



INSTITUTO
NACIONAL DE
INVESTIGACIÓN
AGROPECUARIA

URUGUAY



ADAPTACIÓN DE CULTIVOS DE INVIERNO, TRIGO Y CEBADA A LA ZONA AGRÍCOLA DEL NORESTE DE URUGUAY

Agosto, 2012

SERIE
TÉCNICA

200

INIA

ADAPTACIÓN DE CULTIVOS DE INVIERNO, TRIGO Y CEBADA A LA ZONA AGRÍCOLA DEL NORESTE DE URUGUAY

Autores: Deborah Gaso¹
Andres Berger¹
Wilfredo Ibañez²
Sergio Ceretta³

¹Ecofisiología de Cultivos, Programa Nacional de Cultivos de Secano. INIA La Estanzuela.

²Consultor de Estadística.

³Mejoramiento de soja, Programa Nacional de Cultivos de Secano. INIA La Estanzuela.

Título: ADAPTACIÓN DE CULTIVOS DE INVIERNO, TRIGO Y CEBADA A LA
ZONA AGRÍCOLA DEL NORESTE DE URUGUAY

Autores: Deborah Gaso
Andres Berger
Wilfredo Ibañez
Sergio Ceretta

Serie Técnica N° 200

© 2012, INIA

Editado por la Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología del INIA
Andes 1365, Piso 12. Montevideo - Uruguay
<http://www.inia.org.uy>

Quedan reservados todos los derechos de la presente edición. Esta publicación no se
podrá reproducir total o parcialmente sin expreso consentimiento del INIA.

Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria

Integración de la Junta Directiva

Ing. Agr., MSc., PhD. Álvaro Roel - Presidente

Ing. Agr., Dr. Mario García Petillo



Dr. Álvaro Bentancur

Dr. MSc. Pablo Zerbino



Ing. Agr. Joaquín Mangado

Ing. Agr. Pablo Gorriti



CONTENIDO

Página

INTRODUCCIÓN	1
SECCIÓN 1. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DE LA REGIÓN NORESTE	3
Materiales y Métodos	3
Resultados	3
SECCIÓN 2. ESTIMACIÓN DEL RENDIMIENTO ALCANZABLE PARA CULTIVOS DE TRIGO Y CEBADA EN LA REGIÓN NORESTE	13
Materiales y Métodos	13
Resultados	16
Trigo ciclo largo	16
Trigo ciclo intermedio	20
Cebada	23
CONCLUSIONES	25
AGRADECIMIENTOS	27
BIBLIOGRAFÍA	27

ADAPTACIÓN DE CULTIVOS DE INVIERNO, TRIGO Y CEBADA A LA ZONA AGRÍCOLA DEL NORESTE DE URUGUAY

INTRODUCCIÓN

La agricultura en Uruguay ha experimentado un proceso de intensificación y expansión, desplazándose desde las zonas tradicionales del litoral-sur hacia el centro, norte y noreste. La expansión hacia el área noreste (Tacuarembó, Cerro Largo y Rivera) es relativamente reciente, acompañando en la rotación de cultivos la expansión del cultivo de soja. Viabilizar la producción de cultivos de invierno en el noreste resulta por lo tanto importante a los efectos de consolidar las rotaciones agrícolas en la región. No obstante, debido a las características climáticas y edáficas de la zona noreste, la viabilidad de los cultivos de invierno presenta una serie de interrogantes.

La baja aptitud climática para cultivos de invierno en la zona norte del Uruguay, fue reportada hace ya varias décadas. Tavella, 1969 mostraba que los rendimientos medios de trigo bajan de sur a norte y su variación se incrementa. Corsi, 1982 realiza la caracterización agroclimática para trigo en el Uruguay, donde se observa que en la zona noreste confluyen las cuatro regiones de aptitud para la producción de trigo.

Un estudio para el período 1980-2009 (Castaño *et al.*, 2010) indica que las principales diferencias climáticas de la zona noreste respecto al litoral-sur son: mayores temperaturas medias y máximas en el período de abril a noviembre (diferencias de 1-2 °C), mayor precipitación acumulada en el período comprendido entre junio y diciembre y mayor probabilidad de ocurrencia de últimas heladas.

Es conocido que los elementos climáticos de mayor interés para la formación y

concreción de altos potenciales de rendimiento en los cultivos de inviernos son: temperatura del aire y radiación solar durante la etapa de llenado de grano, riesgo de ocurrencia de últimas heladas (temperaturas mínimas entorno a espigazón - floración) y precipitaciones durante el ciclo del cultivo.

En cebada, altas temperaturas durante las etapas vegetativas reducen el número final de macollos, mientras que temperaturas bajas permiten una mayor sobrevivencia de los macollos (Kirby y Riggs, 1978; Garcia del Moral y Garcia del Moral, 1995). El estrés térmico por altas temperaturas entorno a espigazón - antesis, reduce el tamaño de grano y es una fuente importante de variación en el rendimiento (Calderini *et al.*, 1999, 2001). Se ha reportado que las altas temperaturas durante el llenado de grano de cebada afectan el peso individual y el rendimiento en grano (Sofield *et al.*, 1977; Savin y Nicolas, 1996).

El coeficiente fototérmico (CFT), se ha utilizado como un índice climático de producción vegetal. El CFT se define como la relación entre la radiación y la diferencia entre la temperatura media y la temperatura base. Dentro de los límites normales de temperatura, el CFT es una medida de crecimiento durante una unidad de desarrollo. Por tanto, un mayor CFT determinara mayor número de granos por metro cuadrado y mayor rendimiento (Nix, 1976 citado por Wall, 1997). En la medida que en la zona noreste las temperaturas medias en los meses de primavera son mayores, el CFT será menor, y por tanto habrá menor acumulación de fotosintatos en floración y en llenado de grano.

Por otra parte la mayor probabilidad de ocurrencia de últimas heladas en esta zona

sería otro elemento a considerar en la adaptación de los cereales de invierno a las nuevas zonas. Las etapas de espigazón y floración son los momentos de mayor sensibilidad al estrés por bajas temperaturas ($< 0^{\circ}\text{C}$). (Single y Marcellos, 1974, citados por Săulescu, N. N y Braun, H. J. 2001). Por lo tanto es relevante el momento de ocurrencia de dicha etapa fenológica en función del régimen de últimas heladas.

En lo referente a las condiciones edáficas para los cultivos de invierno, se debe mencionar que según la clasificación de la Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay (Uruguay MGAP, 1979), la mayoría de los suelos con aptitud agrícola de la zona noreste, el drenaje interno es de moderado a imperfecto y la permeabilidad es predominantemente lenta. Por otra parte, en reuniones con técnicos de trayectoria en la zona, se menciona de forma recurrente que en los suelos del noreste ocurren períodos prolongados con excesos hídricos que comprometen el buen desempeño de los cultivos de invierno. El efecto depresivo del rendimiento ocasionado por las condiciones de anegamiento en trigo y cebada ha sido ampliamente reportado. Las especies de trigo y cebada están clasificadas como tolerantes al anegamiento, logrando sobrevivir por cortos períodos (Larcher, 1995). Por efecto del exceso hídrico se pueden generar condiciones de hipoxia (bajo contenido de O_2 1-5 kPa) o de anoxia (anaerobiosis < 1 kPa) (Larcher, 1995). En cereales de invierno los efectos de una pobre aireación ocasionan restricciones en el crecimiento de las raíces, reducción en la acumulación de materia seca, depresión del macollaje, retraso en la maduración y menor rendimiento de grano (Varade *et al.*, 1970; Sojka *et al.*, 1975; Leyshon y Sheard, 1974; Watson *et al.*, 1976; Drew y Sisworo, 1977; Trought y Drew, 1980 a,b, citados por Belford, 1981). Es conocida la mayor sensibilidad al exceso hídrico

de la cebada con respecto al trigo. En un estudio a cerca de los efectos del anegamiento sobre el crecimiento y rendimiento en trigo y cebada, se detectó que ambas especies tuvieron pérdidas de rendimiento, pero la cebada manifestó una mayor sensibilidad, mostrando amarillamiento y senescencia de hojas (Cannell *et al.*, 1984).

En general en el Uruguay, el régimen pluviométrico y la estacionalidad de la demanda atmosférica, determinan un balance de agua en el suelo con excesos durante los meses invernales. Los suelos del noreste con problemas de permeabilidad y drenaje interno, que adicionalmente tienen promedios mayores de precipitaciones durante el invierno, acentúan el efecto de estos excedentes.

Los objetivos de esta red de ensayos consistieron en: 1. Caracterizar desde el punto de vista climático el área agrícola del noreste en relación a la producción de cultivos de invierno; 2. Determinar el rango de rendimiento alcanzable en la zona noreste y estudiar la existencia de variedades con características de adaptación específica a esos ambientes productivos. A tales efectos se implementó una red de ensayos en ambiente múltiples durante un período de tres años donde se realizó un seguimiento detallado (mediciones diarias) de variables agroclimáticas y se determinó el rendimiento de grano y la expresión de otras variables de importancia agronómica. La metodología de trabajo y los resultados obtenidos se reportan a continuación en la Sección 1 (referente al Objetivo 1) y en la Sección 2 (referente al Objetivo 2). La investigación fue parcialmente financiada por el proyecto «*Bases fisiológicas para la mitigación de la vulnerabilidad de los sistemas productivos agrícolas (arroz, cebada, cítricos, forestales) ante estrés abióticos causados por el cambio climático en Uruguay*», Fondo Concursable Interno, INIA.

SECCIÓN 1. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DE LA REGION NORESTE

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante los años 2008 - 2009 y 2010 se instaló una red de ensayos de trigo y cebada, con 3 sitios experimentales en la zona noreste y un sitio de «referencia» en la zona litoral-sur. Los ensayos de la zona noreste se ubicaron en: Vichadero (V) en el Dpto. Rivera (31° 38' S, 54° 34' O), Rincón de Pereira (RP) en el Dpto. Tacuarembó (32° 22' S, 55° 17' O) y Melo (M) en el Dpto. Cerro Largo (32° 21' S; 54° 31' O). En el año 2008 el ensayo de la zona litoral-sur se ubicó en la localidad de Dolores (D) en el Dpto. de Soriano y en los 2 últimos años en la Estación Experimental del INIA La Estanzuela (LE) en el Dpto. de Colonia.

Para caracterizar las condiciones climáticas de la región se utilizaron registros diarios colectados en las estaciones meteorológicas de DNM, INIA, y las redes de estaciones meteorológicas de Argentina y Brasil, disponibles a través del servicio NCDC-NOAA (GSOD) para el periodo 1975-2011. Los datos faltantes fueron inferidos utilizando componentes principales bayesianos de los desvíos respecto a la serie de referencia (LE).

En cada sitio experimental se instalaron sensores para registrar en forma horaria variables agro-climáticas de interés para los cereales de invierno: temperatura media del aire, humedad relativa y duración de los períodos de anegamiento a través de las medidas del contenido volumétrico de agua en el suelo a tres profundidades (8, 16 y 32cm).

RESULTADOS

Para la caracterización climática de la región se analizaron aquellas variables de mayor relevancia en la producción de los cereales de invierno: temperatura media del aire, riesgo de ocurrencia de últimas heladas y precipitación.

En la Figura 1 se presentan los promedios históricos de temperatura media del aire

para las estaciones de Melo, Rivera, Tacuarembó, Mercedes y La Estanzuela y los desvíos respecto a La Estanzuela, para la serie 1975-2011. Las temperaturas medias de la región noreste (Rivera, Tacuarembó, Melo) son en promedio superiores a las registradas en La Estanzuela durante todo el año, pero particularmente durante el invierno. En los meses estivales las diferencias entre La Estanzuela, Melo y Tacuarembó son menores que durante el resto del año, no siendo así para Rivera (Figura 1).

En la Figura 2 se presentan las temperaturas decádicas en los 3 años (2008, 2009 y 2010) para cada sitio experimental: RP=Rincón de Pereira, V=Vichadero, M = Melo y LE=La Estanzuela. Durante los años en que se desarrolló la red de experimentos, el régimen térmico presentó algunas desviaciones respecto a la media histórica característica. El año 2008 se caracterizó por presentar una primavera notoriamente más cálida que lo normal en todas las localidades. En tanto, los años 2009 y 2010 se caracterizaron por presentar inviernos más frescos que lo normal, particularmente en las localidades del noreste (Rivera, Melo y Tacuarembó).

