA
EEA-INTA Pergamino
Casilla de Correo Nro. 31
2700-PERGAMINO

Ing. Agr. Juan CRUZ ARECO
EEA-INTA Manfredi
5988-MANFREDI

Ing. Quim. Marta CUNIBERTI
EEA-INTA Marcos Juárez
Casilla de Correo Nro. 21
2580-MARCOS JUAREZ

Ing. Agr. Alicia DEL BLACO
Chacra Experimental de Barrow
Casilla de Correo Nro. 216
7500-TRES ARROYOS

Ing. Agr. Jorge A. FRASCHINA
EEA-INTA Marcos Juárez
Casilla de Correo Nro. 21
2580-MARCOS JUAREZ

Ing. Agr. Angel N. GALICH
EEA-INTA Marcos Juárez
Casilla de Correo Nro. 21
2580-MARCOS JUAREZ

Ing. Agr. María Teresa V. GALICH
EEA-INTA Marcos Juárez
Casilla de Correo Nro. 21
2580-MARCOS JUAREZ

Ing. Agr. Leonardo C. GALLETTI
EEA-INTA Marcos Juárez
Casilla de Correo Nro. 21
2580-MARCOS JUAREZ

Ing. Agr. Jorge GESUNARIA
Universidad Nacional de Río Cuarto
Facultad de Agronomía y Veterinaria
Casilla de Correo Nro. 9
5800-RIO CUARTO

Ing. Agr. Laura GIORDA
EEA-INTA Manfredi
5988-MANFREDI

Ing. Agr. Alberto GOLBERG
Facultad de Agronomía
Universidad Nacional de la Pampa
Casilla de Correo Nro. 159
6300-SANTA ROSA

Ing. Agr. Armando JUNQUERA
A.C.A.
Estomba 458
8000-BAHIA BLANCA

Ing. Agr. Oscar KLEIN
Criadero KLEIN
6627-PLA(FCGB)

Ing. Agr. Juan LOPEZ
EEA-INTA Bordenave
Casilla de Correo Nro. 44
8187-BORDENAVE

Ing. Agr. Miguel MAC MANEY
Facultad de Agronomía-UBA
Cátedra de Cerealicultura
Avenida San Martín 4453
1417-BUENOS AIRES

Ing. Agr. Héctor MARTINUZZI
Criadero CARGILL S.A.
Casilla de Correo Nro. 143
7630-NECOCHEA

Ing. Agr. Rubén MIRANDA
A.C.A.
Estomba 458
8000-BAHIA BLANCA

Agr. Gabriel G. MUSSO
EEA-INTA Marcos Juárez
Casilla de Correo Nro. 21
2580-MARCOS JUAREZ

Ing. Agr. Jorge E. NISI
EEA-INTA Marcos Juárez
Casilla de Correo Nro. 21
2580-MARCOS JUAREZ

Ing. Agr. Ignacio PACAGNINI
EEA-INTA Manfredi
5988-MANFREDI

Ing. Agr. Pedro PAULUCCI
Criadero CARGILL S.A.
Casilla de Correo Nro. 143
7630-NECOCHEA

Ing. Agr. Roberto PEIRETTI
Universidad Nacional de Río Cuarto
Facultad de Agronomía y Veterinaria
Casilla de Correo Nro. 9
5800-RIO CUARTO

Ing. Agr. Federico PIATTI
EEA-INTA Manfredi
5988-MANFREDI

Ing. Agr. Omar POLIDORO
EEA-INTA Paraná
Casilla de Correo Nro. 31
2700-PERGAMINO

Ing. PORTERO
PRODUSEM
Rutas 188 y 32
2700-PERGAMINO

Ing. Agr. Alberto PRINA
INTA Castelar
1712-CASTELAR

Agr. Victorino RAMOS
EEA-INTA Paraná
Casilla de Correo Nro. 128
3100-PARANA

Agr. José H. SALINES
EEA-INTA Marcos Juárez
Casilla de Correo Nro. 21
2580-MARCOS JUAREZ

Ing. Agr. Roberto SÁNCHEZ
EEA-INTA Manfredi
5988-MANFREDI

Ing. Agr. Oscar SILVERO SAEZ
EEA-INTA Paraná
Casilla de Correo Nro. 128
3100-PARANA

Dr. Victorio TRIPPI
Laboratorio de Fisiología Vegetal
Casilla de Correo 395
5000-CORDOBA

Ing. Agr. Evito TOMBETTA
Casilla de Correo Nro. 21
2580-MARCOS JUAREZ

Brasil

Ing. Manoel C. BASSOI
OCEPAR
Caixa Postal 1203
85800 CASCAVEL, PR

Ing. Milton COSTA MEDEIROS
CNPT-EMBRAPA
Br. 285-Km 174
Caixa Postal 569
99100 PASSO FUNDO, RS

Ing. Lauro A. OKUYAMA
IAPAR
Caixa Postal 1331
LONDRINA, PR

Dr. Carlos RIEDE
IAPAR
Caixa Postal 1331
LONDRINA, PR

Ing. Joaquim SOARES SOBRINHO
UEPAE Dourados
Caixa Postal 661
79800 DOURADOS, MS

Chile

Ing. Mario MELLADO ZUMBRANO
INIA
Estación Experimental Quillamapu
Casilla 426
Chillán
SANTIAGO

Dr. Ignacio RAMIREZ
INIA
E.E. La Platina
Casilla de Correo Nro. 5427
SANTIAGO

Mexico

Dr. Sanjaya RAJARAM
CIMMYT
Lisboa 27, Apdo. Postal 6-641
Col. Juárez, Deleg. Cuauhtémoc
06600 MEXICO, D.F.

Paraguay

Dr. Girma BEKELE
CIMMYT
Casilla de Correo 1170
ASUNCION

Dr. Man Mohan KOHLI
CIMMYT
Programa de Trigo
Casilla de Correo 1170
ASUNCION

Dr. Ricardo PEDRETTI
Ministerio de Agricultura
Pte. Franco 472
ASUNCION

Dr. Patrick WALL
CIMMYT
Casilla de Correo 1170
ASUNCION

Syria

Dr. Edmundo ACEVEDO
ICARDA/CIMMYT
Cereal Improvement Program
P.O. BOX 5466
ALEPPO

Dr. Guillermo ORTIZ
ICARDA/CIMMYT
Cereal Improvement Program
P.O. BOX 5466
ALEPPO

ISBN 968-6127-59-3



Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo
International Maize and Wheat Improvement Center
Lisboa 27, Apartado Postal 6-641, 06600 México, D.F. México