

# Claves para la determinación del rendimiento en los ambientes de alto potencial del sur de Chile

Daniel F. Calderini



Universidad Austral de Chile

# Esquema de la Presentación

- Rendimientos comparativos entre el sur de Chile y otras regiones del mundo
- Análisis de variables del desarrollo y su impacto sobre la potencialidad del rendimiento
- Producción y partición de la biomasa: captura de radiación y conversión en biomasa, comparaciones con indicadores de otros sistemas productivos
- Análisis de los componentes numéricos del rendimiento y su relación con el potencial



## Combining high grain number and weight through a DH-population to improve grain yield potential of wheat in high-yielding environments

Daniela V. Bustos<sup>a,b</sup>, Ahmed K. Hasan<sup>a,b</sup>, Matthew P. Reynolds<sup>c</sup>, Daniel F. Calderini<sup>b,\*</sup>

<sup>a</sup> Graduate School, Faculty of Agricultural Sciences, Universidad Austral de Chile, Campus Isla Teja, Valdivia, Chile

<sup>b</sup> Institute of Plant Production and Protection, Universidad Austral de Chile, Campus Isla Teja, Valdivia, Chile

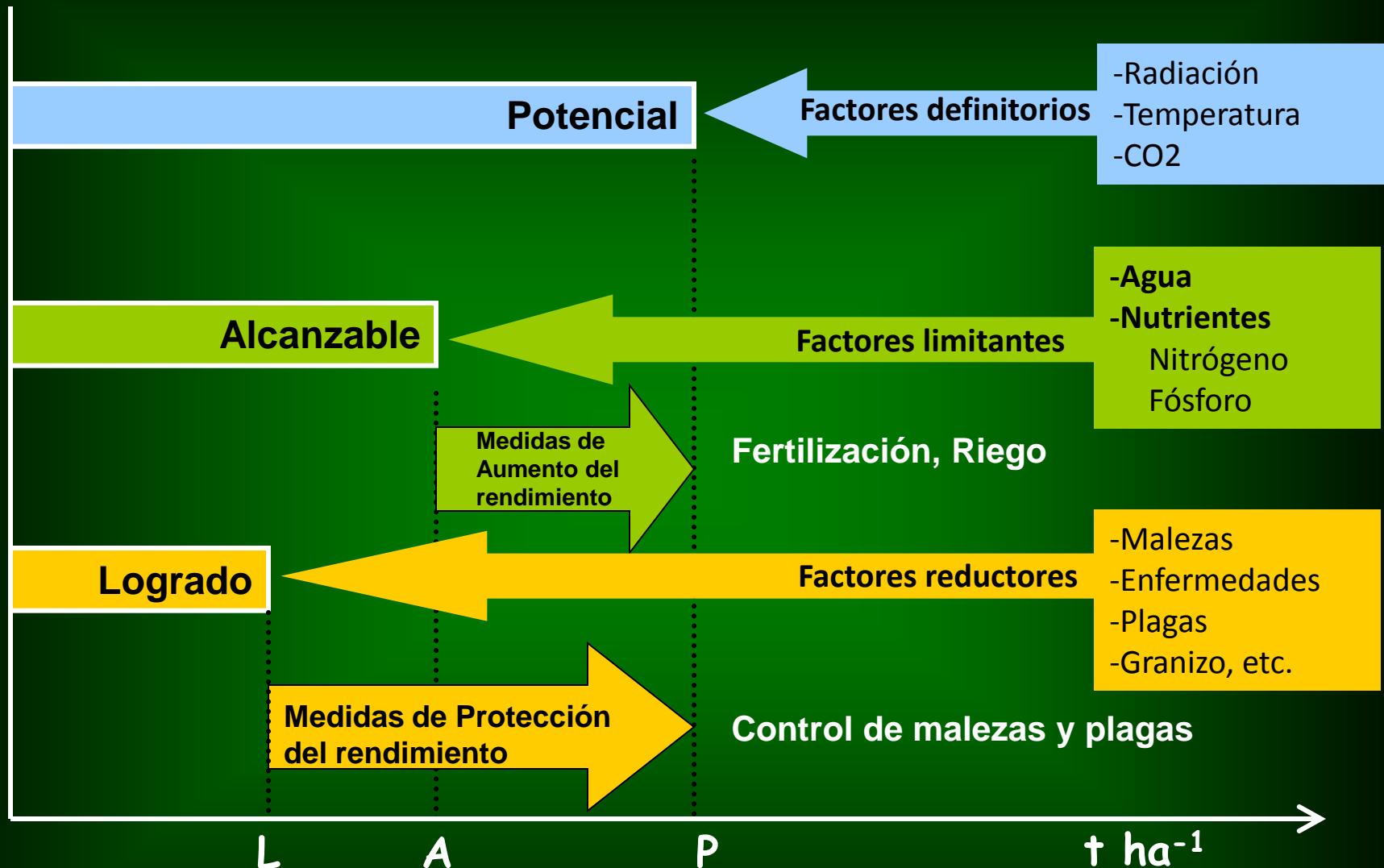
<sup>c</sup> Global Wheat Program, International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT), Apdo. Postal 6-641, 06600 México, D.F., Mexico