La serie de datos también fue utilizada para estimar la probabilidad de ocurrencia de heladas en la región noreste, con particular interés en cuanto al efecto que éstas puedan tener sobre el rendimiento si ocurren durante el período de floración-llenado de grano del cultivo. En la Figura 3 se presenta la probabilidad de ocurrencia de heladas para las estaciones meteorológicas de Tacuarembó, Melo y La Estanzuela. Cada curva se corresponde con la probabilidad de ocurrencia de al menos 1 helada, 2 heladas, 3 heladas y así sucesivamente para la correspondiente fecha. Se hizo este cálculo ya que, si bien es de interés la fecha de ocurrencia de la última helada, también lo es la fecha de ocurrencia de al menos dos heladas, dado que el momento de daño sobre el cultivo pue-

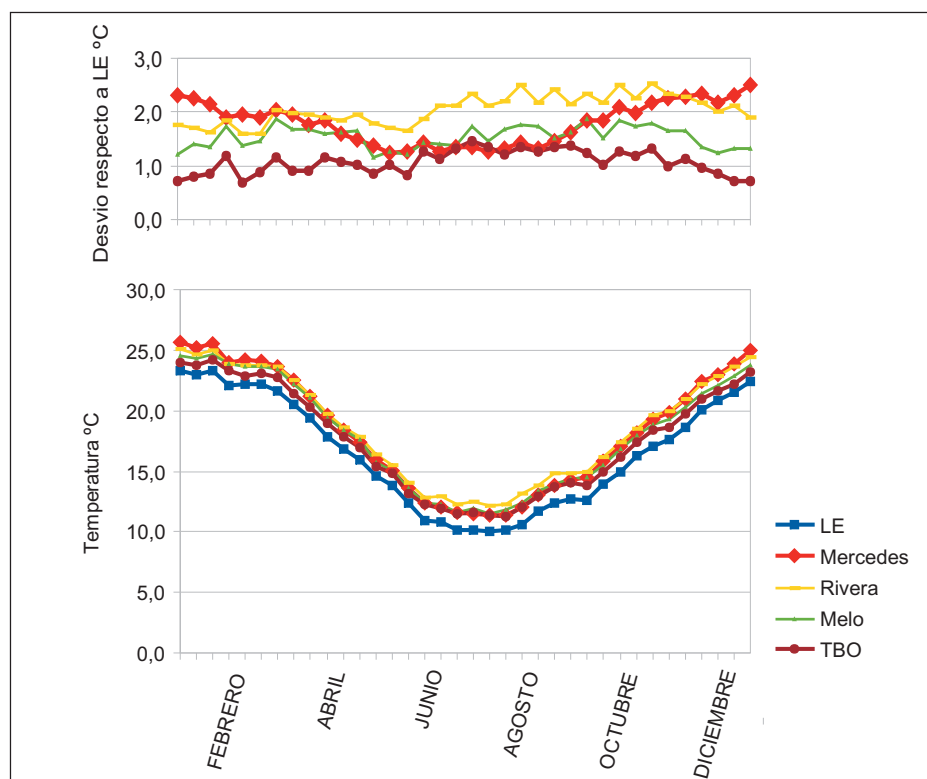


Figura 1. Temperatura media diaria decádica para las estaciones meteorológicas de INIA (TBO, LE) y DNM (Melo, Rivera, Mercedes) durante el período 1975-2011.

4

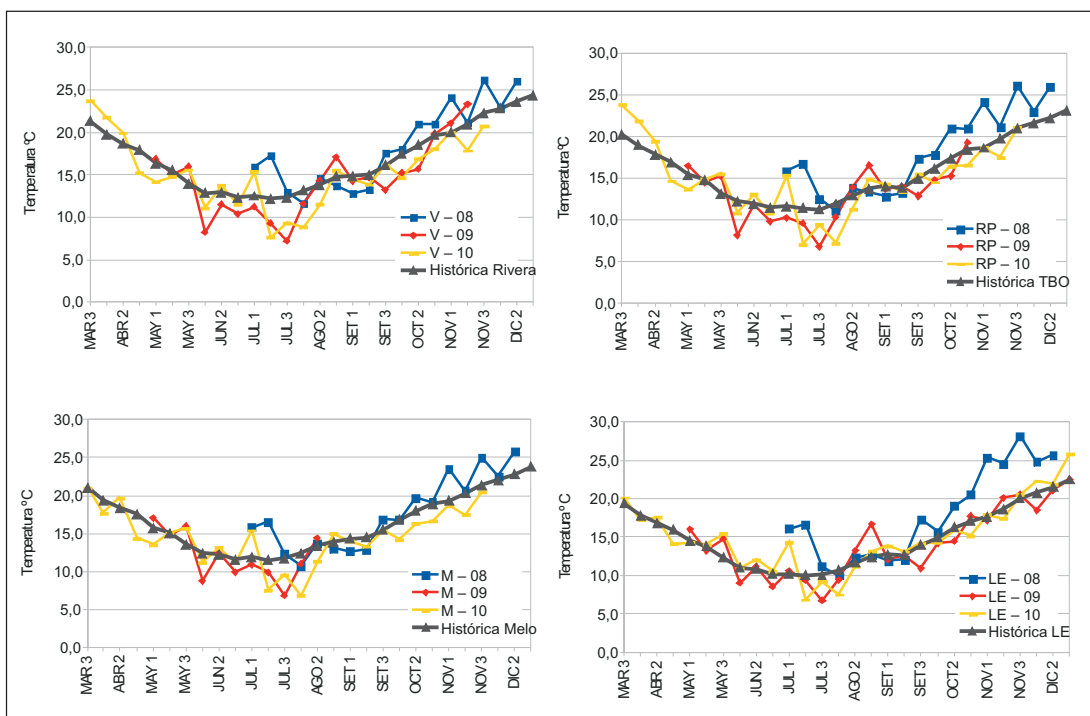


Figura 2. Temperatura media diaria decádica por sitio experimental, por año y promedio histórico (período 1975-2011) de la estación meteorológica mas cercana.

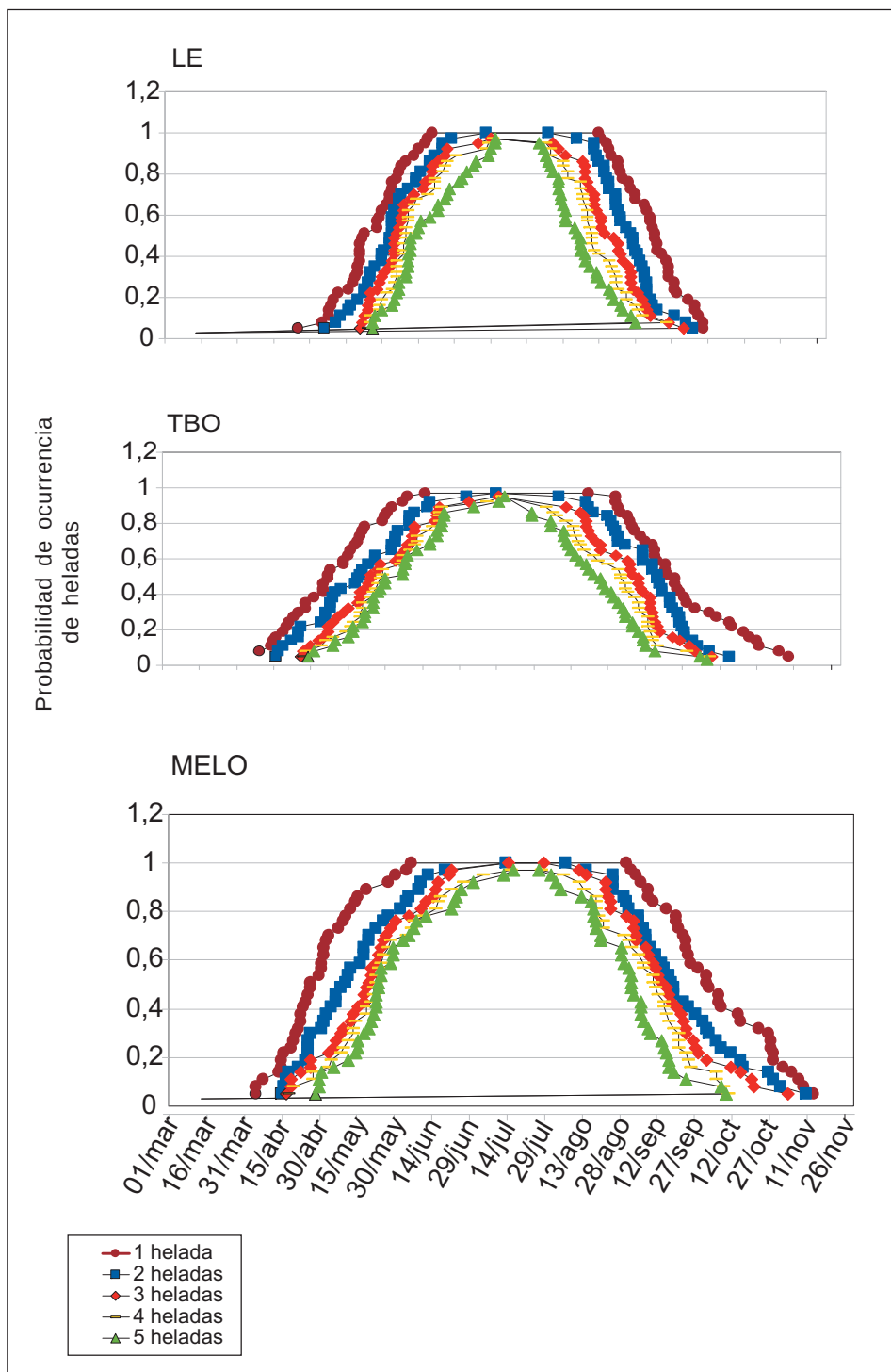


Figura 3. Probabilidad de ocurrencia de una o más heladas para las estaciones meteorológicas de Tacuarembó, Melo y La Estanzuela (1975-2011) según día del año.

de estar enmarcado durante un período muy corto de tiempo (entorno a antesis y la semana posterior a ella) y es relevante saber qué tan separadas están estas fechas en el tiempo. La curva de probabilidad de ocurrencia de una helada indica claramente que la región noreste presenta una mayor probabilidad de ocurrencia de heladas tardías. En los sitios de Tacuarembó y Melo, la curva de probabilidad para una helada está más desplazada hacia los meses de primavera. Con una probabilidad del 20%, la fecha de ocurrencia de la última helada es a mitad y a fines de octubre para Tacuarembó y Melo respectivamente.

Sin embargo, las curvas de probabilidad de ocurrencia de dos, tres, cuatro y cinco heladas, no son marcadamente distinta a La Estanzuela. Esto sugiere que en el noreste existe un mayor riesgo de ocurrencia de heladas tardías que no necesariamente está asociado a un desplazamiento (hacia épocas más tardías) de los períodos de ocurrencia de heladas frecuentes.

Las Figuras 4 y 5 se presentan las estimaciones de fecha (día del año) de ocurrencia de la última y ante-última helada para el territorio uruguayo y sus regiones fronterizas. En el mismo sentido que ya fue discutido para las curvas de probabilidad de ocurrencia de heladas en localidades del noreste y litoral-sur, se refuerza la idea que la zona noreste y centro del país presentan características particulares en cuanto a la ocurrencia de heladas comparado con oeste y suroeste, donde tradicionalmente se desarrolla la agricultura de invierno. Este factor debería ser considerado al momento de definir las épocas de siembra y las estrategias de cobertura de riesgo de los cultivos frente a heladas.

En años sucesivos se decidió adelantar las fechas de siembra para permitir que el período de implantación y macollaje ocurra antes y escape a los periodos con exceso hídrico, que normalmente se observaron durante el invierno. En las figuras 6, 7, 8 y 9 se observa los periodos en que se ubican las fechas de floración dependiendo de la especie y la fecha de siembra. En el año 2010 fue

donde se exploraron las fechas de siembra más tempranas. Esto obviamente provocó el adelantamiento de los momentos en que ocurrió la floración y en algunos casos expuso al cultivo a heladas. En las Figuras 6, 7 y 8 se observa que las fechas de floración muy tempranas, en períodos de alto riesgo de heladas en la región noreste (mitad de agosto hasta principios de setiembre), se corresponden principalmente con el grupo de trigos de ciclo intermedio y las siembras de fines de abril. Con las temperaturas medias registradas en el año 2010 (que no estuvieron próximas a los promedios históricos), las fechas de floración en las siembras de abril ocurrieron en un período donde el riesgo de heladas es alto. No obstante, en dicho año no se observaron niveles de daños importantes en aquellos cultivares que tuvieron fechas de floración entre fines de agosto y principios de setiembre, ya que la fecha estimada de ocurrencia de última helada según los registros de los sensores de temperatura fue anterior a la fecha mínima registrada de floración en trigo y espigazón en cebada. En las Figuras 6, 7 y 8 se presentan las fechas mínimas y máximas de floración correspondientes a cada fecha de siembra, por año y por grupo de especie. Para las mismas fechas se presentan las temperaturas mínimas por año registradas en cada sitio. Como las temperaturas fueron tomadas a 1,5 m de altura, la línea por encima de 0 °C indica la ocurrencia de helada meteorológica (3,9 °C abrigo meteorológico).

Para los experimentos realizados en La Estanzuela se registró durante el año 2009 la fecha en la que el cultivo alcanzó el estado fenológico de Z22 (dos macollos) y Z30 (inicio de elongación de entrenudos). Dado que el largo del período emergencia hasta Z22 y Z30 está principalmente regulado por la suma térmica, se calculó el largo del período en grados día para cada cultivar asumiendo una temperatura base de cero y 2 °C (recomendada). El cálculo de la suma térmica se realizó de la siguiente forma: $GDD = \sum((T_{max} + T_{min})/2 - T_b)$ (Cuadro 1). Estos valores pueden ser utilizados en el futuro para determinar la ocurrencia de estos estadios fenológicos en base a suma térmica.

