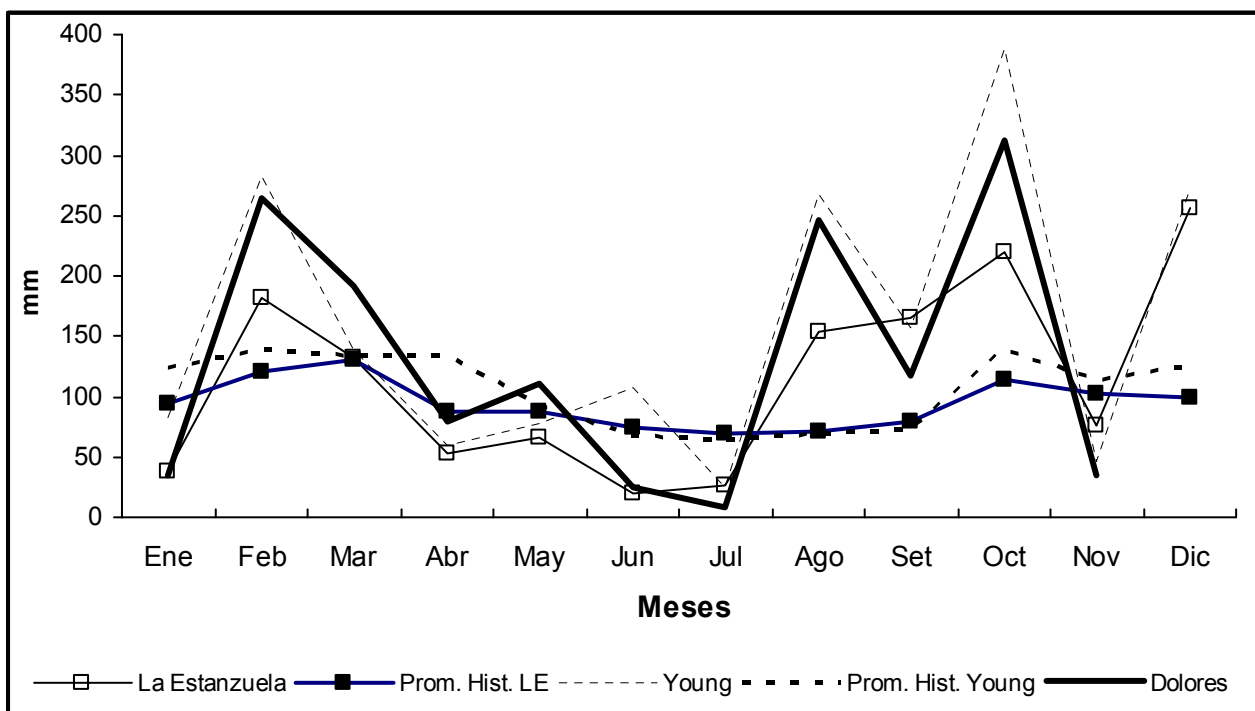


Alternativas varietales y de manejo para mitigar el efecto del anegamiento en cereales de invierno

Marina Castro¹, Deborah Gaso¹, Daniel Vázquez¹, Juan Pirelli¹,
Andrés Berger¹, Ricardo Calistro¹, Máximo Vera¹, Luis Viega², Álvaro Otero³

Antecedentes

A nivel mundial el exceso hídrico o anegamiento afecta 10% del área global terrestre (Setter and Waters, 2003), y es uno de los más importantes problemas en la producción de los cultivos agrícolas. Las mermas en rendimiento pueden variar entre 15% y 80%, dependiendo de las especies, tipo de suelo y duración del estrés (revisado por Zhou, 2010). No es de sorprenderse entonces que los mejoradores de zonas con ocurrencia de excesos hídricos consideren entre sus objetivos la obtención de cultivares tolerantes al anegamiento, ya que se ha reportado variabilidad genética en este carácter (Samad et al, 2001; Labuschagne and Tarekne, 2003; Setter et al, 2009; Castro et al, 2011; Hoffman et al, 2011; Castro et al, 2012). La definición agronómica de tolerancia al anegamiento es mantener rendimientos de grano relativamente altos en condiciones de anegamiento comparados con no estrés (Setter and Waters, 2003). En Uruguay está incrementando la frecuencia en que se registran situaciones de exceso hídrico durante el ciclo de crecimiento de los cultivos de invierno y las consiguientes mermas en rendimiento y calidad de grano. En particular en el año 2012 ocurrieron excesos hídricos desde agosto hasta principios de noviembre, y más tarde en diciembre también (Figura 1), que afectaron severamente el rendimiento y calidad de los cereales de invierno.



Fuente: GRAS, SSRN y Establecimiento del Sr. Gauthier

Figura 1. Precipitaciones mensuales año 2012 La Estanzuela, Young y Dolores

En condiciones de campo no hay una cuantificación de la magnitud de esas pérdidas ni si hay comportamiento diferencial entre cultivares ante este estrés. El objetivo de este trabajo es continuar en la línea de investigación que comenzó en el año 2010, o sea ver el efecto del exceso hídrico en diferentes estados fenológicos en cultivares de trigo y avena (Proyecto Ecofisiología de Cultivos de Secano, INIA) y cebada (Proyecto financiado por el Fondo Concursable Interno de INIA); la

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

² Cátedra de Fisiología Vegetal. Facultad de Agronomía. UDELAR.

³ Ecofisiología de citrus, Programa Nacional de Producción Citrícola. INIA Salto Grande.

identificación de genotipos con mejor tolerancia; la visualización de características asociadas a la tolerancia al anegamiento que puedan usarse como un criterio de selección en un programa de mejoramiento; y explorar medidas de manejo que puedan mitigar el efecto del anegamiento.

Manejo general de los ensayos

Durante el año 2012 se instalaron en forma contigua tres ensayos de trigo y tres de cebada más una avena, en INIA La Estanzuela, con diferentes regímenes hídricos. Para cada especie el ensayo **Control** sólo recibió agua de precipitaciones naturales, el segundo ensayo se anegó en fase vegetativa (comenzando en Z22 - Z24) (**Aneveg**), y el tercer ensayo, en fase reproductiva (comenzando a inicio de floración) (**Anerep**). El anegamiento se logró a través del riego por goteo, y en cada caso tuvo una duración de 14 días. En el cuadro 1 se presentan los cultivares utilizados de trigo, cebada y avena.

Cuadro1. Cultivares de trigo, cebada y avena utilizados en los ensayos de anegamiento 2012.

TRIGO	CEBADA	AVENA
BAGUETTE 601	ACKERMAN MADI	LEA 1
BAGUETTE 9	MUSA 19 (AMBEV 19)	
LE 2331 (INIA DON ALBERTO)	AMBEV 84	
LE 2332 (INIA MADRUGADOR)	CLE 202 (INIA CEIBO)	
LE 2333 (INIA CARPINTERO)	CLE 233 (INIA ARRAYAN)	
LE 2354 (GENESIS 2354)	CLE 267	
LE 2358 (GENESIS 2358)	CLE 268	
LE 2359 (GENESIS 2359)	CLE 270	
LE 2366 (GENESIS 2366)	CONCHITA	
LE 2375	KWS ALICIANA	
NOGAL	MOSA 08/203	



Figura 2. Cebada anegada (Aneveg)



Figura 3. Avena en el centro y cebadas post Aneveg



Figura 4. Trigo en Aneveg.

La fecha de siembra de todos los ensayos fue el 5 de junio. La cebada y la avena emergieron el 17 de junio, y el trigo el 19 de junio. El manejo que se le realizó a los ensayos apuntó a eliminar las limitantes que pudieran ser generadas por algún estrés diferente al anegamiento (aplicación de herbicidas, fungicidas).

Cuadro 2. Análisis de suelo previo a la siembra.