Dear Daniel

The exceptionally high DM and GY in experiments 1and 2  
So why is yield so high in Valdivia?

Tony Fischer

# CLASIFICACIÓN DE RENDIMIENTO Y FACTORES LIMITANTES A LA PRODUCCIÓN



Niveles de Producción de trigo

adaptado de Rabbinge, 1993.

# Trigos primaverales en Argentina, Inglaterra, México y Chile

## 2 cultivares y 105 líneas doble haploides

Location	Environments	Latitude	Longitude	Altitude	Sowing date	Seed rate m <sup>-2</sup>
Buenos Aires (ARG)	BA_09	34 35'S	58 29'W	26	July 5 <sup>th</sup> 2009	250
Norwich (UK)	CF_08	52°37'N	1°10'E	31	October 31 <sup>st</sup> 2007	
	CF_10	52°37'N	1°10'E	37	October 30 <sup>th</sup> 2009	
Cdad. Obregon (MEX)	Ob_07	27 25'N	109 54'W	38		180
	Ob_08	27 25'N	109 54'W	38		
	Ob_09	27 25'N	109 54'W	38		
	Ob_10	27 25'N	109 54'W	38	December 2 <sup>nd</sup> 2009	180
Valdivia (CHI)	Va_08	39 47'S	73 14'W	19	Aug 23 <sup>rd</sup> 2008	350
	Va_09	39 47'S	73 14'W	19	Sep 4 <sup>th</sup> 2009	350

Griffiths (datos no publicados)

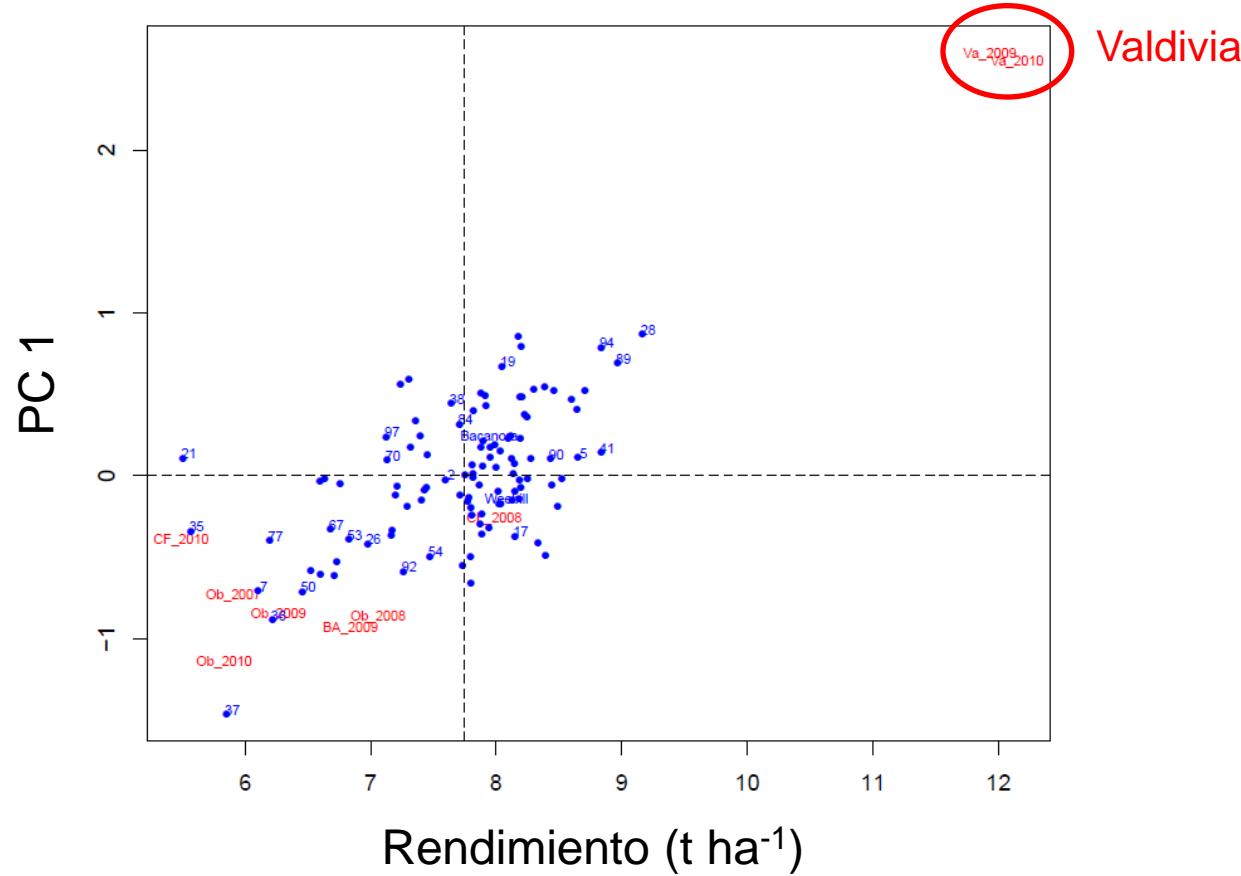
# Trigos primaverales en Argentina, Inglaterra, México y Chile