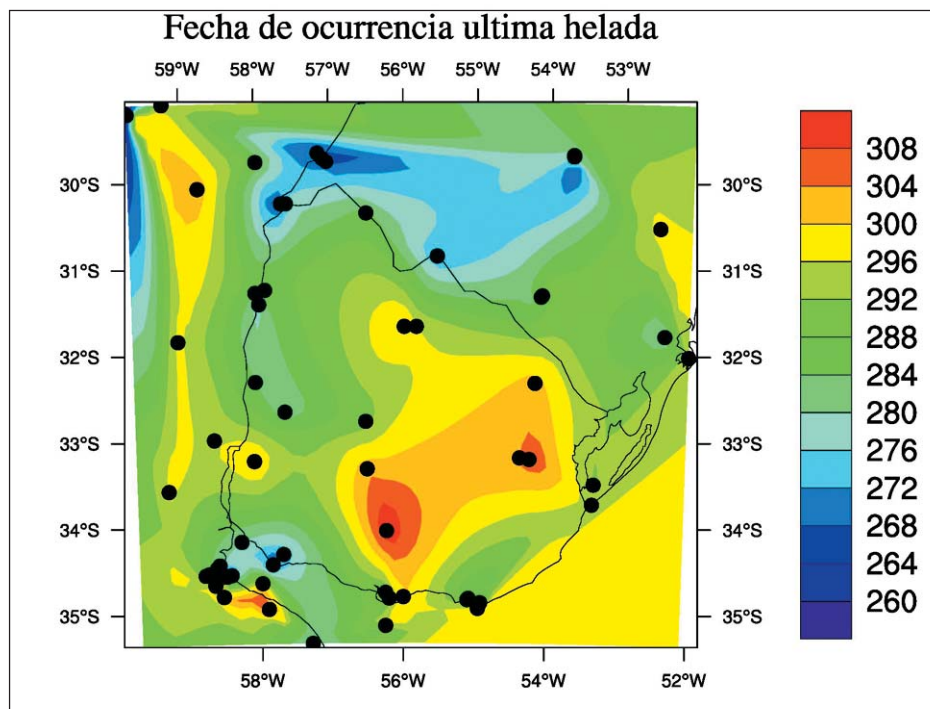


Figura 4. Fecha de ocurrencia (día del año) de la última helada para el territorio Uruguayo y sus zonas fronterizas, estimado para el periodo 1975-2011 con una probabilidad de ocurrencia $P=0.2$. Los puntos indican la ubicación de las estaciones meteorológicas utilizadas.

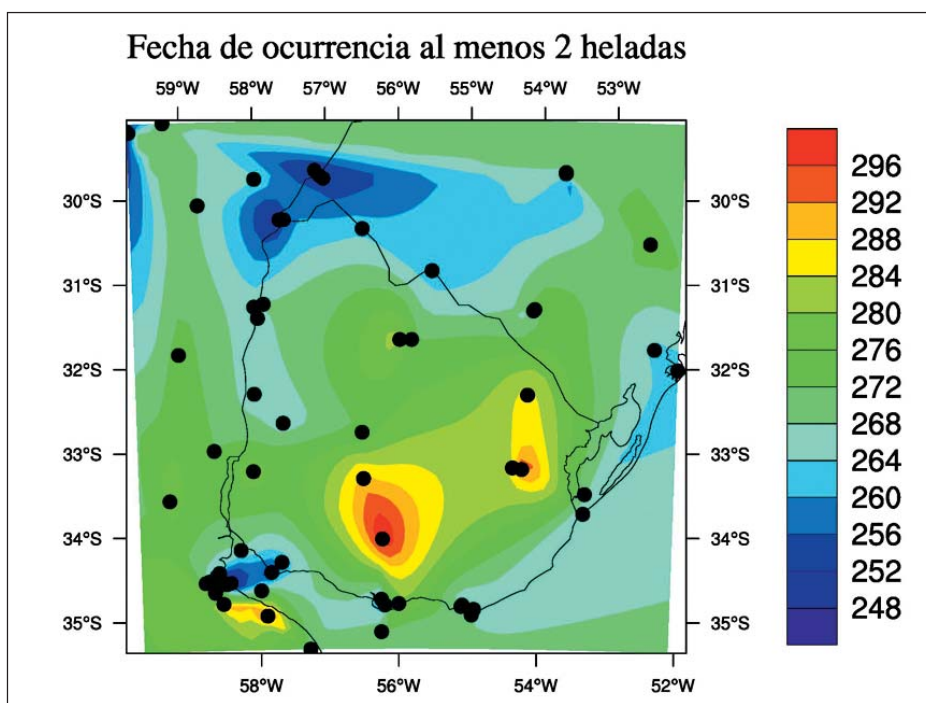


Figura 5. Fecha de ocurrencia (día del año) de la ante-última helada para el territorio uruguayo y sus zonas fronterizas, estimado para el periodo 1975-2011 con una probabilidad de ocurrencia $P=0.2$. Los puntos indican la ubicación de las estaciones meteorológicas utilizadas.

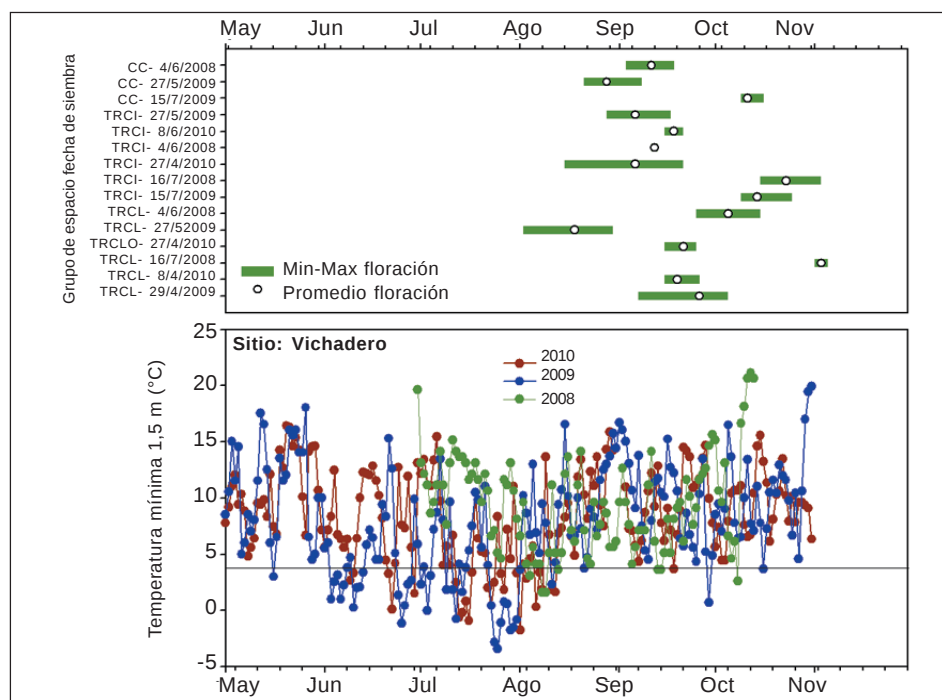


Figura 6. Fecha promedio, mínimo y máximo de floración para Vichadero por grupo de especie y fecha de siembra y temperaturas mínimas (2 m altura) observadas cada año. La línea indica la temperatura mínima en abrigo meteorológico a la cual se considera ocurre helada, 3,9 °C (Castaño *et al.*, 2011).

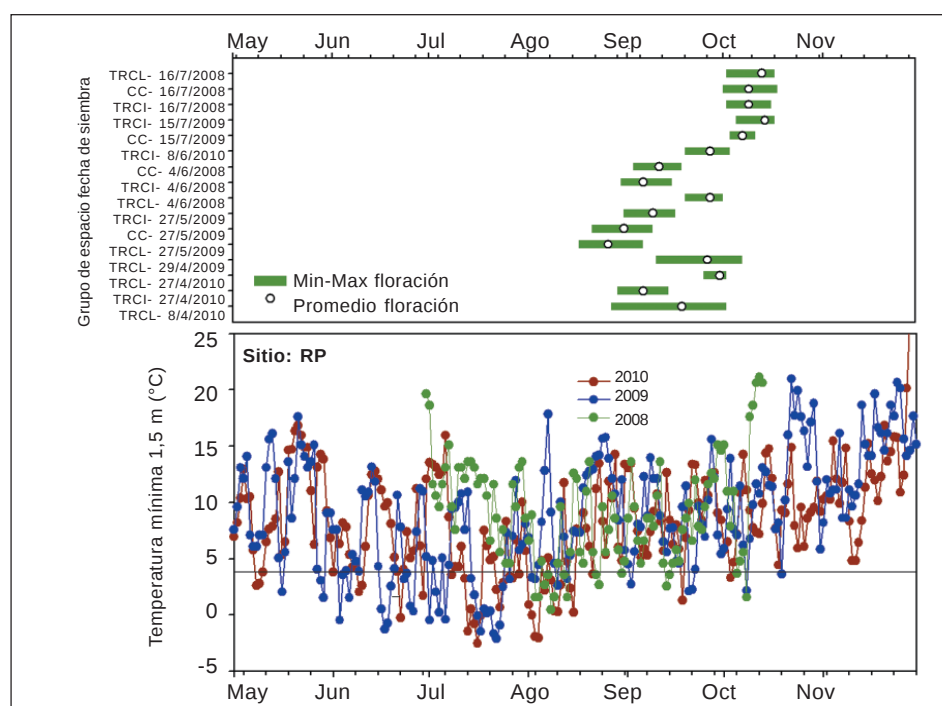


Figura 7. Fecha promedio, mínimo y máximo de floración para RP por grupo de especie y fecha de siembra y temperaturas mínimas (2 m altura) observadas cada año. La línea indica la temperatura mínima en abrigo meteorológico a la cual se considera ocurre helada, 3,9 °C (Castaño *et al.*, 2011).

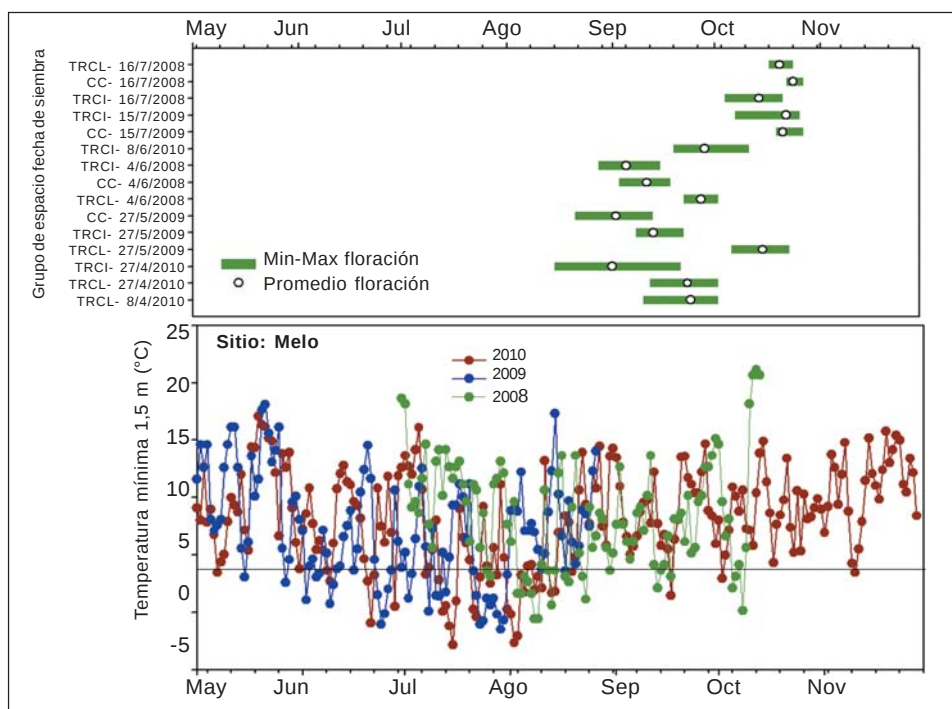


Figura 8. Fecha promedio, mínimo y máximo de floración para Melo por grupo de especie y fecha de siembra y temperaturas mínimas (2 m altura) observadas cada año. La línea indica la temperatura mínima en abrigo meteorológico a la cual se considera ocurre helada, 3,9 °C (Castaño *et al.*, 2011).

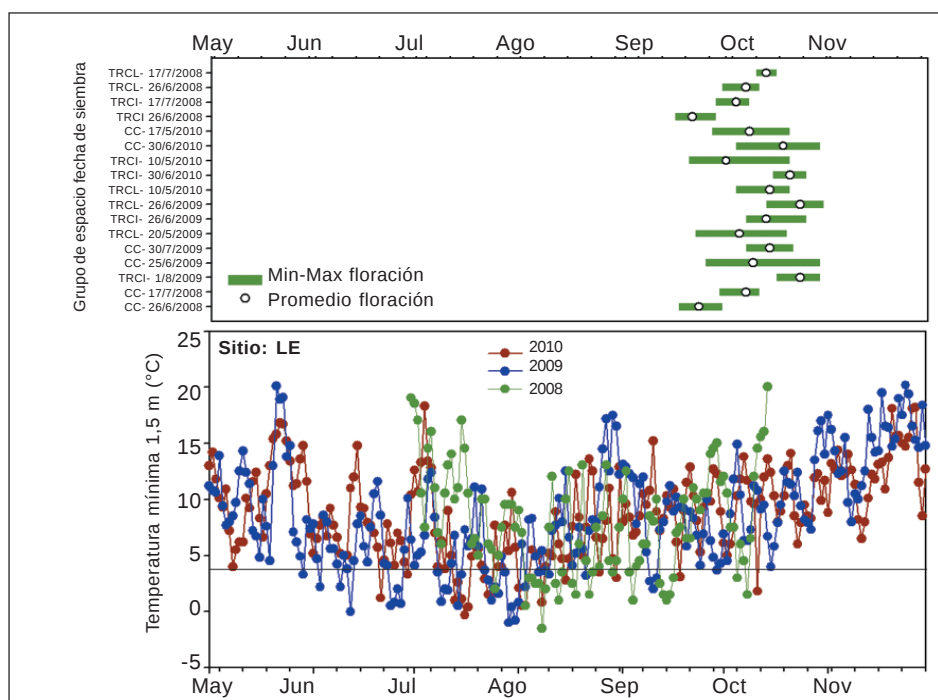


Figura 9. Fecha promedio, mínimo y máximo de floración para LE por grupo de especie y fecha de siembra y temperaturas mínimas (2 m altura) observadas cada año. La línea indica la temperatura mínima en abrigo meteorológico a la cual se considera ocurre helada, 3,9 °C (Castaño *et al.*, 2011).