	N-NO₃ µg N/g	Bray I µg P/g	K meq/100g	S-SO₄ µg S/g	PMN mg/Kg
0 – 20 cm	45,1	9,3	1,41	12,7	<small>N-NH₄</small> 110

Se fertilizó a la siembra con: 30 kg P ha⁻¹, 18 kg S ha⁻¹. En Z22 el valor del análisis de suelo fue 58 µg N.g⁻¹, por lo que no hubo necesidad de refertilizar con N los ensayos.

Se realizó un monitoreo de los valores de nitrógeno en suelo durante el período de anegamiento, de forma de poder reponer las pérdidas de nitrógeno debidas al lixiviamento y desnitrificación que provoca el exceso hídrico. Al finalizar el anegamiento en vegetativo, con los valores finales de nitrato y amonio de las parcelas anegadas y control (Figura 5, Cuadro 3), se estimaron las pérdidas por lavado. El nitrógeno estimado como pérdida producto del anegamiento fue aplicado a las parcelas que habían sido anegadas. Se consideró una eficiencia estándar para el fertilizante nitrogenado (urea). La corrección con N se realizó en la mitad de la parcela (**AnevegF**), en la otra mitad no se corrigió por las pérdidas de NO₃ (**Aneveg**). Con esta metodología se intentó cuantificar las pérdidas de rendimiento debidas a la lixiviación del N y no al efecto de hipoxia del anegamiento.

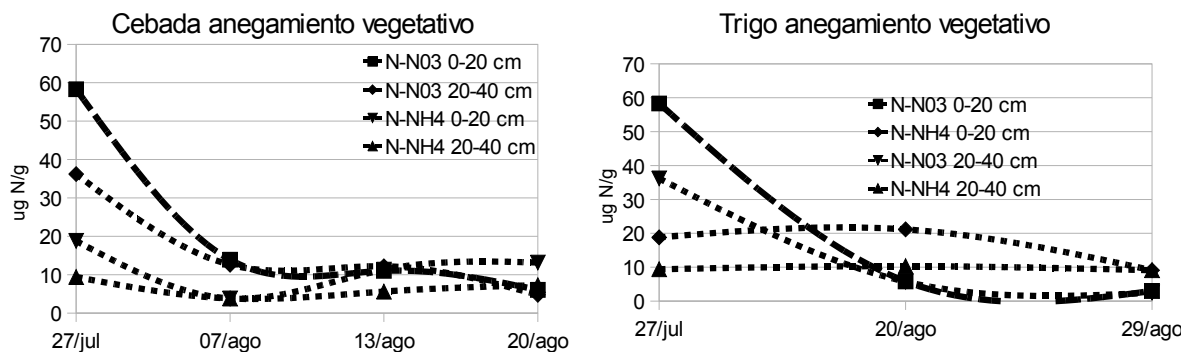


Figura 5. Evolución de nitrógeno en el suelo durante el anegamiento vegetativo.

Las pérdidas por anegamiento se estimaron en base a los contenidos de N en suelo del control al momento de finalizar el anegamiento. En el cuadro 3 se presentan los análisis de suelo del ensayo control al final del anegamiento.

Cuadro 3. Nitrógeno en el ensayo control al final de cada anegamiento.

	N-N03 µg N/g 0-20	N-NH4 µg N/g 0-20	N-N03 µg N/g 20-40	N-NH4 µg N/g 20-40
Control_Cebada	11,2	11,2	11,3	9,9
Control_Trigo	4,8	7,4	3,9	5,7

Debido a que durante el año 2012 ocurrieron periodos de anegamiento en el ensayo control los valores de NO₃ fueron bajos. El criterio que se utilizó para realizar las correcciones de NO₃ fue: a las parcelas del ensayo control se le agregó la diferencia en kg N entre 15 µg N/g y el valor de análisis de suelo (NO₃ de 0-20cm); al ensayo de anegamiento (**AnevegF**) se le agregó la misma cantidad de kg N que el control más la diferencia en kg N en suelo, se asume que la diferencia en kilogramos totales de N es producto de las pérdidas por anegamiento.

Las variables registradas fueron: rendimiento en grano (Rend) (ka.ha⁻¹), peso de mil granos (PMG) (g), proteína en grano (Pt) (%) (trigo y cebada), peso hectolítrico (PH) (kg.hl⁻¹) (trigo), conductancia estomática (gs) (en una selección de cultivares de trigo y cebada), indicador de contenido de clorofila (SPAD) y granos mayores a 2,5 mm (cebada).

Para el trigo fue necesario eliminar el ensayo control debido a que ocurrieron problemas de implantación, por lo tanto no era una buena referencia para realizar las comparaciones, salvo para el caso de las variables conductancia estomática y SPAD, las cuales se midieron en zonas de buen stand de plantas.

Para cada especie los tres experimentos independientes por nivel de estrés planteados tuvieron un diseño experimental de bloques completos al azar con 3 repeticiones. El análisis estadístico se realizó individualmente por ensayo y posterior análisis conjunto. Se presenta el análisis conjunto por especie (trigo y cebada más avena) para la variable rendimiento y las variables asociadas a la calidad del grano. Debido a que el anegamiento vegetativo se dividió en fertilizado (aquel donde se repuso el nitrógeno que se estimó como pérdida producto del anegamiento) y no fertilizado, se comparó el **Control** contra el **AnevegF**, **Aneveg** y **Anerep** (cebada), y los tratamientos de anegamiento entre sí en el caso de trigo.

Resultados - Cebada y Avena

Rendimiento

Cuadro 4. ANOVA para rendimiento.

Fuente	gl	F-Valor	Pr > F
Rep(Aneg)	8	1.37	0.2225
Aneg	3	65.13	<.0001
Cultivar	11	3.34	0.0007
Aneg*Cultivar	33	1.15	0.2997

Cuadro 5. Rendimiento por ensayo.

Aneg	Rend
Control	5727 a
Aneveg	4912 b
AnevegF	4785 b
Anerep	2567 c

Cuadro 6. Rendimiento por variedad y por régimen hídrico, porcentaje respecto al control y probabilidad del contraste.

Cultivar	Control	Aneveg	% respecto Control	Pr > t	AnevegF	% respecto Control	Pr > t	Anerep	% respecto Control	Pr > t
ACKERMAN MADI	4951	5122	3	0.8348	5013	1	0.9395	2523	-49	0.0038
MUSA 19	6051	5185	-14	0.2915	4923	-19	0.1705	2654	-56	<.0001
AMBEV 84	6308	6113	-3	0.8124	6486	3	0.8273	2795	-56	<.0001
CLE 202 (INIA CEIBO)	4915	5283	7	0.6532	3928	-20	0.2301	2489	-49	0.0038
CLE 233 (INIA ARRAYAN)	6097	5351	-12	0.3636	4295	-30	0.0299	3448	-43	0.0017
CLE 267	5721	4180	-27	0.0623	3485	-39	0.0075	215	-96	<.0001
CLE 268	5643	5549	-2	0.9081	5344	-5	0.7149	3212	-43	0.0038
CLE 270	4935	4774	-3	0.8621	3992	-19	0.3091	2833	-43	0.0249
CONCHITA	5420	3589	-34	0.0274	5433	0	0.9874	2689	-50	0.0012
KWS ALICIANA	6461	4408	-32	0.0137	5239	-19	0.1382	1970	-70	<.0001
LEA 1 (AVENA)	6349	4858	-23	0.0713	5282	-17	0.1948	3638	-43	0.0013
MOSA 08/203	5875	4529	-23	0.1027	3995	-32	0.0237	2339	-60	<.0001
Promedio	5727	4912	-14		4785	-16		2567	-55	