Genotype/ environment	Rendimiento	P1000	NG
Weebill	Ob_07	6.4	40.13
	Ob_08	-	-
	Ob_09	7.2	45.5
	Ob_10	5.9	46.0
	CF_08	9.8	-
	CF_10	6.3	50.1
	Va_09	<b>12.9</b>	45.4
Bacanora	Va_10	<b>12.7</b>	46.0
	BA_09	6.6	38.1
	Ob_07	6.1	36.2
	Ob_08	-	-
	Ob_09	6.1	34.1
	Ob_10	5.8	38.8
	CF_08	8.6	-
Weebill x Bacanora	CF_10	4.8	35.8
	Va_09	<b>11.7</b>	39.0
	Va_10	<b>11.8</b>	38.7
	BA_09	7.0	27.3
	Ob_07	6.5	38.0
	Ob_08	7.1	38.6
	Ob_09	6.3	37.7
	Ob_10	5.8	39.5
	CF_08	7.7	-
	CF_10	5.5	41.1
	Va_09	<b>11.9</b>	44.2
	Va_10	<b>12.2</b>	44.7
	BA_09	6.8	31.9
			21774

Griffiths (datos no publicados)

# Trigos primaverales en Argentina, Inglaterra, México y Chile

## 2 cultivares y 105 líneas doble haploides



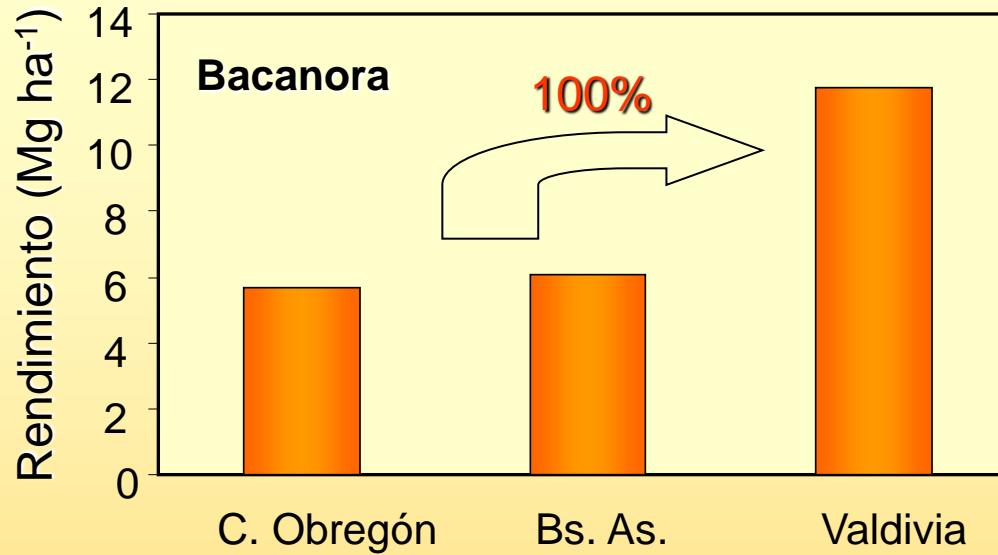
Griffiths (datos no publicados)