Cuadro 1. Sumas térmicas para alcanzar los estadios de Z22 y Z30 desde emergencia observados en 2009 en La Estanzuela

Cultivar	Suma Térmica a Z 22 (°Gd)				Suma Térmica a Z 30 (°Gd)		
	Emergencia	Fecha Z 22	Tb = 2 °C	Tb = 0 °C	Fecha Z30	Tb = 2 °C	Tb = 0 °C
NOGAL	jun 26	jul 24	214	273	sep 03	636	776
LE 2325 (INIA CHIMANGO)	jun 26	jul 29	239	301	sep 02	624	762
LE 2358	jun 26	jul 29	239	301	sep 03	636	776
LE 2360	jun 26	jul 26	226	288	sep 02	624	762
LE 2210 (INIA TIJERETA)	jun 26	jul 27	231	295	sep 06	672	818
LE 2346	jun 26	jul 30	241	311	sep 04	647	789
BAGUETTE 19	jun 26	jul 30	241	311	sep 05	661	805
BAGUETTE PREMIUM 11	jun 26	jul 24	214	273	sep 02	624	762
BIOINTA 3000	jun 26	jul 29	239	301	sep 03	636	776
FAD 4077 (BUCK TAITA)	jun 26	jul 27	231	295	sep 04	647	789
LE 2313 (INIA GARZA)	jun 26	jul 28	235	301	sep 07	679	827
LE 2359	jun 26	jul 25	219	279	sep 03	636	776
LE 2332 (INIA MADRUGADOR)	ago 01	ago 27	290	344	sep 12	474	560
KLEIN NUTRIA	ago 01	ago 25	252	302	sep 10	453	535
LE 2350	ago 01	ago 26	272	324	sep 16	520	614
KLEIN CASTOR	ago 01	ago 29	332	390	sep 10	453	535
BIOINTA 1004	ago 01	ago 28	311	367	sep 12	474	560
CRISTALINO (FAD 4026)	ago 01	ago 29	332	390	sep 12	474	560
LE 2331 (INIA DON ALBERTO)	ago 01	ago 28	311	367	sep 18	539	638
BUCK METEORO (FAD 4047)	ago 01	ago 30	344	404	sep 18	539	638
KLEIN TIGRE	ago 01	ago 29	332	390	sep 12	474	560
KLEIN TAURO	ago 01	sep 01	367	431	sep 14	499	589
BIOINTA 1001	ago 01	ago 29	332	390	sep 16	520	614
LE 2333 (INIA CARPINTERO)	ago 01	ago 25	252	302	sep 18	539	638
BAGUETTE PREMIUM 9	ago 01	ago 28	311	367	sep 18	539	638
LE 2354	ago 01	ago 30	344	404	sep 18	539	638
CLE 250	jul 30	ago 27	297	355	sep 18	547	649
CLE 240 (INIA GUAVIYU)	jul 30	ago 25	259	313	sep 11	470	558
CLE 233 (INIA ARRAYAN)	jul 30	ago 26	279	335	sep 18	547	649
MUSA 936	jul 30	ago 24	242	294	sep 14	506	600
CLE 247	jul 30	ago 24	242	294	sep 10	460	546
MADI	jul 30	ago 24	242	294	sep 16	527	625
ALICIANA (FS 7019)	jul 30	ago 23	227	277	sep 16	527	625
CONCHITA (FS 7037)	jul 30	ago 24	242	294	sep 17	537	637
04 59 531	jul 30	ago 26	279	335	sep 14	506	600
CLE 262	jul 30	ago 27	297	355	sep 10	460	546
NORTEÑA CARUMBE	jul 30	ago 26	279	335	sep 10	460	546
NORTEÑA DAYMAN	jul 30	ago 24	242	294	sep 12	481	571
YUKATA (FS 7038)	jul 30	ago 23	227	277	sep 14	506	600
PERÚN	jul 30	ago 26	279	335	sep 18	547	649
ND 17293 (AMBEV 293)	jul 30	ago 25	259	313	sep 10	460	546
CLE 202 (INIA CEIBO)	jul 30	ago 23	227	277	sep 17	537	637

El régimen pluviométrico tuvo particularidades especiales todos los años. En el 2009 se caracterizó por recibir precipitaciones levemente inferiores a lo normal durante el otoño e invierno y ampliamente superiores a lo normal durante la primavera. Esto último afectó marcadamente la calidad a cosecha tanto en trigo como en cebada. El año 2010 fue más seco de lo normal durante toda la estación de crecimiento pero sobre todo durante el otoño y la primavera. Tanto en 2009 como en 2010, la siembra en las fechas más tem-

pranas fue realizada en condiciones de baja humedad en el suelo y en algunos casos las emergencias fueron levemente inferiores a lo esperado (Figura 10).

Los registros de los sensores de humedad permitieron cuantificar el balance de agua en el suelo en ese punto e identificar la recarga por precipitación, el drenaje y la extracción de agua por las plantas. También permitió identificar aquellos momentos en que posiblemente se presentaron condiciones de anegamiento (asumiendo al menos un 5% del

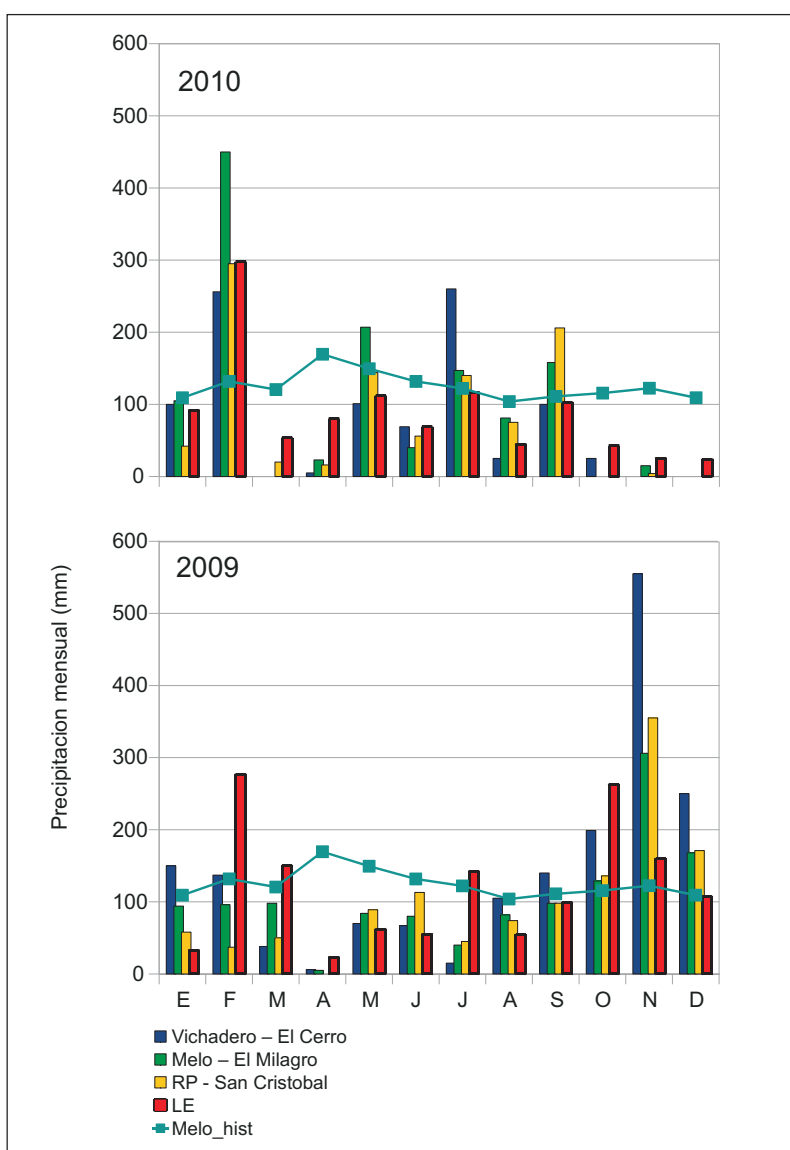


Figura 10. Precipitaciones ocurridas en los sitios experimentales durante 2009 y 2010 y promedio histórico para la estación meteorológica de Melo.

espacio poroso ocupado por aire para evitar condiciones de anegamiento). Los resultados corresponden a una ubicación dentro de la chacra, que si bien fue muy bien seleccionada y monitoreada, no es representativa de la variabilidad que existe dentro de la chacra y los resultados solo pueden ser considerados como indicativos de las tendencias esperables. En la figura 11 se presentan los días con anegamiento para cada sitio y año, cada punto corresponde a un día con el suelo anegado, el número entre paréntesis indica la cantidad total de días que el suelo permaneció anegado en cada sitio y año.

Las condiciones de anegamiento no fueron tan evidentes en 2010 como lo fueron en 2009, posiblemente debido a que en 2010 ocurrieron menores precipitaciones. Mientras que el suelo estuvo posiblemente en condiciones de anegamiento a 32 cm durante gran

parte del tiempo en LE y RP, los períodos en que se observa saturación en todas las profundidades simultáneamente fueron en general pocos y cortos. En M y V ocurrieron períodos más largos y más frecuentes durante julio-setiembre en que el suelo se observó saturado en todas las profundidades simultáneamente, aún cuando intermitentemente inclusive las capas más profundas del suelo dejaban de estar saturadas.

Estos resultados verifican diferencias importantes en las condiciones de drenaje de los suelos entre las localidades del noreste y LE, que coinciden con el potencial productivo observado y la sensibilidad a la fecha de siembra. En aquellos sitios en los cuales es probable que ocurran condiciones de anegamiento, se debería esperar mayores pérdidas por lavado y/o denitrificación que disminuyen la eficiencia de utilización del nitrógeno.

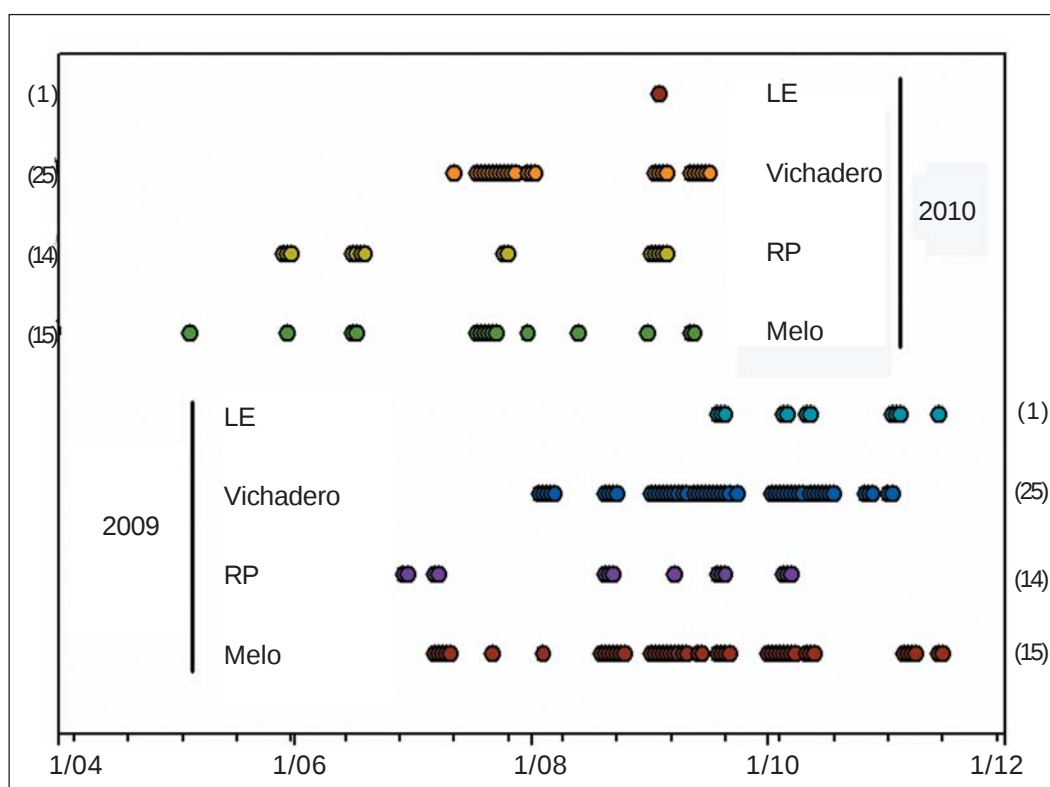


Figura 11. Días con anegamiento durante el período de crecimiento del cultivo, para cada localidad y año.

SECCIÓN 2. ESTIMACIÓN DEL RENDIMIENTO ALCANZABLE PARA CULTIVOS DE TRIGO Y CEBADA EN LA REGIÓN NORESTE

MATERIALES Y MÉTODOS

Como ya fue mencionado en la sección anterior, la red de ensayos para explorar el rendimiento alcanzable en las nuevas zonas agrícolas se ejecutó durante los años 2008-2009 y 2010 en los departamentos de Rivera, Cerro Largo y Tacuarembó. En los sitios seleccionados en la zona noreste (V, M, RP) se buscó representar diferentes situaciones edáficas sobre las cuales se expandió la agricultura (Cuadro 2). Las unidades de suelo en que se ubicaron los ensayos fueron: Paso Cohelo (grupos CONEAT 13.4); Arroyo Blanco (grupos CONEAT 6.15) y Arroyo Hospital (grupos CONEAT 6.5).