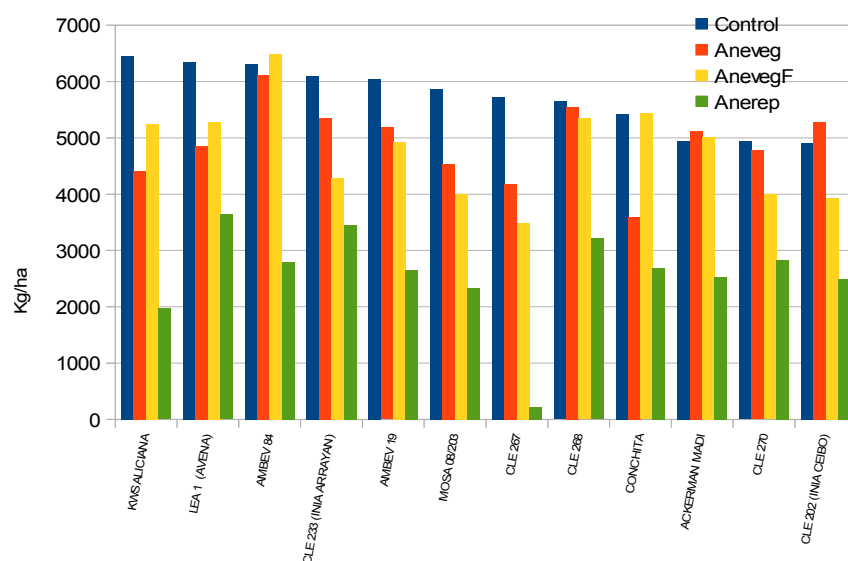


Figura 6. Rendimiento por variedad y por anegamiento.

El anegamiento en estado vegetativo mostró en promedio diferencia significativa con el control, tanto en el tratamiento fertilizado como en el no fertilizado (Cuadro 5). Sin embargo se destacan cultivares que no fueron afectados en forma significativa por el anegamiento en estado vegetativo (ACKERMAN MADI, MUSA 19, AMBEV 84, I. CEIBO, CLE 268 y CLE 270). También se observó que si bien CONCHITA, KWS ALICIANA y la avena LEA 1 disminuyeron su rendimiento en **Aneveg**, cuando se repuso el nitrógeno perdido (**AnevegF**), lograron rendimientos que no difirieron significativamente del **Control** (Cuadro 6, Figura 6).

El anegamiento en estado reproductivo se diferenció del Control y del vegetativo, siendo el de comportamiento más deficitario donde las mermas de rendimiento respecto al Control en promedio superaron el 50%. No se observó un comportamiento diferencial entre los cultivares ya que todos los materiales fueron drásticamente perjudicados por el anegamiento, y seguramente por esto la interacción Aneg*Cultivar no dio significativa. En la gran mayoría de los cultivares las pérdidas de rendimiento respecto al Control se ubicaron en el entorno al 50%, a excepción de uno de ellos donde las pérdidas fueron prácticamente totales. Este cultivar fue sistemáticamente afectado en todos los tratamientos de anegamiento.

Tamaño de grano (Clasificación 1ª + 2ª)

Cuadro 7. ANOVA para clasificación en cebada.

Fuente	gl	F-Valor	Pr > F
Rep(Aneg)	8	1.79	0.0938
Aneg	3	188.81	<.0001
Cultivar	9	2.34	0.0236
Aneg*Cultivar	27	0.61	0.9249

Cuadro 8. Clasificación (1ª + 2ª) por ensayo.

Aneg	1a + 2a
Control	88 a
Aneveg	75 b
AnevegF	73 b
Anerep	29 c

Cuadro 9. Clasificación (%) por variedad y por régimen hídrico, porcentaje respecto al control y probabilidad del contraste.

Cultivar	Control	Aneveg	% respecto	Pr > t	AnevegF	% respecto	Pr > t	Anerep	% respecto	Pr > t
			Control			Control			Control	
ACKERMAN MADI	86	82	-4	0.6700	78	-9	0.2890	27	-68	<.0001
MUSA 19	86	78	-8	0.3516	76	-11	0.2074	28	-68	<.0001
AMBEV 84	87	80	-8	0.3514	76	-13	0.1563	27	-69	<.0001
CLE 202 (INIA CEIBO)	80	70	-12	0.2201	69	-13	0.1684	30	-62	<.0001
CLE 233 (INIA ARRAYA)	87	72	-18	0.0467	67	-23	0.0098	32	-63	<.0001
CLE 268	92	79	-15	0.1147	80	-13	0.1682	36	-61	<.0001
CLE 270	91	79	-13	0.1635	81	-11	0.2580	27	-70	<.0001
CONCHITA	88	63	-29	0.0041	60	-32	0.0005	28	-69	<.0001
KWS ALICIANA	92	79	-14	0.0899	79	-14	0.0958	38	-59	<.0001
MOSA 08/203	89	68	-24	0.0069	63	-29	0.0011	22	-76	<.0001
Promedio	88	75	-15		73	-17		29	-66	

El tamaño de grano (clasificación 1ª + 2ª) fue afectado por el anegamiento, tanto en vegetativo (merma de 15% en promedio), como en reproductivo donde se observó el efecto mayor (merma de 66% en promedio) (Cuadros 8 y 9). Si bien en **Aneveg** hubo algunos cultivares que disminuyeron significativamente su tamaño de grano, la mayoría no difirió del **Control**. El **Anerep** ocasionó que todos los cultivares redujeran drásticamente su tamaño de grano, quizás porque se afectó el tamaño de

carpelos y/o el número de células del endosperma al inicio del llenado de grano. No se observó un efecto en clasificación por la reposición de N (Cuadro 9).

Peso de mil granos (PMG)

Cuadro 10. ANOVA para PMG.

Fuente	gl	F-Valor	Pr > F
Rep(Aneg)	8	2.4	0.022
Aneg	3	153.69	<.0001
Cultivar	11	5.15	<.0001
Aneg*Cultivar	33	1.74	0.0217

Cuadro 11. PMG por ensayo.

Aneg	PMG	
Control	39	a
Aneveg	35	b
AnevegF	35	b
Anerep	24	c

Cuadro 12. PMG por variedad y por régimen hídrico, porcentaje respecto al control y probabilidad del contraste.

	Control	Aneveg	% respecto Control	Pr > t	AnevegF	% respecto Control	Pr > t	Anerep	% respecto Control	Pr > t
ACKERMAN MADI	38.5	37.0	-4	0.5208	35.7	-7	0.2461	21.4	-44	<.0001
MUSA 19	39.6	36.9	-7	0.2546	37.2	-6	0.3079	25.0	-37	<.0001
AMBEV 84	38.2	36.4	-5	0.4387	34.8	-9	0.1490	23.2	-39	<.0001
CLE 202 (INIA CEIBO)	32.9	33.7	3	0.7291	30.1	-8	0.2557	22.1	-33	<.0001
CLE 233 (INIA ARRAYAN)	39.7	35.1	-12	0.0580	33.6	-15	0.0128	28.0	-29	<.0001
CLE 267	39.1	35.0	-10	0.0917	36.0	-8	0.1962	19.8	-49	<.0001
CLE 268	40.0	36.8	-8	0.1819	37.9	-5	0.3728	27.7	-31	<.0001
CLE 270	40.4	35.0	-13	0.0485	37.5	-7	0.2826	24.6	-39	<.0001
CONCHITA	43.2	35.3	-18	0.0042	32.9	-24	<.0001	25.0	-42	<.0001
KWS ALICIANA	41.6	34.2	-18	0.0028	33.0	-21	0.0006	24.1	-42	<.0001
LEA 1 (AVENA)	30.5	27.9	-9	0.2725	31.7	4	0.6250	26.1	-14	0.0683
MOSA 08/203	39.9	34.2	-14	0.0187	33.7	-16	0.0111	23.6	-41	<.0001
Promedio	38.6	34.8	-10		34.5	-10		24.2	-37	

Se observó un efecto significativo del anegamiento sobre la variable PMG. El control se diferenció significativamente de los tratamientos de anegamiento (Cuadro 11). El anegamiento afectó negativamente el peso de los granos, siendo el de comportamiento más deficitario el anegamiento en reproductivo.