En cada sitio experimental se instalaron ensayos de trigo y cebada, en 2 épocas de siembra. En el transcurso de los tres años que duró esta red, se fueron haciendo ajustes paulatinos en el manejo de los ensayos tendientes a mejorar la calidad de la información obtenida y la eficiencia del uso de los recursos. Los cambios introducidos se relacionaron fundamentalmente con: 1- la separación de los cultivares de trigo de acuerdo a su ciclo en dos ensayos a partir de la siembra 2009 (Trigos de Ciclo Largo y Trigos de Ciclo Corto). 2- el ajuste paulatino de las fechas de siembra tanto para trigo como para cebada. Este adelanto de las fechas de siembra obedeció a la necesidad de ir delimitando una «ventana» óptima de fechas de siembra que permitiera la mejor expresión del rendimiento. Se realizó un primer adelanto

de las fechas de siembra en 2009 respecto a lo ejecutado en 2008 y nuevamente en 2010 respecto a lo ejecutado en 2009 (Cuadro 3). En dicho cuadro se presentan en forma esquemática la ubicación de las épocas de siembra en cada uno de los años. 3- el número y tipo de cultivares utilizados. En los años 2 y 3, las épocas de siembra de TRCL no coinciden con las de TRCI y CB; la época 1 de TRCI y CB se corresponde con la época 2 de TRCL. Durante el primer año se utilizaron 13 genotipos de trigo y 11 de cebada; en el segundo año se utilizaron 26 materiales de trigo y 16 de cebada y en el tercer año se utilizaron 22 materiales de trigo y 10 de cebada. A la vez que se fueron incorporando nuevos cultivares, otros fueron dados de baja. La decisión de los genotipos a incorporar o a dar de baja de la red se tomó en función de los resultados que se iban obteniendo y de las decisiones de cada criadero que participó y co-financió esta red de ensayos. En el Cuadro 4 se presentan una lista de los cultivares que participaron en los ensayos y los años que estuvieron presentes.

Debido a que no se contaba con la información de la totalidad de las épocas en los años, se intentó ser concluyente en este aspecto a través del análisis dentro de cada año. Por lo tanto los resultados que se presentan para época de siembra provienen del análisis por año.

Se intentó que los genotipos expresaran el potencial en los ambientes que se generaron, por lo que se realizó control total de

Cuadro 2. Características de los suelos en que se instalaron los ensayos en el noreste en los dos años de la red

Sitio	Año	Unidad de suelo	Grupo CONEAT	% Arena	% Limo	Textura % Arcilla	Clasificación	C org	Bray I µg P/g	PMN mg/Kg N-NH ₄	Ca meq/100g	Mg meq/100g	K meq/100g	Na meq/100g	A.Tit. meq/100g	ClCpH ₇ meq/100g	Bases T. meq/100g	% Sat Bases
M	1	Arroyo Blanco	6.15	----	----	----	Limo Arc	2,80	16,1	----	----	----	----	----	----	----	----	----
	2	Arroyo Blanco	6.15	44	28	28	Franca	1,73	2,8	----	9,3	3,7	0,26	0,30	----	----	13,6	----
	3	Arroyo Blanco	6.15	57	25	19	Franco Arenosa	2,06	2,4	35	7,8	1,3	0,39	0,16	3,8	13,4	9,6	71,9
V	1	Arroyo Hospital	6.5	----	----	----	Franca	1,4	4,5	----	----	----	----	----	----	----	----	----
	2	Arroyo Hospital	6.5	29	37	34	Franca	1,42	2,6	----	9,1	5,3	0,53	0,70	----	----	15,6	----
	3	Arroyo Hospital	6.5	51	28	22	Franco Arenosa	1,51	2,9	31	4,4	1,2	0,31	0,15	4,6	10,7	6,1	57,2
RP	1	Paso Cohelo	13.4	----	----	----	Limo Arc	2,4	6,0	----	----	----	----	----	----	----	----	----
	2	Paso Cohelo	13.4	33	35	32	Franca	1,73	5,8	----	15,6	6,3	0,52	0,17	----	----	22,6	----
	3	Paso Cohelo	13.4	29	47	24	Franca	2,06	3,4	30	----	----	0,5	----	----	----	----	----

RP=Rincón de Pereira, V=Vichadero, M = Melo.

Cuadro 3. Fecha de siembra por grupo de especie para cada año.

Mes											
Abril				Mayo			Junio			Julio	
Décadas				Décadas			Décadas			Décadas	
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
2008							TR 1 y CC 1			TR 2 y CC 2	
2009			TRCL 1			TRCL 2 TRCI 1 y CC 1			TRCI 2 y CC 2		
2010	TRCL 1		TRCL 2 TRCI 1 y CC 1			TRCI 2 y CC 2					

TR 1= Trigo (Ciclo Largo y Trigo Intermedio) Época 1; TR 2= Trigo (Ciclo Largo y Trigo Intermedio) Época 2; CB 1= Cebada Época 1; CB 2= Cebada Época 2; TRCL 1= Trigo Ciclo Largo Época 1; TRCL 2= Trigo Ciclo Largo Época 2; TRCI 1= Trigo Ciclo Intermedio Época 1; TRCI 2= Trigo Ciclo Intermedio Época 2.

factores que inciden en el mismo: deficiencias nutricionales, malezas, plagas y enfermedades.

En los 3 años de la red de ensayos y en todos los sitios experimentales se midieron diariamente las condiciones ambientales con sensores automáticos de temperatura del aire y humedad relativa, instalados a 1,5 m de altura. En los años 2009 y 2010, se determinaron mediante la instalación de sensores de humedad del suelo, los momentos de ocurrencia y la duración de los períodos de anegamiento. En cada uno de los sitios experimentales se instalaron sensores de humedad del suelo a 3 profundidades (0,08, 0,16 y 0,32 m).

El diseño experimental utilizado fue de bloques completos al azar con 3 repeticiones. El tamaño de parcela fue de 6 líneas a una distancia entre hileras de 0,165 m por 5,5 m de largo. Como tratamientos se consideraron los diferentes genotipos de trigo y cebada.

Las determinaciones realizadas fueron: fecha de emergencia, fecha de floración, ciclo en días entre emergencia y floración; altura de planta en Z22, Z30 y floración; crecimiento en el período comprendido entre emer-

gencia y floración (se realizaron cortes del total de la materia seca en 1m lineal, en 6 momentos equidistantes entre emergencia y floración), rendimiento en kg/ha y componentes del rendimiento (peso de mil granos, granos por espiga y espigas por metro cuadrado). El presente trabajo se focaliza en el análisis del rendimiento en grano.

El análisis de los datos de rendimiento en grano se realizó por grupo de especie: TRCL (Trigo Ciclo Largo), TRCI (Trigo Ciclo Intermedio) y CB (Cebada). Como fue expresado anteriormente, no todos los genotipos estuvieron presentes en todos los años, lo que resulta en datos desbalanceados. Para el análisis conjunto de los datos (a través de años, localidades y épocas), se utilizó un modelo mixto. En el contexto de la investigación relacionada al mejoramiento genético, los modelos mixtos constituyen el método indicado para el tratamiento de datos desbalanceados a través de experimentos en ambientes múltiples, garantizando realizar inferencias confiables a través del modelado explícito de las correlaciones inducidas por causas ambientales o genéticas (Malosetti, 2007). El análisis fue realizado utilizando PROC MIXED implementado en SAS.

Cuadro 4. Cultivares presentes en cada uno de los años de la red de ensayos.

	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3
TRCL			
BAGUETTE 18			
BAGUETTE 19			
BAGUETTE PREMIUM 11			
BIOINTA 3000			
BUCK GUAPO			
BUCK METEORO			
FAD 4077 (BUCK TAITA)			
LE 2210 (INIA TIJERETA)			
LE 2313 (INIA GARZA)			
LE 2325 (INIA CHIMANGO)			
LE 2346			
LE 2358			
LE 2359			
LE 2360			
LE 2366			
NOGAL			
TRCI			
BAGUETTE 9			
BIOINTA 1001			
BIOINTA 1004			
BUCK METEORO (FAD 4047)			
CRISTALINO (FAD 4026)			
KLEIN CAPRICORNIO			
KLEIN CASTOR			
KLEIN GAVIOTA			
KLEIN NUTRIA			
KLEIN TAURO			
KLEIN TIGRE			
LE 2331 (INIA DON ALBERTO)			
LE 2332 (INIA MADRUGADOR)			
LE 2333 (INIA CARPINTERO)			
LE 2350			
LE 2354			
LE 2357			
LE 2375			
CC			
04 59 531			
ALICIANA (FS 7019)			
AMBEV 293			
CLE 202 (INIA CEIBO)			
CLE 233 (INIA ARRAYAN)			
CLE 240 (INIA GUAVIYU)			
CLE 247			
CLE 250			
CLE 262			
CONCHITA (FS 7037)			
MADI			
MUSA 936			
NORTEÑA CARUMBE			
NORTEÑA DAYMAN			
PERÚN			
YUKATA (FS 7038)			

El modelo mixto utilizado para el análisis conjunto de los datos de rendimiento en grano fue el siguiente:

$$Y_{ijklm} = \mu + c_i + a_j + l_k + (a.e)_{jl} + (a.l.e)_{jkl} + (a.l.e.r)_{jklm} + (c.l)_{ik} + (c.a.e)_{ijl} + (c.a.l.e)_{ijkl} + e_{ijklm}$$

Donde:

μ es la media general, c_i el efecto principal del cultivar, a_j el efecto principal del año, l_k el efecto principal de la localidad, $(a.e)_{jl}$ el efecto de interacción entre año y época de siembra, $(a.l.e)_{jkl}$ el efecto de interacción entre año, localidad y época de siembra, $(a.l.e.r)_{jklm}$ el efecto de la repetición dentro de cada ensayo (combinación de año, localidad y época de siembra), $(c.l)_{ik}$ el efecto de interacción entre cultivar y la localidad, $(c.a.e)_{ijl}$ el efecto de interacción entre cultivar, año y época de siembra, $(c.a.l.e)_{ijkl}$ el efecto de interacción entre cultivar, año, localidad y época de siembra y e_{ijklm} el término residual. Se asume que todos los términos aleatorios tienen distribución normal con media cero y varianzas:

$$\sigma_a^2, \sigma_{ae}^2, \sigma_{ale}^2, \sigma_{aler}^2, \sigma_{cl}^2, \sigma_{cae}^2, \sigma_{cale}^2 \text{ y } \sigma_e^2$$

En TRCL el efecto principal de año no pudo ser incluido en el modelo.

Como consecuencia de que las fechas de siembra fueron variando a través de los años que duró la investigación, el efecto principal de la época de siembra estuvo anidado con el efecto año. En forma similar el efecto de la repetición estuvo anidado con año, localidad y época de siembra. Los efectos de interacción entre el año y localidad, así como entre el cultivar y al año, arrojaron componentes de varianza nulos para TRCL, TRCI y CB; por lo tanto fueron removidos del modelo. Lo mismo sucedió para el componente de varianza del efecto año en el caso de TRCI y CB. Para decidir qué términos integrar al modelo se utilizó el criterio de comparación de la «Deviance» entre modelos que comparten los mismos efectos fijos y varían en sus términos aleatorios.

Debido a que durante los años que duró la investigación los cultivares fueron variando (ingresaron algunos y otros fueron retirados de la red) la matriz de datos de años y cultivares fue desbalanceada. Para permitir una comparación del comportamiento de los cultivares a través de los tres años se utilizaron las medias estimadas por el modelo mixto arriba descripto.

La adaptación de los genotipos a las localidades de la zona noreste se analizó a través de la correlación de ranking de las localidades V, RP y M con LE.

RESULTADOS

Trigo ciclo largo

En el Cuadro 5 se presenta el análisis de varianza resultante del modelo mixto utilizado.

Se observa que los efectos principales de cultivar y localidad fueron muy significativos. En la Figura 12 se presentan las medias estimadas para Localidad y Cultivar.

El promedio estimado para las localidades a través de los años y épocas de siembra sugiere diferencias de potencial entre los diferentes suelos donde se ubicaron los ensayos. Dicho efecto fue consistente con lo observado dentro de cada año (datos no mostrados). La localidad RP mostró un desempeño estadísticamente superior al resto de las localidades de la zona noreste (V y M) y no mostró diferencia significativa con la localidad de referencia en el litoral-sur (LE). Esto podría en parte estar explicado por la mayor similitud de suelos entre RP y LE, suelos con mayor aptitud agrícola comparados con V y M.

Como ya fue comentado, la matriz de años y genotipos fue desbalanceada. A los efectos de poder comparar el comportamiento de todos los genotipos presentes en la red se calcularon Medias estimadas (Best Linear Unbiased Predictors) para los genotipos, las cuales se representan gráficamente en la Figura 13.

Cuadro 5. Análisis de varianza para TRGL.