La interacción de aneg*cultivar fue significativa (P=0.0217). Se observó un comportamiento deferencial entre cultivares frente al tratamiento Control en anegamiento en vegetativo. En el anegamiento en reproductivo todos los materiales fueron muy afectados en la variable PMG. En el anegamiento vegetativo, el **AnevegF** determinó que en los cultivares CLE 267 y CLE 270 no se detectara diferencia significativa en el PMG con respecto al Control (Cuadro 12, Figura 7).

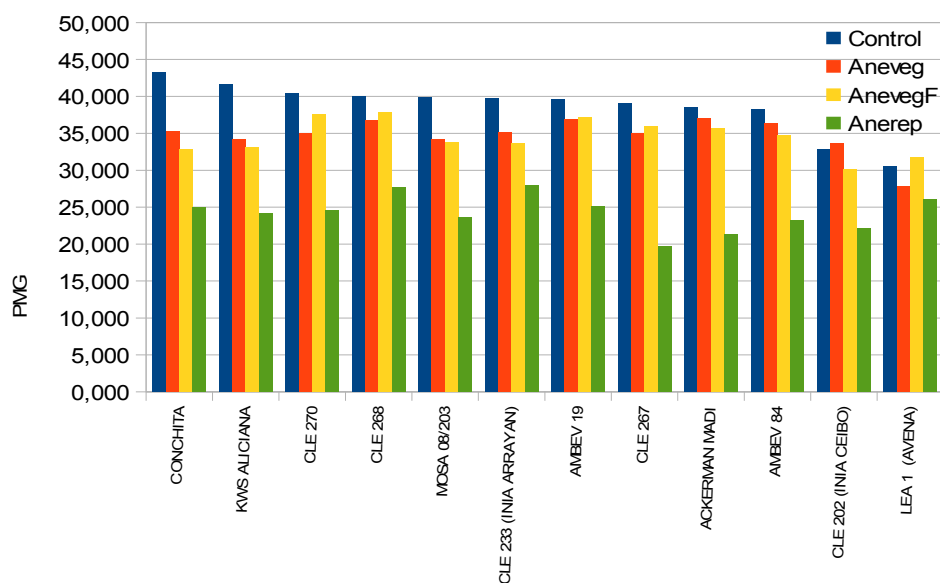


Figura 7. PMG por variedad y por anegamiento.

Proteína (en base seca)

Cuadro 13. ANOVA para proteína en base seca.

Fuente	gl	F-Valor	Pr > F
Rep(Aneg)	8	3.04	0.0056
Aneg	3	64.33	<.0001
Cultivar	9	14.89	<.0001
Aneg*Cultivar	27	0.76	0.7835

Cuadro 14. Proteína en base seca por ensayo.

Aneg	Proteína (%bs)	
Anerep	13,9	a
AnevegF	12,6	b
Aneveg	12,2	c
Control	12,1	c

Cuadro 15. Proteína en base seca por variedad y por régimen hídrico, porcentaje respecto al control y probabilidad del contraste.

	Control	Aneveg	% respecto Control	Pr > t	AnevegF	% respecto Control	Pr > t	Anerep	% respecto Control	Pr > t
ACKERMAN MADI	12.4	12.5	2	0.6894	13.2	7	0.0447	14.4	16	<.0001
MUSA 19	13.3	13.0	-2	0.6133	13.3	0	1.0000	14.9	12	0.001
AMBEV 84	11.9	11.7	-2	0.6241	11.8	-1	0.8063	14.1	19	<.0001
CLE 202 (INIA CEIBO)	12.0	11.9	-1	0.8182	12.3	2	0.5154	14.3	19	<.0001
CLE 233 (INIA ARRAYÁN)	11.8	12.1	2	0.5008	12.4	5	0.1708	13.5	14	0.000
CLE 268	13.0	12.9	0	0.9012	13.2	1	0.7466	14.4	11	0.005
CLE 270	12.5	12.5	0	0.9699	13.4	7	0.0753	14.8	18	<.0001
CONCHITA	12.1	12.2	1	0.7552	12.3	1	0.7017	13.1	8	0.025
KWS ALICIANA	11.1	11.4	3	0.4536	12.0	8	0.0531	13.0	17	<.0001
MOSA 08/203	11.2	11.2	0	0.9206	11.8	5	0.2227	13.0	15	0.008
Promedio	12.1	12.2	0		12.6	4		13.9	15	

Hubo efecto del anegamiento sobre la proteína. Como sucede comúnmente cuando hay reducción del rendimiento, el porcentaje de proteína se incrementa por un efecto de la concentración en el total de material seca. El tratamiento de anegamiento en reproductivo fue el de mayor porcentaje de proteína, diferenciándose significativamente de anegamiento en etapa vegetativa y del control.

A pesar que la reposición de nitrógeno luego del anegamiento vegetativo fue equivalente a una fertilización temprana del cultivo (alrededor de Z 30), se observó un incremento de 0,4% en el porcentaje de proteína, diferenciándose significativamente del anegamiento vegetativo sin reposición del nitrógeno perdido por el exceso de agua. El porcentaje de proteína en promedio en el **Control** y en **Aneveg** estuvo dentro del rango aceptable por la industria, mientras que el **AnevegF** y **Anerep** tuvieron en promedio valores de rechazo en recibo industrial.

Resultados - Trigo

(Comparación sólo entre tratamientos de anegamiento)

Rendimiento

Cuadro 16. ANOVA para rendimiento.

Fuente	gl	F-Valor	Pr > F
Rep(Aneg)	6	2.5	0.0317
Aneg	2	6.6	0.0026
Cultivar	10	6.96	<.0001
Aneg*Cultivar	20	4.3	<.0001

Cuadro 17. Rendimiento por ensayo.

Aneg	Rend
Anerep	5792 a
Aneveg	5114 b
AnevegF	5109 b

Cuadro 18. Rendimiento por variedad y por anegamiento, porcentaje respecto al anegamiento en vegetativo y probabilidad del contraste.

Cultivar	Aneveg	AnevegF	% respecto Aneveg	Pr > t	Anerep	% respecto Aneveg	Pr > t
BAGUETTE 601	6472	6202	-4	0.7068	8391	30	0.0096
BAGUETTE 9	5477	4828	-12	0.3689	6719	23	0.0883
LE 2331 (INIA DON ALBERTO)	3841	4633	21	0.2739	6557	71	0.0004
LE 2332 (INIA MADRUGADOR)	3957	3529	-11	0.5533	5429	37	0.0443
LE 2333 (INIA CARPINTERO)	4012	3701	-8	0.6665	6640	66	0.0005
LE 2354 (GENESIS 2354)	5747	5252	-9	0.4921	5607	-2	0.8460
LE 2358 (GENESIS 2358)	5170	6051	17	0.2240	3139	-39	0.0063
LE 2359 (GENESIS 2359)	5440	5281	-3	0.8257	3711	-32	0.0190
LE 2366 (GENESIS 2366)	5038	6387	27	0.0646	4772	-5	0.7125
LE 2375	5825	5850	0	0.9726	7124	22	0.0749
NOGAL	5273	4489	-15	0.2785	5618	7	0.6319
Promedio	5114	5109	0		5792	13	

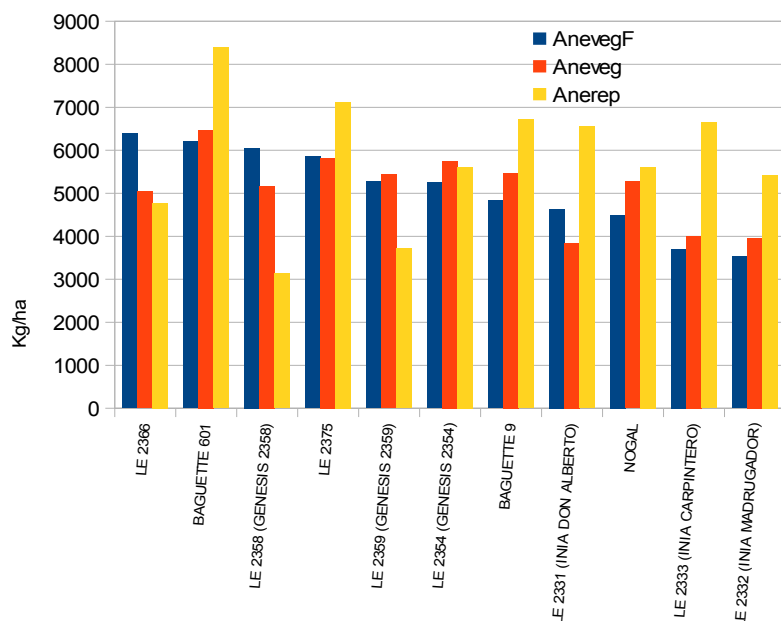


Figura 8. Rendimiento promedio por variedad y por anegamiento.

Los trigos bajo anegamiento en reproductivo mostraron en general mejor desempeño en rendimiento (13% más que el **Aneveg**) que en los dos anegamientos vegetativos (Cuadro 17).

La interacción Aneq*Cultivar fue significativa ($P < 0.0001$), lo que indica que el comportamiento de cada variedad varió de acuerdo al momento en que se impuso el estrés, o la reposición o no de N (Cuadro 18).

La respuesta a la fertilización en el anegamiento vegetativo no fue la esperada. Las diferencias entre fertilizado y no fertilizado no fueron consistentes, algunos cultivares incrementaron el rendimiento mientras que otros mostraron rendimientos más bajos en el tratamiento con reposición de nitrógeno. En el caso particular de GÉNESIS 2366 se observó un 27% de incremento en rendimiento de grano ($P = 0.0646$) por el hecho de reponer el N luego del tratamiento de anegamiento vegetativo.

Peso de mil granos (PMG)

Cuadro 19. ANOVA para PMG.

Fuente	gl	F-Valor	Pr > F
Rep(Aneq)	6	2.0	0.0768
Aneq	2	22.6	<.0001
Cultivar	10	15.5	<.0001
Aneq*Cultivar	20	0.8	0.754

Cuadro 20. PMG por ensayo.

Aneq	PMG
AneqF	35.1 a
Aneveg	35.0 a
Anerep	30.5 b

Cuadro 21. PMG por variedad y por anegamiento, porcentaje de disminución respecto al anegamiento en vegetativo y probabilidad del contraste.

	Aneveg	AnevegF	% respecto Aneveg	Pr > t	AneRep	% respecto Aneveg	Pr > t
BAGUETTE 601	33.0	36.8	12	0.1470	30.9	-6	0.4232
BAGUETTE 9	45.0	42.3	-6	0.2966	37.1	-18	0.0033
LE 2331 (INIA DON ALBERTO)	35.2	38.0	8	0.2836	33.0	-6	0.3990
LE 2332 (INIA MADRUGADOR)	36.2	34.1	-6	0.4170	29.1	-20	0.0081
LE 2333 (INIA CARPINTERO)	34.5	35.3	2	0.7508	31.6	-8	0.2676
LE 2354 (GENESIS 2354)	39.3	40.1	2	0.7483	34.4	-12	0.0660
LE 2358 (GENESIS 2358)	27.7	26.7	-4	0.7005	23.4	-16	0.1009
LE 2359 (GENESIS 2359)	35.4	34.1	-3	0.6387	33.2	-6	0.4004
LE 2366 (GENESIS 2366)	33.1	32.9	-1	0.9434	26.1	-21	0.0090
LE 2375	35.2	33.2	-6	0.4399	32.5	-8	0.3060
NOGAL	30.0	32.4	8	0.3526	24.0	-20	0.0234
Promedio	35.0	35.1	1		30.5	-13	

La variable PMG fue afectada solamente en el anegamiento reproductivo, sin embargo esto no se reflejó en el rendimiento. El comportamiento de los cultivares en anegamiento reproductivo fue el esperado, todos mostraron reducción en el tamaño de grano. No obstante se manifestaron diferencias entre los cultivares con mermas en el PMG que fluctuaron entre 6 a 21 % respecto al **Aneveg**.

Peso hectolítrico

Cuadro 22. ANOVA para peso hectolítrico.

Fuente	gl	F-Valor	Pr > F
Rep(Aneg)	6	0.7	0.6349
Aneg	2	16.6	<.0001
Cultivar	10	8.0	<.0001
Aneg*Cultivar	20	1.2	0.2867

Cuadro 23. Peso hectolítrico por ensayo.

Aneg	PH	
Aneveg	74,1	a
AnevegF	72,6	a
Anerep	68,9	b

Cuadro 24. Peso hectolítrico por variedad y por anegamiento, porcentaje respecto al anegamiento vegetativo y probabilidad del contraste.

	Aneveg	AnevegF	% respecto Aneveg	Pr > t	AneRep	% respecto Aneveg	Pr > t
BAGUETTE 601	75.3	73.7	-2	0.5961	72.6	-4	0.7274
BAGUETTE 9	70.9	69.0	-3	0.5436	66.8	-6	0.4969
LE 2331 (INIA DON ALBERTO)	74.7	73.2	-2	0.6273	69.9	-6	0.2937
LE 2332 (INIA MADRUGADOR)	73.3	73.0	0	0.9136	70.5	-4	0.4239
LE 2333 (INIA CARPINTERO)	75.4	77.7	3	0.4641	76.5	1	0.6957
LE 2354 (GENESIS 2354)	74.2	68.9	-7	0.0978	67.0	-10	0.5352
LE 2358 (GENESIS 2358)	74.8	71.9	-4	0.3582	58.9	-21	<.0001
LE 2359 (GENESIS 2359)	70.3	68.4	-3	0.5408	64.1	-9	0.1761
LE 2366 (GENESIS 2366)	73.5	73.6	0	0.9729	69.5	-5	0.1969
LE 2375	80.0	79.9	0	0.9788	77.7	-3	0.4963
NOGAL	73.3	69.9	-5	0.2837	64.3	-12	0.0799
Promedio	74.1	72.6	-2		68.9	-7	

Se observó efecto significativo del anegamiento sobre el peso hectolítrico. El **Anerep** manifestó la tendencia esperada, menor peso hectolítrico, diferenciándose significativamente del resto de los anegamientos en vegetativo. La interacción aneg*cultivar no fue significativa, sin embargo en el **Anerep** hay grandes diferencias que van desde 1 a -21% comparado con el **Aneveg**.

Proteína (base 13.5% humedad)

Cuadro 25. ANOVA para proteína.

Fuente	gl	F-Valor	Pr > F
Rep(Aneg)	6	3.5	0.0052
Aneg	2	14.9	<.0001
Cultivar	10	7.5	<.0001
Aneg*Cultivar	20	2.5	0.0029

Cuadro 26. Proteína por ensayo.

Aneg	Proteína	
Anerep	13,1	a
AnevegF	12,7	b
Aneveg	12,2	c

Cuadro 27. Proteína por variedad y por anegamiento, porcentaje de disminución respecto al anegamiento vegetativo y probabilidad del contraste.