Efectos Aleatorios	Componentes de varianza	Error estándar	Valor Z	Pr > Z
Año	214708	368247	0,58	0,2799
Cultivar. Localidad	36041	39866	0,9	0,1830
Cultivar. Año. Época	96855	58628	1,65	0,0493
Cultivar. Localidad. Año. Época	226675	62437	3,63	0,0001
Año. Época	169447	230728	0,73	0,2314
Año. Época. Localidad	221273	129091	1,71	0,0433
Rep (Localidad. Año. Época)	15187	13336	1,14	0,1274
Residual	463784	36045	12,87	<.0001
Efectos Fijos	F-Valor	Pr > F		
Cultivar	5,21	<.0001		
Localidad	12,82	0,0004		

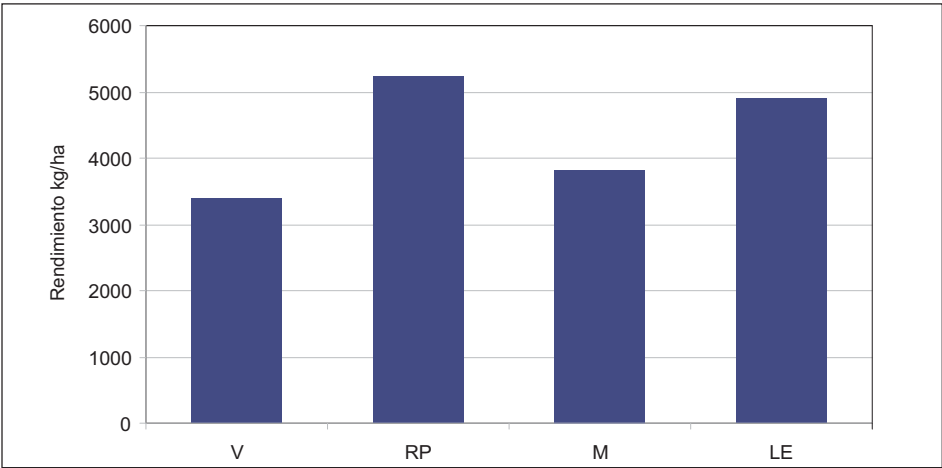


Figura 12. Media estimada localidad TRCL.

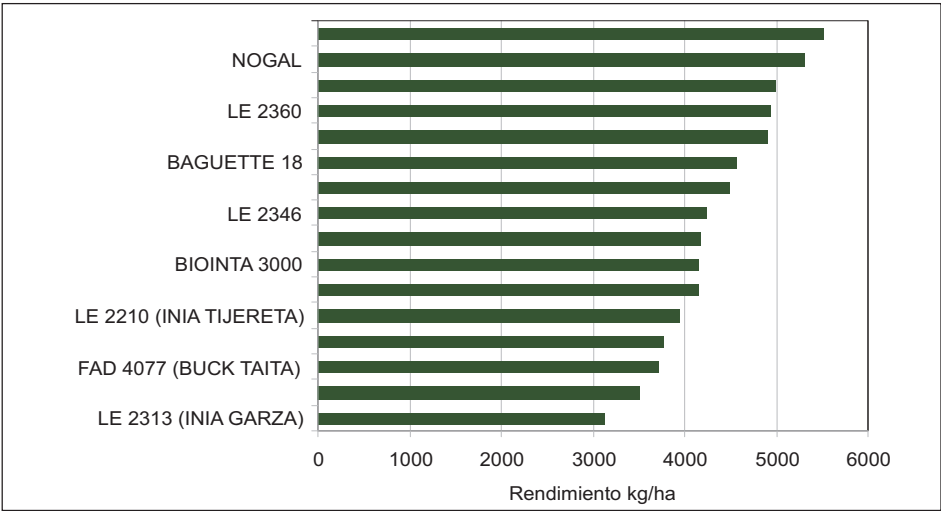


Figura 13. Media estimada de Cultivara través de los años, épocas de siembra y localidades (kg/ha).

Utilizando una MDS ($P < 0.05$), se comparó el rendimiento de los cultivares con el cultivar de mayor rendimiento: BAGUETTE 19. De esta forma, un grupo de 5 cultivares (NOGAL, GENESIS 2366, LE 2360, BAGUETTE PREMIUM 11 y BAGUETTE 18) no se diferenció significativamente del de mayor rendimiento.

De acuerdo al resultado de los componentes de varianza estimados (Cuadro 5), la mayor parte de la variación observada corresponde a variación ambiental (Año + Año. Época + Año. Época. Localidad). El impacto de la variación ambiental es evidente, por ejemplo, cuando observamos las grandes fluctuaciones en la evolución histórica de los promedios nacionales de rendimiento de las especies de cultivo, en general relacionados a la fuerte variación climática entre años. Si bien esta variación ambiental tiene una gran influencia en la expresión del rendimiento del conjunto de los cultivares, desde el punto de vista de la recomendación de uso de los cultivares (y del mejoramiento genético), es poco informativa ya que, la misma no afecta el comportamiento relativo de los cultivares en los diferentes ambientes. En este sentido, es más interesante observar la magnitud de los componentes de interacción que involucran al cultivar, ya que esto indica la existencia de normas de respuesta diferencial de los cultivares a los ambientes de crecimiento. Si se conocen las características de esos ambientes responsables de la respuesta diferencial de algunos cultivares y éstas son repetibles, se abre la posibilidad de realizar un mejor uso del material genético seleccionando, para cada tipo de ambiente, aquellos cultivares específicamente adaptados. Este proceso puede verse dificultado por la presencia de otros componentes de interacción más complejos (interacciones de 3 y más vías) que son de difícil interpretación y baja repetibilidad. Estos componentes de interacción de 3 y más vías, son consistentemente reportados en la bibliografía como los que más contribuyen a la varianza de la interacción Genotipo. Ambiente (Campbell y Lafever, 1977; Patterson *et al.*, 1977; Talbot, 1984; Annicchiarico, 1997; Chapman *et al.*, 2000; Ceretta y van Eeuwijk, 2008). De las interacciones que involucran al cultivar esta-

mos especialmente interesados en aquellas que pueden considerarse altamente repetibles, como es el caso de la interacción Cultivar. Localidad. Esta surge del comportamiento diferencial de algunos cultivares en algunas localidades en forma consistente a través de los años y de las épocas de siembra (ej.: respuesta al tipo de suelo característico de una localidad). No obstante, para el caso de TRCL en este estudio, el componente de varianza para la interacción Cultivar. Localidad fue de muy escasa magnitud y por lo tanto no hay evidencias de adaptación específica a alguna localidad, el comportamiento relativo de los genotipos de TRCL es aproximadamente el mismo para todas las localidades.

En acuerdo con la bibliografía consultada, las interacciones complejas (Cultivar. Año. Época y Cultivar. Localidad. Año. Época) fueron significativas y de magnitud considerable (Cuadro 5).

Dentro de la variación ambiental, el componente de varianza de Año. Época fue de magnitud considerable y significativa, indicando un comportamiento no consistente de las épocas de siembra a través de los años. Este resultado era esperado en la medida que las épocas de siembra fueron adelantándose durante el transcurso de la investigación. En la Figura 14 se presentan las medias estimadas para época de siembra dentro de cada año.

En TRCL se detectaron diferencias significativas entre las épocas de siembra sólo en el año 1 (2008), donde la época 2 se ubicó en el mes de julio. En los años 2 y 3, ambas épocas fueron implementadas más temprano (abril y mayo en el año 2 y principios y fines de abril en el año 3), logrando rendimientos similares y sin diferencia estadística entre las épocas.

En el Cuadro 6 se presentan las medias estimadas para cada cultivar (expresados como % de la media del ensayo) y el ranking ocupado por los cultivares en las diferentes localidades. Si bien se observan algunas variaciones en el comportamiento relativo de los cultivares a través de las localidades, estos cambios no son de una magnitud importante, fluctuando levemente en

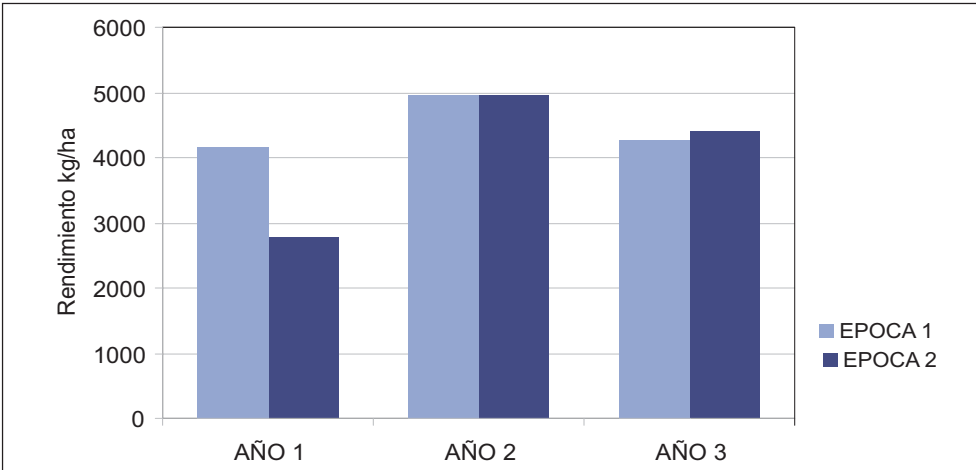


Figura 14. Media estimada para época de siembra dentro de cada año.

Cuadro 6. Medias estimadas de Localidad. Cultivar en % y correlación de ranking con la localidad LE

Cultivar	Localidad				
		V	RP	M	LE
BAGUETTE PREMIUM 11		99	101	104	105
LE 2325 (INIA CHIMANGO)		100	100	102	102
LE 2346 (GENESIS 2346)		102	100	100	102
BUCK METEORO		99	101	101	101
LE 2313 (INIA GARZA)		100	101	98	101
NOGAL		101	100	101	100
LE 2366 (GENESIS 2366)		101	98	101	100
LE 2359 (GENESIS 2359)		99	101	98	100
LE 2360		101	101	96	100
BIOINTA 3000		98	101	96	100
BAGUETTE 18		100	100	100	99
FAD 4077 (BUCK TAITA)		101	100	100	99
LE 2358 (GENESIS 2358)		100	97	102	99
BUCK GUAPO		98	100	102	98
LE 2210 (INIA TIJERETA)		102	99	100	98
BAGUETTE 19		101	100	100	96
Correlación de ranking con LE		-0,20	0,26	0,23	1

torno al promedio de rendimiento, sin observarse tendencias marcadas por localidad. El estudio de correlación de ranking entre el ambiente del litoral-sur (LE) y los ambientes del noreste arrojó valores de escasa magnitud, lo cual puede ser el resultado de la baja dispersión de los datos. Concordantemente, la magnitud de la interacción Cultivar. Loca-

lidad (Cuadro 5) fue muy escasa y no significativa. En conclusión, la muestra de genotipos utilizada presenta buena adaptación general a todas las localidades. En este sentido, el comportamiento de los cultivares tradicionalmente generado con énfasis en la zona litoral-sur(LE) puede considerarse un predictor adecuado del comportamiento de

los cultivares de TRCL para los ambientes del noreste.

Trigo ciclo intermedio

En el Cuadro 7 se presenta el análisis de varianza de acuerdo al modelo mixto utilizado para el grupo de TRCI.

.A diferencia de lo observado para TRCL, en el grupo TRCI no se detectaron diferencias significativas entre cultivares ($P>0.1132$). Adicionalmente, el componente de interacción Cultivar .Localidad fue significativo y de una magnitud considera-

ble. Lo mismo se observa para el resto de las interacciones que involucran al cultivar (Cultivar. Año. Época y Cultivar. Año. Localidad. Época).

En la Figura 15 se presentan las medias estimadas para cultivar a través de los años, localidades y épocas. De la misma forma que en TRCL, se debe tener en cuenta que la mayoría de los cultivares no estuvieron presentes en el total de los años, el valor de rendimiento para cada genotipo es una estimación tomando en cuenta los efectos considerados en el modelo.

Cuadro 7. Análisis de varianza para TRCI

Efectos Aleatorios	Componentes de varianza	Error estándar	Valor Z	Pr > Z
Cultivar. Localidad	263103	85346	3,08	0,001
Cultivar. Año. Época	173922	54568	3,19	0,0007
Cultivar. Localidad. Año. Época	98996	39515	2,51	0,0061
Año. Época	514970	447725	1,15	0,125
Año. Época. Localidad	587291	253327	2,32	0,0102
Rep (Localidad. Año. Época)	26494	14186	1,87	0,0309
Residual	503554	32708	15,4	<.0001
Efectos Fijos	F-Valor	Pr > F		
Cultivar	1,58	0,1132		
Localidad	7,82	0,0026		

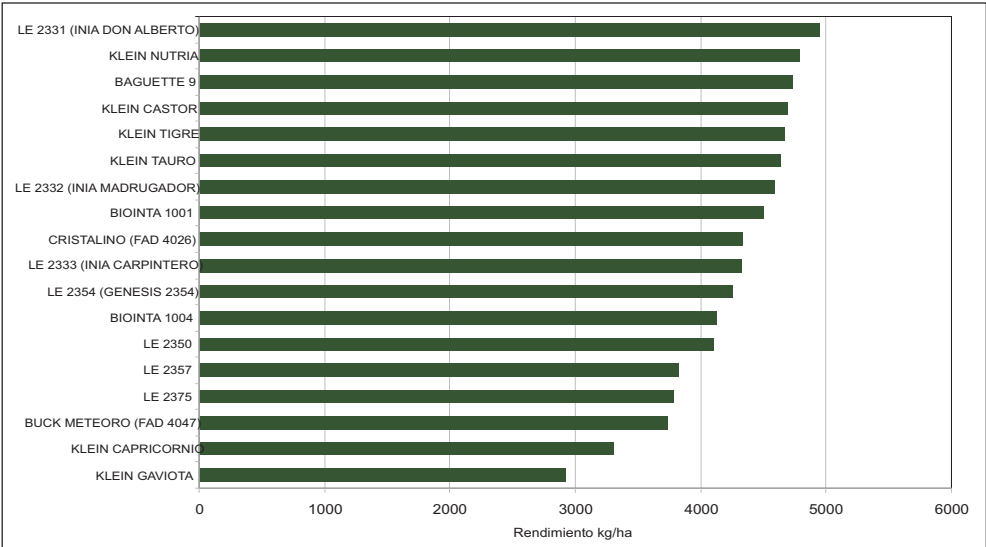


Figura 15. Media estimada de Cultivar a través de los años, épocas de siembra y localidades (kg/ha).