	Aneveg	AnevegF	% respecto Aneveg	Pr > t	Anerep	% respecto Aneveg	Pr > t
BAGUETTE 601	11.8	11.7	0	0.9442	12.9	9	0.0472
BAGUETTE 9	11.3	12.1	7	0.1966	11.7	4	0.5880
LE 2331 (INIA DON ALBERTO)	13.3	12.9	-3	0.4706	12.9	-3	0.9628
LE 2332 (INIA MADRUGADOR)	11.9	13.0	10	0.0466	12.9	9	0.8337
LE 2333 (INIA CARPINTERO)	14.2	14.5	2	0.6042	13.4	-6	0.0573
LE 2354 (GENESIS 2354)	11.7	13.5	16	0.0019	13.4	15	0.8520
LE 2358 (GENESIS 2358)	11.8	12.4	5	0.3179	14.8	25	0.0001
LE 2359 (GENESIS 2359)	12.1	11.8	-3	0.5643	12.7	5	0.0924
LE 2366 (GENESIS 2366)	12.3	12.6	3	0.5801	13.7	11	0.0811
LE 2375	11.9	12.1	2	0.6411	12.2	3	0.8841
NOGAL	11.7	13.0	10	0.0371	13.7	16	0.2087
Promedio	12.2	12.7	4		13.1	8	

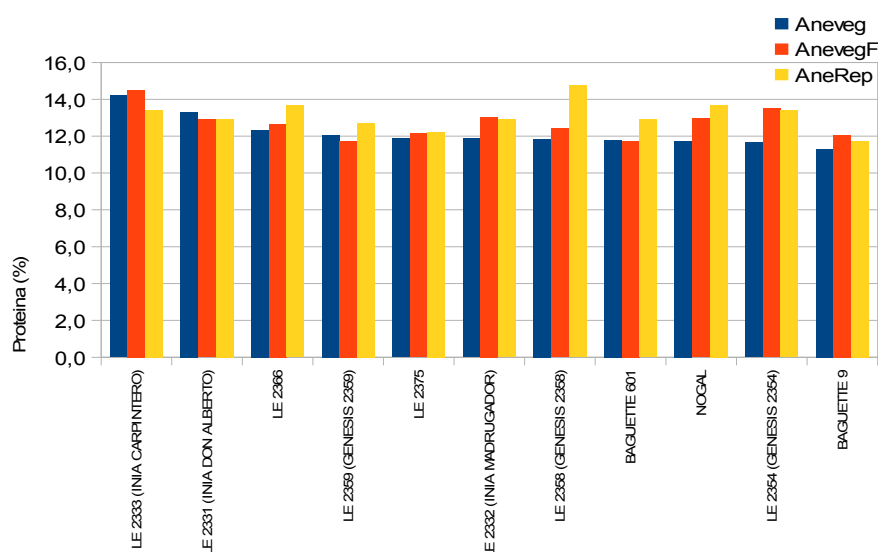


Figura 9. Proteína por variedad y por anegamiento.

Se observó efecto significativo del anegamiento sobre la proteína, el **Anerep** fue el que presentó mayor porcentaje de proteína. En el caso de trigo el mayor porcentaje de proteína del **Anerep** no se debe a un efecto de concentración ya que los rendimientos fueron mayores en este régimen hídrico que en los anegamientos vegetativos. Se manifestó la misma tendencia que en cebada, la fertilización luego del anegamiento se reflejó en mayor contenido de proteína en promedio, diferenciándose significativamente el **AnevegF** del **Aneveg** (Cuadro 26).

Conductancia estomática (gs) (Control y Aneveg)

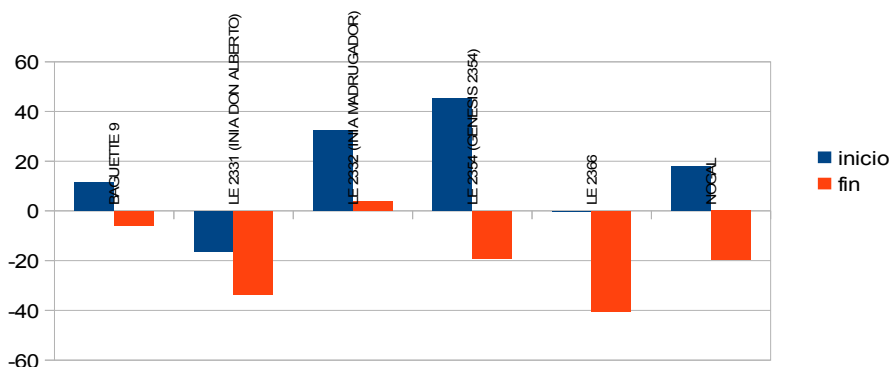


Figura 10. Reducción porcentual de la conductancia estomática de trigo en el Aneveg respecto al Control.

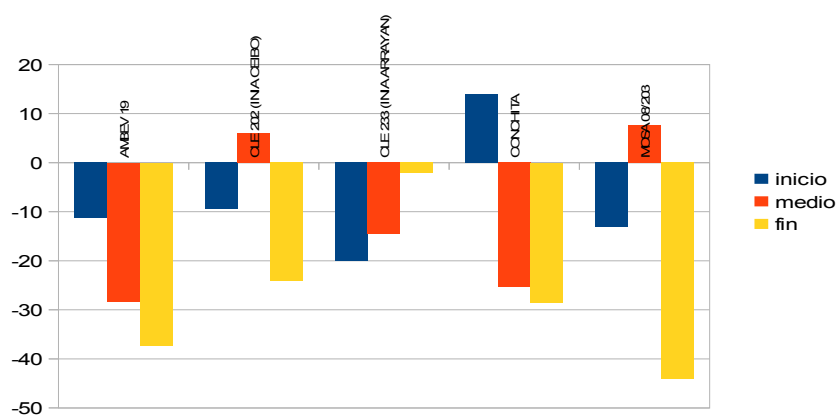


Figura 11. Reducción porcentual de la conductancia estomática de cebada en el Aneveg respecto al control.

Como era esperable en ambas especies - trigo y cebada- las diferencias en conductancia estomática entre el tratamiento anegado y el Control se amplificaron al final del anegamiento (Figuras 10 y 11). Mientras al inicio y mitad del periodo de anegamiento algunos cultivares redujeron más del 20% la conductancia y otros mantuvieron valores similares al Control, en el último día de anegamiento todos los cultivares medidos presentaron valores menores de conductancia estomática que en el tratamiento Control. Esto denota que los materiales estresados por el exceso hídrico estaban fotosintetizando menos que los no estresados.

En el caso de cebada donde se cuenta con datos de rendimiento del ensayo Control, de las variedades donde se midió gs, se observó una caída importante de la misma con respecto al Control, sobretudo al final del período de anegamiento, en CONCHITA, MOSA 08/203 y MUSA 19. Estos cultivares tuvieron mermas de rendimiento en el Aneveg con respecto al control de 34%, 23% y 14% respectivamente (Cuadro 6). Sin embargo, la correlación de gs con rendimiento no fue significativa.

Indicador de contenido de clorofila (SPAD)

Anegamiento vegetativo

El valor de SPAD, como era esperable, tiene una caída mayor hacia el final del período medido en los materiales bajo anegamiento vegetativo que la caída natural que se dio en el Control, tanto en trigo como en cebada. El efecto de la hipoxia que sufren los materiales se denota en un amarillamiento mayor de las hojas en esas condiciones, causado tal vez por una mayor pérdida de clorofila y por ende una menor actividad fotosintética, lo cual se refleja en la medición de SPAD realizada (Figuras 12 y 13).

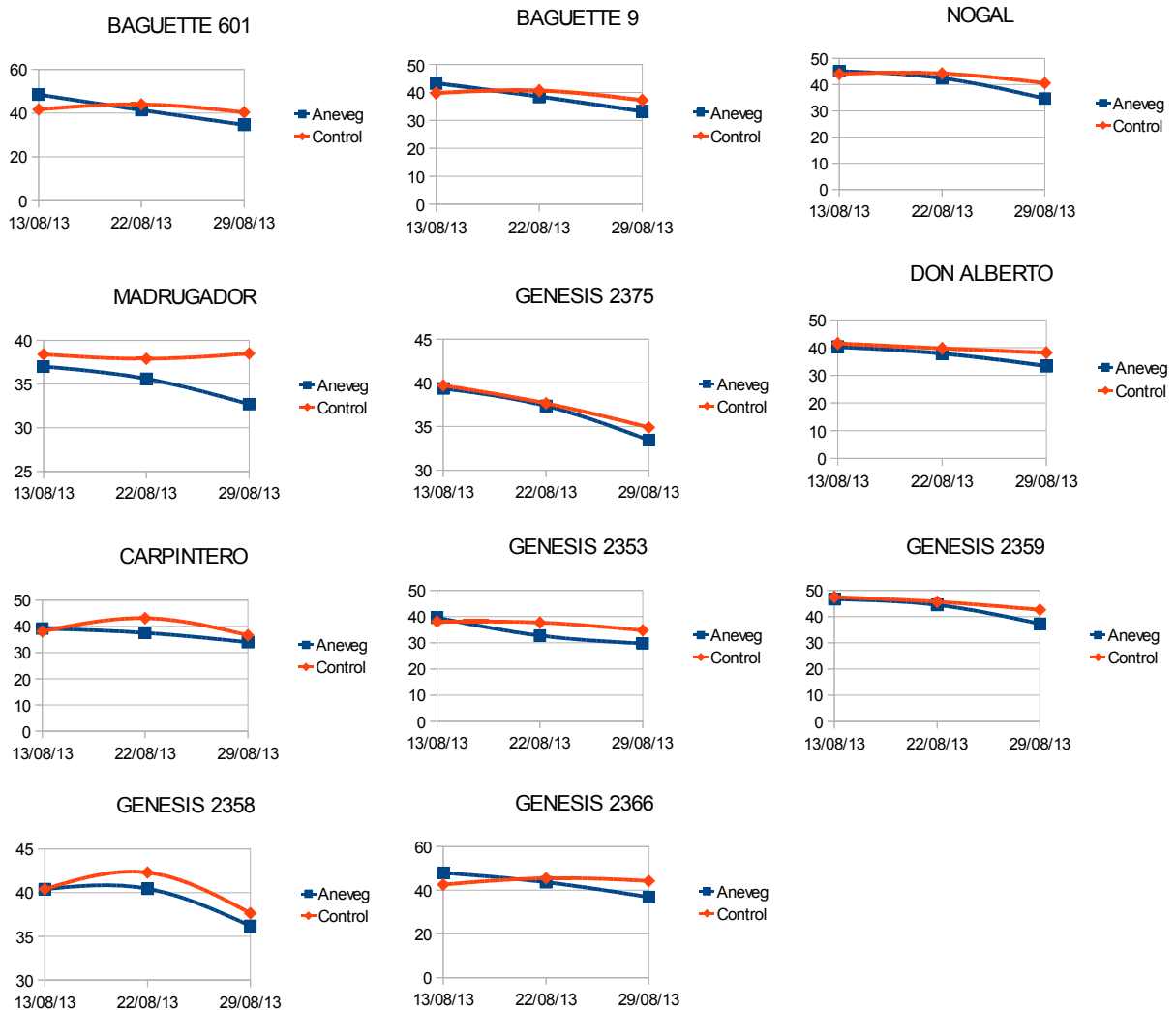


Figura 12. Evolución de las medidas de SPAD en cultivares de trigo al inicio (13/8), mitad (22/8) y fin (29/8) del anegamiento vegetativo.

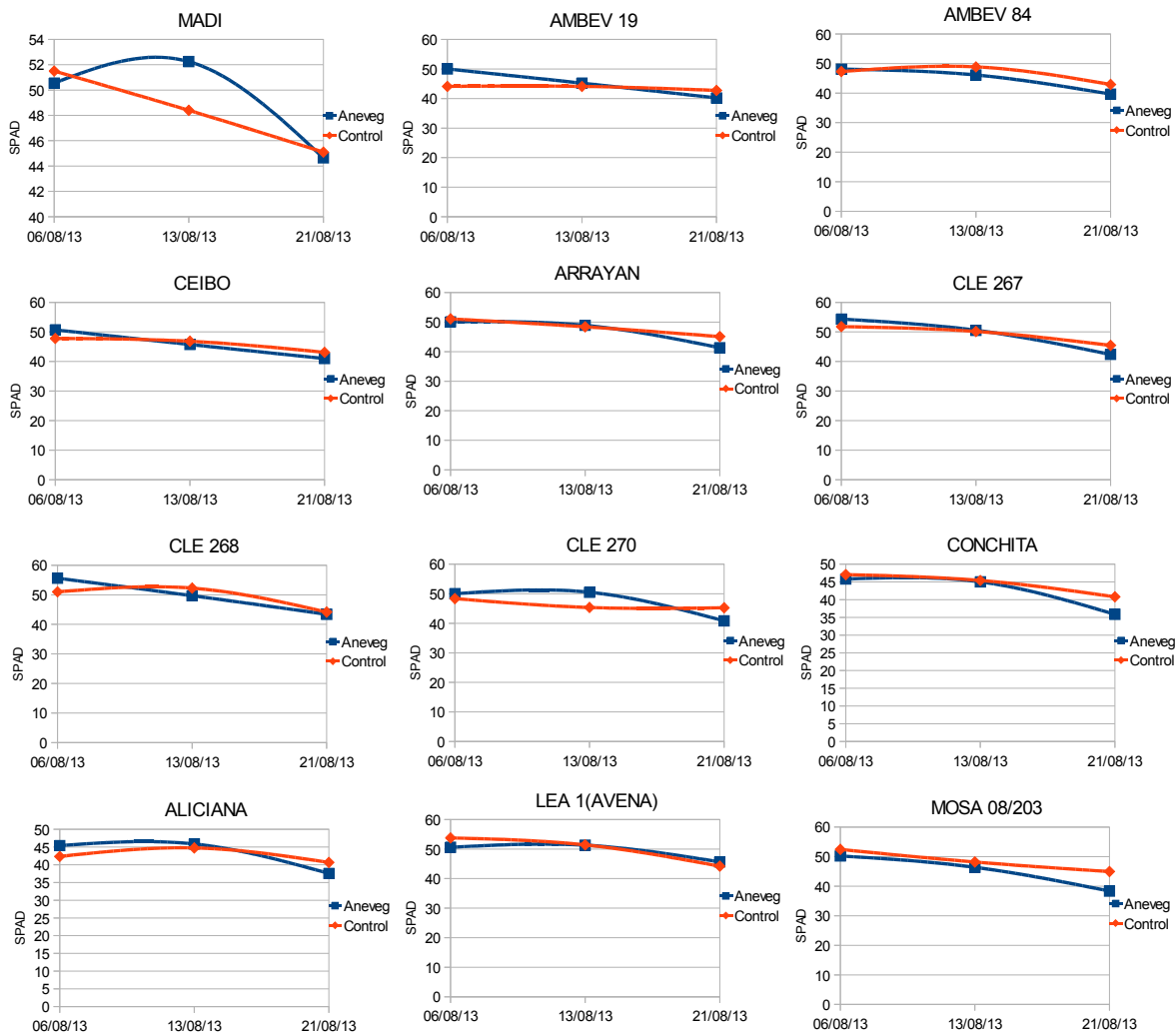


Figura 13. Evolución de las medidas de SPAD en cultivares de cebada y avena al inicio (6/8), mitad (13/8) y fin (21/8) del anegamiento vegetativo.