De la misma forma que en TRCL, utilizando la MDS ($P>0,05$) se comparó el rendimiento de los cultivares con el cultivar de mayor rendimiento, LE2331 (INIA DON ALBERTO). De esta forma, en TRCI hubieron 13 materiales que no mostraron diferencias significativas con LE 2331 (INIA DON ALBERTO). Solamente 4 genotipos mostraron rendimientos significativamente por debajo del genotipo de mayor rendimiento.

Se observaron diferencias significativas ($P> 0,0026$) para el efecto localidad, en la Figura 16 se presentan la medias estimadas para las localidades a través de los años.

En la Figura 16, se observa la misma tendencia que en TRCL, la localidad de mayor potencial de rendimiento del noreste (RP), no se diferenció significativamente de la localidad de referencia del litoral-sur (LE). Los sitios de V y M, que no presentaron diferencias significativas entre ellos, reflejaron un

potencial menor a RP y LE. La media de la localidad RP se ubicó en valores similares al sitio de LE, lo que evidencia que el potencial de algunos suelos del noreste es similar al de las zonas tradicionalmente agrícolas. Dentro del área agrícola del Noreste, existen otras situaciones de menor potencial y suelos con mayor riesgo de erosión (horizonte A con textura franca, pendientes elevadas). Las localidades de V y M pertenecen a ese grupo de ambientes de menor potencial de producción y representan una fracción importante de los suelos sobre los que se realiza la agricultura en las nuevas zonas agrícolas.

Al igual que en TRCL, una alta proporción de la variabilidad observada se debió a efectos ambientales, en este caso Año. Época y Año. Época. Localidad (Cuadro 7), indicando un comportamiento poco consistente de las Épocas en los diferentes años (Figura 17).

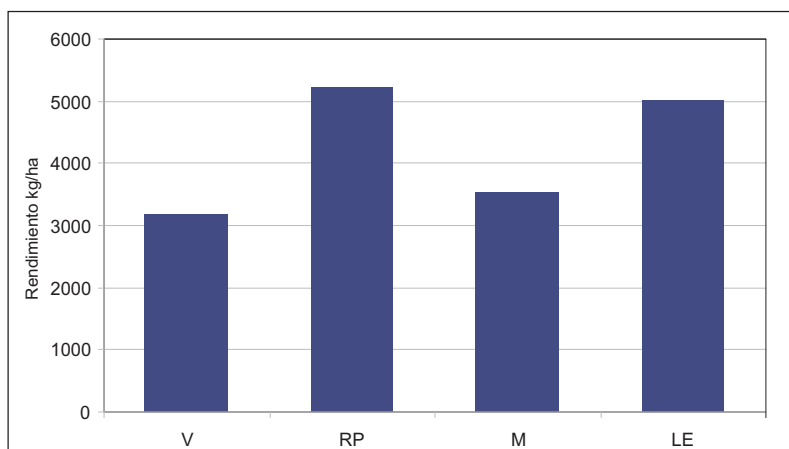


Figura 16. Medias estimada de Localidad en kg/ha.

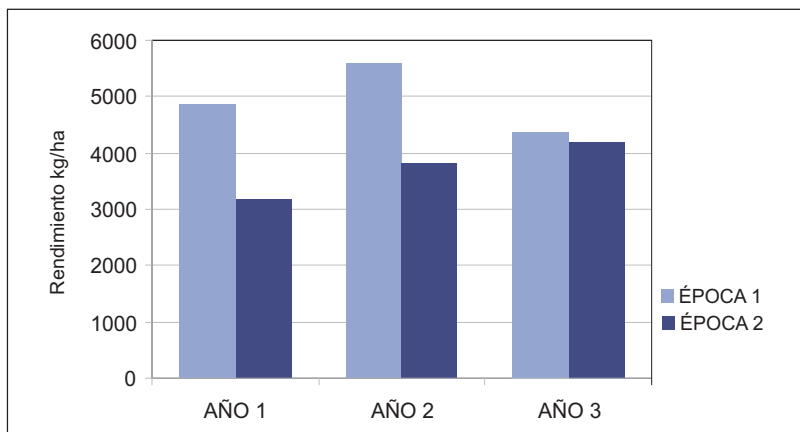


Figura 17. Media estimada para época de siembra dentro de cada año.

En función del adelanto en las épocas de siembra practicado a través de los años, era esperable que el desempeño en cada una de ellas fuera diferente entre los años. En el tercer año, donde las segundas épocas se realizaron a principios de junio, no se observaron diferencias significativas entre épocas de siembra. En los 2 primeros años donde las segundas épocas de siembra fueron a mediados de julio, los rendimientos de éstas fueron sorprendentemente inferiores a los de las épocas 1. Si bien no se cuenta con la totalidad de la información para todos los años y épocas (porque las épocas se fueron modificando cada año en función de los resultados obtenidos), se puede inferir que con siembras posteriores a los primeros días de junio el potencial de rendimiento se resiente en forma relevante.

En el Cuadro 8 se observan las medias estimadas para los cultivares en las dife-

rentes localidades, expresadas como % del promedio por localidad. Se observan cambios importantes en el ordenamiento relativo de los cultivares en las diferentes localidades, en especial al comparar LE con el resto de las localidades del noreste. El análisis de correlación de rangos entre LE y el resto de las localidades arrojó valores negativos de magnitud baja a media (Cuadro 8).

Los resultados indican una mayor oportunidad de identificar cultivares con adaptación específica a los diferentes ambientes para TRCI. En general, el comportamiento observado en los ambientes del litoral-sur (LE) no resulta en un buen predictor del comportamiento en el grupo de ambientes del noreste (correlaciones de ranking medias y negativas), incluido RP, que desde el punto de vista del rendimiento promedio fue muy similar a LE.

Cuadro 8. Medias estimadas Cultivar. Localidad en % y correlación de ranking de las localidades V, RP y M con LE

Cultivar	Localidad			
	V	RP	M	LE
LE 2354 (GENESIS 2354)	100	90	91	118
BUCK METEORO (FAD 4047)	90	105	93	112
BAGUETTE 9	95	97	98	110
KLEIN TAURO	98	98	95	110
LE 2332 (INIA MADRUGADOR)	100	98	94	108
KLEIN NUTRIA	97	97	99	107
KLEIN TIGRE	93	100	101	106
LE 2333 (INIA CARPINTERO)	95	95	104	106
BIOINTA 1001	96	98	101	104
CRISTALINO (FAD 4026)	99	94	103	104
LE 2331 (INIA DON ALBERTO)	93	104	100	103
KLEIN CASTOR	104	94	100	103
LE 2350	91	109	104	96
BIOINTA 1004	96	110	100	94
KLEIN CAPRICORNIO	118	104	91	87
KLEIN GAVIOTA	117	97	101	85
LE 2375	99	106	120	75
LE 2357	119	103	107	71
Correlación de ranking con LE	-0,42	-0,38	-0,61	1

Cebada

En el Cuadro 9 se presenta el análisis de varianza de acuerdo al modelo mixto utilizado para el grupo CB.

Al igual que en TRCL y TRCI, la variación ambiental (Año. Época + Año. Localidad. Época) fue mayormente responsable de la variación total observada. El efecto cultivar fue muy significativo en CB ($P < 0,0001$). Si bien algunas de las interacciones que involucran al efecto cultivar con (Cultivar. Año. Época y Cultivar. Localidad. Año. Época) fueron significativas, las mismas fueron de baja magnitud. En la Figura 18 se presentan las medias estimadas para los cultivares.

Para CB, el grupo de materiales que no se diferenció significativamente ($P > 0,05$) del cultivar de mayor rendimiento (Aliciana) estuvo conformado por sólo 2 genotipos (Yukata y Conchita).

Se observó un efecto significativo de la localidad. Si bien en este grupo el comportamiento de las localidades mostró cierta similitud a la especie trigo (TRCL y TRCI), existió una tendencia a que los sitios del noreste manifestaran un potencial menor a la localidad de referencia. En la Figura 19 se presenta las medias estimadas para cada localidad.

Si bien en esta especie la tendencia fue que las localidades del noreste expresaran

Cuadro 9. Análisis de varianza para CB

Efectos Aleatorios	Componentes de varianza	Error estándar	Valor Z	Pr > Z
Cultivar. Localidad	27757	18936	1,47	0,0713
Cultivar. Año. Época	36795	20562	1,79	0,0368
Cultivar. Localidad. Año. Época	85821	28586	3	0,0013
Año. Época	141721	293402	0,48	0,3145
Año. Época. Localidad	852515	375922	2,27	0,0117
Rep (Localidad. Año. Época)	27600	12975	2,13	0,0167
Residual	390354	25155	15,52	<.0001
Efectos Fijos	F-Valor	Pr > F		
Cultivar	5,91	<.0001		
Localidad	5,14	0,0163		

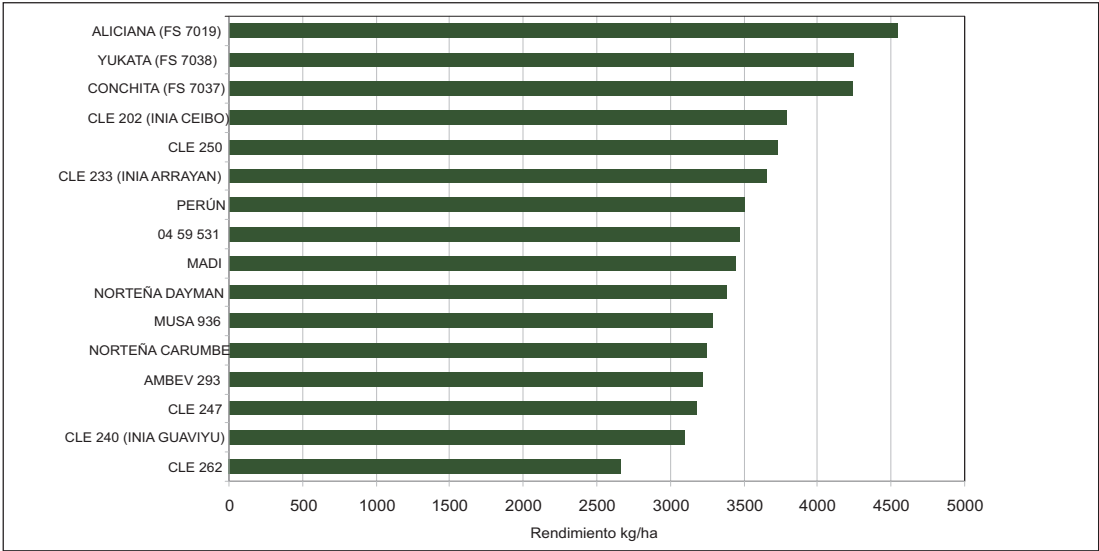


Figura 18. Media estimada de Cultivar a través de los años, épocas de siembra y localidades, en kg/ha.

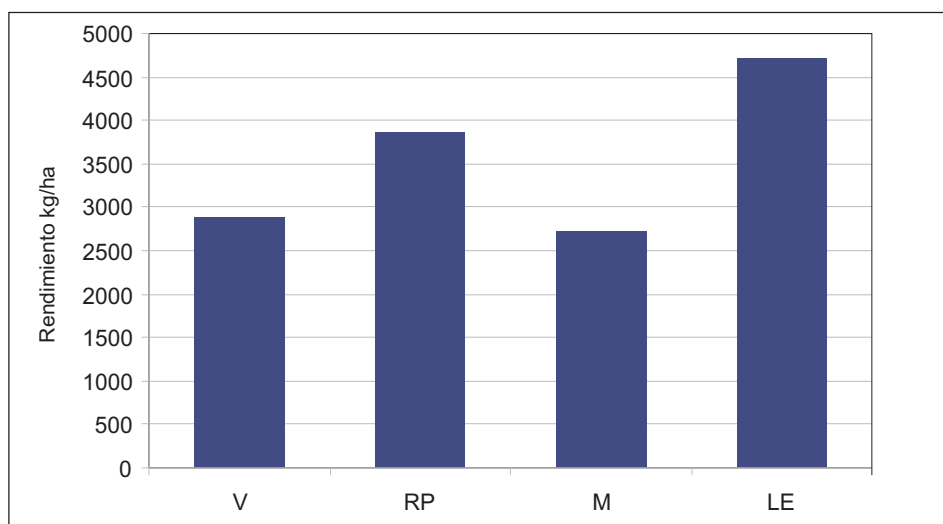


Figura 19. Medias estimadas (kg/ha) para Localidades.

un menor potencial, RP no se diferenció estadísticamente de LE. Se podría decir que esto se debió principalmente a la combinación de dos factores: por un lado la información de los 3 años incluye épocas de siembra muy tardías consideradas inviables (épocas 2 en los años 2008 y 2009); y adicionalmente a ello, la especie CB manifestó mayor sensibilidad a las condiciones de anegamiento del suelo, situación que en las zonas agrícolas del noreste ocurre con mayor severidad y frecuencia que en las zonas más tradicionalmente agrícolas.

En el grupo CB el desempeño relativo de las épocas en cada año fue similar a TRCI.

Esto es concordante con el hecho de que las fechas de siembra de las épocas 1 y 2 en CB se corresponden con las fechas de TRCI. Si bien en CB los rendimientos logrados en las diferentes épocas y años fueron menores a TRCI, la pérdida relativa de rendimiento, producto de épocas de siembras en julio, con condiciones de anegamiento en las etapas tempranas del cultivo, fue similar en ambos grupos (CB y TRCI).