En la Figura 14 se observa que existe una tendencia a obtener mayor rendimiento en grano en cebada en el régimen hídrico **Aneveg** cuanto mayor es el valor de SPAD medido. En el caso de CLE 268 y ACKERMAN MADI, los valores de SPAD fueron de los más altos al final del Aneveg, y similares a los obtenidos en el control (diferencia de SPAD entre regímenes hídricos de 0.8 y 0.4 unidades respectivamente) (Figura 13), y los rendimientos, PMG y clasificación en ambos regímenes hídricos para cada cultivar fueron comparables (Cuadros 6, 9 y 12). Los cultivares que tuvieron mermas significativas de rendimiento en Aneveg, tuvieron valores de SPAD entre 3.1 y 6.6 unidades menos que el control. En estas condiciones de anegamiento, el SPAD puede ser una herramienta adecuada para determinar a priori aquellos materiales que no reducirían tan drásticamente su rendimiento a la cosecha.

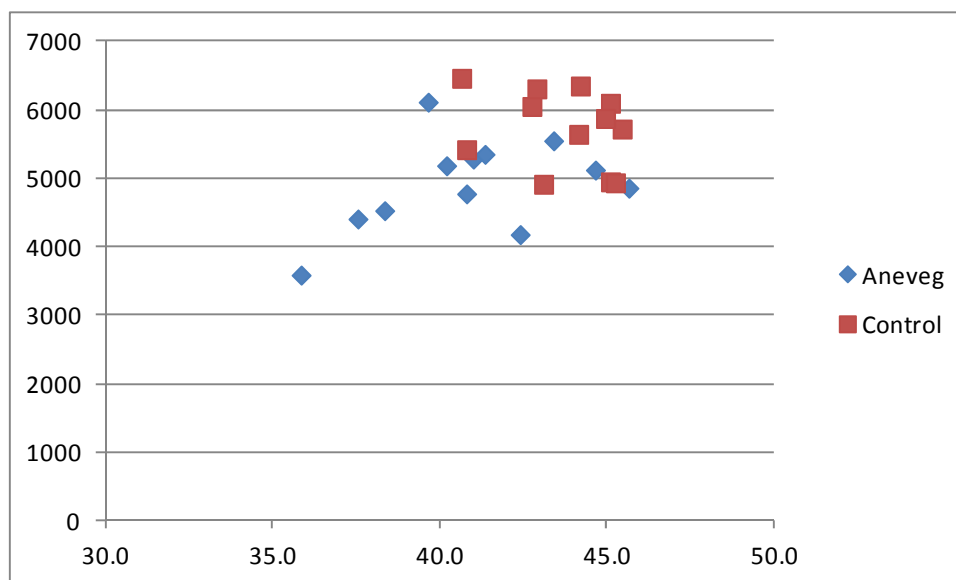


Figura 14. Relación entre valor de SPAD y rendimiento (kg.ha⁻¹) en cebada.

Anegamiento en reproductivo

Tanto en trigo como en cebada los valores de SPAD resultaron muy erráticos comparando el **Control** con el **Anerep**. Seguramente esto es debido a que los cultivares empiezan una senescencia natural independientemente del régimen hídrico.

Consideraciones finales

Cebada y Avena

El efecto del anegamiento en rendimiento de cebada y avena fue significativo. Las pérdidas en promedio de rendimiento de grano en cebada fueron del orden de 13% y 56%, y en clasificación, 15% y 66%, en Aneveg y Anerep respectivamente. En el cultivar de avena las pérdidas ascendieron a 23% y 43% considerando esas etapas de anegamiento.

Los cultivares de cebada que en Aneveg no presentaron mermas significativas de rendimiento y clasificación fueron ACKERMAN MADI, MUSA 19, AMBEV 84, INIA CEIBO, CLE 268 y CLE 270. En Anerep todos presentaron reducciones significativas en rendimiento (rango de 43% a 96% de merma) y en clasificación (rango de pérdidas de 61 a 76% con respecto al Control).

La reposición del N luego del anegamiento vegetativo tuvo un efecto positivo sobre el rendimiento en los cultivares CONCHITA, KWS ALICIANA (manteniendo nivel aceptable de proteína) y la avena LEA 1; y sobre el PMG de CLE 267 y CLE 270.

Los valores de SPAD en cebada al final del anegamiento en estado vegetativo pueden ser una herramienta útil para detectar cultivares tolerantes a ese estrés.

Trigo

En trigo hubo diferencias significativas en rendimiento entre anegamiento en vegetativo y reproductivo, teniendo este último un promedio 13% mayor que el primero, aunque con PMG y PH menores que en Aneveg.

La interacción Aneg*Cultivar para rendimiento fue significativa, lo que indica que el comportamiento de cada variedad varió de acuerdo al momento en que se impuso el estrés, o la reposición o no de N.

Se observaron elevados rendimientos, aún después del Anerep, en los cultivares BAGUETTE 601, BAGUETTE 9, I. DON ALBERTO, I. MADRUGADOR, I. CARPINTERO y LE 2375.

GENESIS 2354, GENESIS 2366 y NOGAL no difirieron en rendimiento entre Aneveg y Anerep. GENESIS 2358 Y GENESIS 2359 se comportaron mejor en el Aneveg que en el Anerep.

La reposición del N luego del anegamiento vegetativo tuvo un efecto positivo sobre el rendimiento de GENESIS 2366, sin que variara el PMG y el PH.

Referencias Bibliográficas

- Castro, M., Berger, A., Ibáñez, V., Viega, L., Sastre, M. Vázquez, D., Gaso, D., Otero, A. 2011. Efecto del anegamiento en diferentes estados fenológicos de trigo y cebada. *In Mudancas climáticas globais: de gene a planta, XIII Congreso Brasileiro de Fisiología Vegetal y XIV Reunión Latinoamericana de Fisiología Vegetal*, Buzios, Brasil. p. 202.
- Castro, M.; Berger, A.; Viega, L.; Vázquez, D.; Gaso, D.; Otero, A. 2012. Effect of flooding stress on wheat and barley. *In Plant Abiotic Stress Tolerance II*, Viena, Austria. Abstracts N 164.
- Hoffman, E., Viega, L., Baeten, A., Lamarca, M., Wornicov, S. 2011. Respuesta de 7 cultivares de trigo al déficit y exceso hídrico durante el encañado. *Cangüé*. 31, 10 – 17.
- Labuschagne, M.T., and Tarekegne, A. 2003. Tolerance to waterlogging stress in bread wheat genotypes. *In Proceedings of the Tenth International Wheat Genetics Symposium*. Vol 1, 364-367. 1-6 setiembre, Paestum, Italia.
- Samad, A., Meisner, C.A., Saifuzzaman, M., and van Ginkel, M. 2001. Waterlogging tolerance. *In Reynolds, M.P., Ortiz-Monasterio, J.I., and McNab, A., eds. Application of Physiology in Wheat Breeding*. Mexico, D.F.: CIMMYT.
- Setter, T.L., and Waters, I. 2003. Review of prospects for germplasm improvement for waterlogging tolerance in wheat, barley and oats. *Plant and Soil* 253: 1-34.
- Setter TL, Waters I, Sharma SK, et al. 2009. Review of wheat improvement for waterlogging tolerance in Australia and India: the importance of anaerobiosis and element toxicities associated with different soils. *Annals of Botany* 103: 221–235.
- Zhou, M.Z. 2010. Improvement of plant waterlogging tolerance. In Mancuso S., Shabala, S., eds. *Waterlogging signaling and tolerance in plants*. Heidelberg, Germany: Springer-Verlag, 267-285.

Agradecimientos

Los autores agradecen a las empresas que aportaron los genotipos utilizados en este estudio.