El Cuadro 10 presenta las medias estimadas para los cultivares en las diferentes localidades. Se observa en general un comportamiento consistente de los mismos en LE y RP. La correlación de rangos entre es-

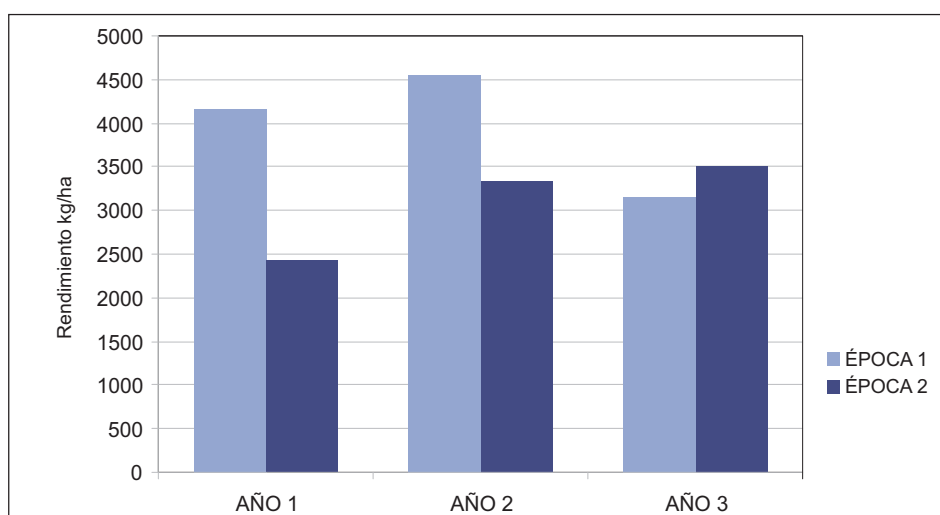


Figura 20. Media estimada para época de siembra dentro de cada año.

Cuadro 10. Medias estimadas de Localidad. Cultivar en % y correlación de ranking con LE

Cultivar	Localidad			
	V	RP	M	LE
ALICIANA (FS 7019)	98	102	97	103
CLE 250	98	100	99	103
MADI	97	99	101	103
CONCHITA (FS 7037)	100	100	97	103
CLE 233 (INIA ARRAYAN)	99	96	103	102
CLE 262	99	100	99	102
04 59 531	101	96	102	101
CLE 240 (INIA GUAVIYU)	100	101	98	101
YUKATA (FS 7038)	103	98	99	100
AMBEV 293	99	103	99	99
CLE 247	98	101	101	99
CLE 202 (INIA CEIBO)	99	104	99	99
PERÚN	102	101	99	98
NORTEÑA CARUMBE	98	103	102	97
NORTEÑA DAYMAN	103	98	103	96
MUSA 936	105	100	101	94
Correlación de ranking con LE	-0,61	-0,24	-0,4	1

tas dos localidades arrojó valores de muy baja magnitud. Para el caso de V y M, la correlación de rango fue negativa con valores bajos a medios. Los resultados indican que la información generada en el litoral-sur para el comportamiento de los cultivos no necesariamente es un buen predictor para todos los ambientes de producción del noreste. En especial para el caso de V podría ser necesario generar información local para ajustar el mejor uso de los cultivos.

CONCLUSIONES

- Los registros de humedad del suelo evidenciaron que en la región noreste los períodos con el suelo anegado son más frecuentes y prolongados que en el litoral-sur (mayor cantidad de días totales con anegamiento durante el ciclo del cultivo y períodos más extensos). Esta condición desfavorable para los cultivos de invierno ocurrió aún cuando la cantidad de preci-

pitación durante los meses invernales en el noreste fue comparable a la ocurrida en el litoral-sur, ya que está muy asociado a suelos con dificultades de permeabilidad.

- El análisis de probabilidad para la serie 1975-2011 indica que el riesgo de heladas tardías es mayor en el noreste comparado con el litoral-sur. Esto está asociado a una mayor probabilidad de ocurrencia de 1 y 2 heladas en el mes de octubre. Pero en fechas anteriores al 15 de setiembre, el riesgo es alto en todas las localidades. Considerando que en TBO y Melo la probabilidad de que ocurran 4 a 5 heladas antes del 15 de setiembre supera el 20%, las fechas de siembra (principio de abril para los trigos mas precoces del grupo TCL y principio de mayo para los trigos mas precoces del grupo de TCI) que concentran la floración antes de esta fecha tendrán un riesgo muy elevado.

- La serie histórica de temperaturas medias desde 1975 a 2011 mostró desvíos entre 0,5 a 2 °C entre las estaciones del noreste y las del litoral-sur. En la mayor parte de los cultivares de trigo, el ciclo está regulado principalmente por temperatura, por lo tanto es esperable que los ciclos, en promedio, sean más cortos en la región noreste.
- Los ambientes explorados en la zona noreste, durante los 3 años que duró la investigación, reflejaron una alta variabilidad en el potencial de rendimiento. Se detectaron situaciones muy deficitarias, con rendimientos en torno a 1200 kg/ha y ambientes muy satisfactorios con rendimientos que superaron los 6000 kg/ha. Si bien los resultados de los 3 años de investigación evidenciaron que existen algunas situaciones en el área agrícola del noreste con potencial similar al litoral-sur; una proporción importante de los experimentos en la zona manifestaron rendimientos inferiores, principalmente asociados a tipos de suelo y/o siembras tardías.
- El logro de rendimientos aceptables de trigo y particularmente cebada en la zona noreste dependerá en gran medida de una elección adecuada del ambiente de producción, esto implica, entre otras medidas de manejo, realizar siembras en épocas tempranas, desde principio de abril a principio de junio y seleccionar dentro de las localidades los tipos de suelos con menor dificultad de drenaje interno. De esta forma se logra disminuir la probabilidad de que los períodos prolongados de anegamiento del suelo coincidan con la implantación o las etapas tempranas del cultivo.
- La interacción Cultivar. Localidad (altamente predecible) sólo fue significativa y de magnitud importante para el caso de TRCI. Las interacciones complejas con cultivar (Cultivar. Localidad. Año. Época y Cultivar. Año. Época), de naturaleza no-predecible, fueron de magnitud importante y estadísticamente significativas en todos los casos. Para avanzar en el entendimiento de estas interacciones complejas y eventualmente poder hacer un uso práctico de las mismas, es necesario en principio, describir los ambientes no ya en forma categórica y arbitraria como (Año, Localidad, Época de siembra), sino en base a la medición más detallada de variables ambientales relevantes (temperatura, radiación, precipitación, condiciones del suelo, etc.) e intentar luego vincular éstas a la respuesta fenotípica (Chapman *et al.*, 2000; Ceretta and van Eeuwijk, 2008). Este enfoque será utilizado en una segunda etapa del análisis de esta red, haciendo uso de toda la información ambiental y fenotípica colectada.
- El análisis de correlación de ranking de las localidades del noreste con la localidad de referencia del litoral-sur arrojó resultados diferentes para los distintos grupos de especies. En TRCL la magnitud de la correlación fue despreciable indicando el comportamiento relativo de los cultivares en el litoral-sur y en las localidades del noreste fue básicamente el mismo o dicho de otra forma, el comportamiento de los cultivares en el litoral-sur puede considerarse un buen predictor del comportamiento de los cultivares en el noreste. En cambio en TRCI y CB se observaron correlaciones negativas y de magnitud media a alta; lo que indicaría que el comportamiento en el litoral-sur no sería un buen predictor del comportamiento en el noreste. Por ello, en TRCI y en CB habría mayor oportunidad de identificar genotipos con adaptación específica. Por lo tanto, profundizar en el conocimiento del comportamiento de los genotipos de TRCI y CB en la zona agrícola del noreste, podría resultar en una ventaja sustancial en la medida que éste se pueda asociar a una relación de causalidad con factores altamente repetibles o predecibles.
- En forma paralela y complementaria al desarrollo de esta red, en el marco del proyecto «Bases fisiológicas para la mitigación de la vulnerabilidad de los sistemas productivos agrícolas (arroz, cebada, cítricos, forestales) ante estrés abióticos

causados por el cambio climático en Uruguay»; durante los años 2010 y 2011 se ha desarrollado una línea de investigación en tolerancia al anegamiento del suelo en trigo y cebada. Estos trabajos han sido conducidos a nivel de campo, en ensayos parcelarios, orientados principalmente a caracterizar la respuesta al estrés por anegamiento en cultivares de trigo y cebada en diferentes etapas fenológicas (anegamiento en vegetativo y reproductivo); y asociar esto a algunas medidas relacionadas a la respuesta fisiológica a dicho estrés. El análisis de esta información contribuirá a confirmar algunas de las conclusiones extraídas en el presente trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la empresa Tafilar S.A. por su constante apoyo para la instalación y seguimiento de las áreas experimentales; a las empresas MUSA, MOSA, ADP, AGAR

CROSS S.A, FADISOL S.A y NIDERA Uruguay S.A., por aportar el material genético y a todas ellas por participar del cofinanciamiento de esta investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- ANNICCHIARICO, P.** 1997. Joint regression vs. AMMI analysis of genotype-environment interactions for cereals in Italy. *Euphytica* 94:53-62.
- BELFORD, R. K.** 1981. Response of winter wheat to prolonged waterlogging under outdoor conditions. *J. Agric. Sci., Camb.* 97, 557-568.
- CALDERINI, D.F., ABELEDO, L.G., SAVIN, R., SLAFER, G.A.** 1999. Final grain weight in wheat as affected by short periods of high temperature during pre- and post-anthesis under field conditions. *Australian Journal of Plant Physiology*, 26, 453-458.
- CALDERINI, D. F., SAVIN, R., ABELEDO, L. G., REYNOLDS, M. P., SLAFER, G. A.** 2001. The importance of the period immediately preceding anthesis for grain weight determination in wheat. *Crop Science*, 199-204.
- CAMPBELL, L.G. LAFEVER, H.N.** 1977. Cultivar x environment interactions in soft red winter wheat yield tests. *Crop Sci.* 17:604-608.
- CANNELL, R. Q., BELFORD, R. K., GALES, K., THOMSON, R. J.** 1984. Effects of waterlogging and drought on winter wheat and winter barley grown on a clay and a sandy loam soil. *Plant and Soil* 80, 53-66.
- CASTAÑO et al.** 2010. Caracterización agroclimática del Uruguay 1980- 2009. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Serie Técnica 193. Uruguay. 40p
- CERETTA, S., VAN EEUWIJK, F.A.** 2008. Grain Yield Variation in Malting Barley Cultivars in Uruguay and Its Consequences for the Design of a Trials Network. *Crop Sci.* 48:167-180
- CHAPMAN, S.C., M. COOPER, D.G. BUTLER, HENZELL, R.G.** 2000. Genotype by environment interactions affecting grain sorghum: I. Characteristics that confound interpretation of hybrid yield. *Aust. J. Agric. Res.* 51:197-207.
- COOPER, M., D.R. WOODRUFF, I.G. PHILLIPS, K.E. BASFORD, GILMOUR, A.R.** 2001. Genotype-by-management interactions for grain yield and grain protein concentration of wheat. *Field Crops Res.* 69:47-67.
- CORSI, W.** 1982. Regionalización agroclimática de Uruguay para cultivos. La Estanzuela, CIAAB. (Miscelánea no. 40). 28p.
- LARCHER, W.** 1995. Plants Under Stress; Oxygen Deficiency. in : Larcher, W. *Physiological plant Ecology*. Berlin. Springer-Verlag. 506p.
- MALOSETTI, M., C.G.VAN DER LINDEN, VOSMAN, B., VAN EEUWIJK, F.A.** 2007. A mixed-model approach to association mapping using pedigree information with an illustration of resistance to *Phytophthora infestans* in potato. *Genetics* 175: 879-889. DOI:10.1534/genetics.105.054932.
- MAP.** 1979. Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay escala 1:1000000. División Suelos y Aguas. Ministerio de Agricultura y Pesca. Montevideo.

- MORAL, M. B. G., GARCÍA, L. F.** 1995. Tiller production and survival in relation to grain yield in winter and spring barley. *Field Crops Research*, 44, 85-93.
- PATTERSON, H.D., SILVEY, V. TALBOT, M., WEATHERUP, S.T.C.** 1977. Variability of yields of cereals varieties in U.K. trials. *J. Agric. Sci. (Cambridge)* 89: 239-245.
- SAVIN, R., NICOLAS, M.E.** 1996. Effects of short periods of drought and high temperature on grain of two malting barley cultivars. *Aust. J. Plant Physiol.* 23: 201-210.
- SĂULESCU, N.N., BRAUN, H.J.** 2001. CHAPTER 9. Cold Tolerance. in: Reynolds. M. P.; Ortiz-Monasterio. J. I. ; y McNab. A. *Application of Physiology in Wheat Breeding*. Mexico, CIMMYT. 111-123.
- SOFIELD, I., EVANS, L.T., COOK, M.G., WARDLAW, I.F.** 1977. Factors influencing the rate and duration of grain filling in wheat. *Aust. J. Plant Physiol.* 3:785-797.
- TAVELLA, C.M.** 1969. Trigo: situación general. In *Jornada de Cultivos* (1., 1969, La Estanzuela, Colonia, UY). La Estanzuela, CIAAB. (Miscelánea no. 8). p. 47-59.
- TALBOT, M.** 1984. Yield variability of crop varieties in the U.K. *J. Agric. Sci. (Cambridge)* 102: 315-321.
- WALL, P. C.** 1998. Rendimiento y el cociente fototérmico ¿Una relación inevitable? In: Kohli, M. M. y D. Martino. *Explorando altos rendimientos de trigo*. Uruguay. CIMMYT-INIA. 47-58.