# Rendimientos de Trigo y Cebada

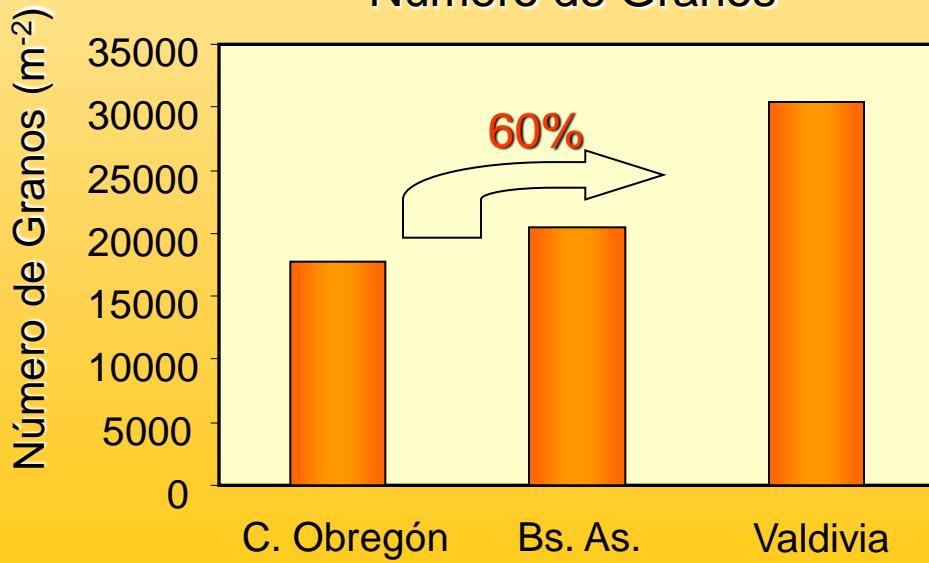
## (Experimentos en Valdivia)

Cultivo	Genotipo	Rendimiento (Mg ha <sup>-1</sup> )	Año	Fuente
Trigo	Dalcahue	11,6	2005	<i>Valle et al, 2009</i>
	Otto	12,4	2005	<i>Sandaña et al, 2009</i>
	Pandora	11,2	2010	<i>Bustos et al., 2013</i>
	Bacanora	12,6	2009	<i>Hasan et al., 2010</i>
Cebada	Acuario	11,0	2008	<i>Quiroz, 2010</i>
	Acuario	11,5	2009	<i>Quiroz, 2010</i>
	Scarlett	12,5	2010	<i>Marín, 2011</i>

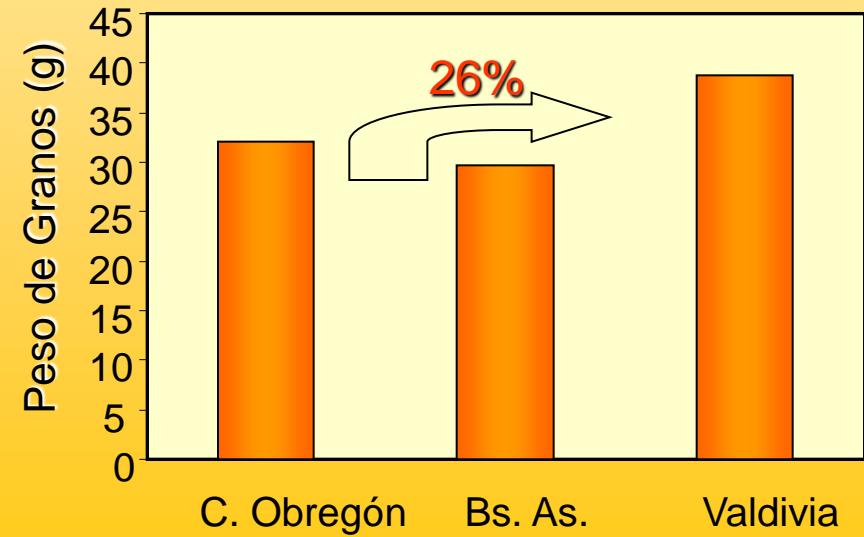
# RENDIMIENTOS de TRIGO



Número de Granos

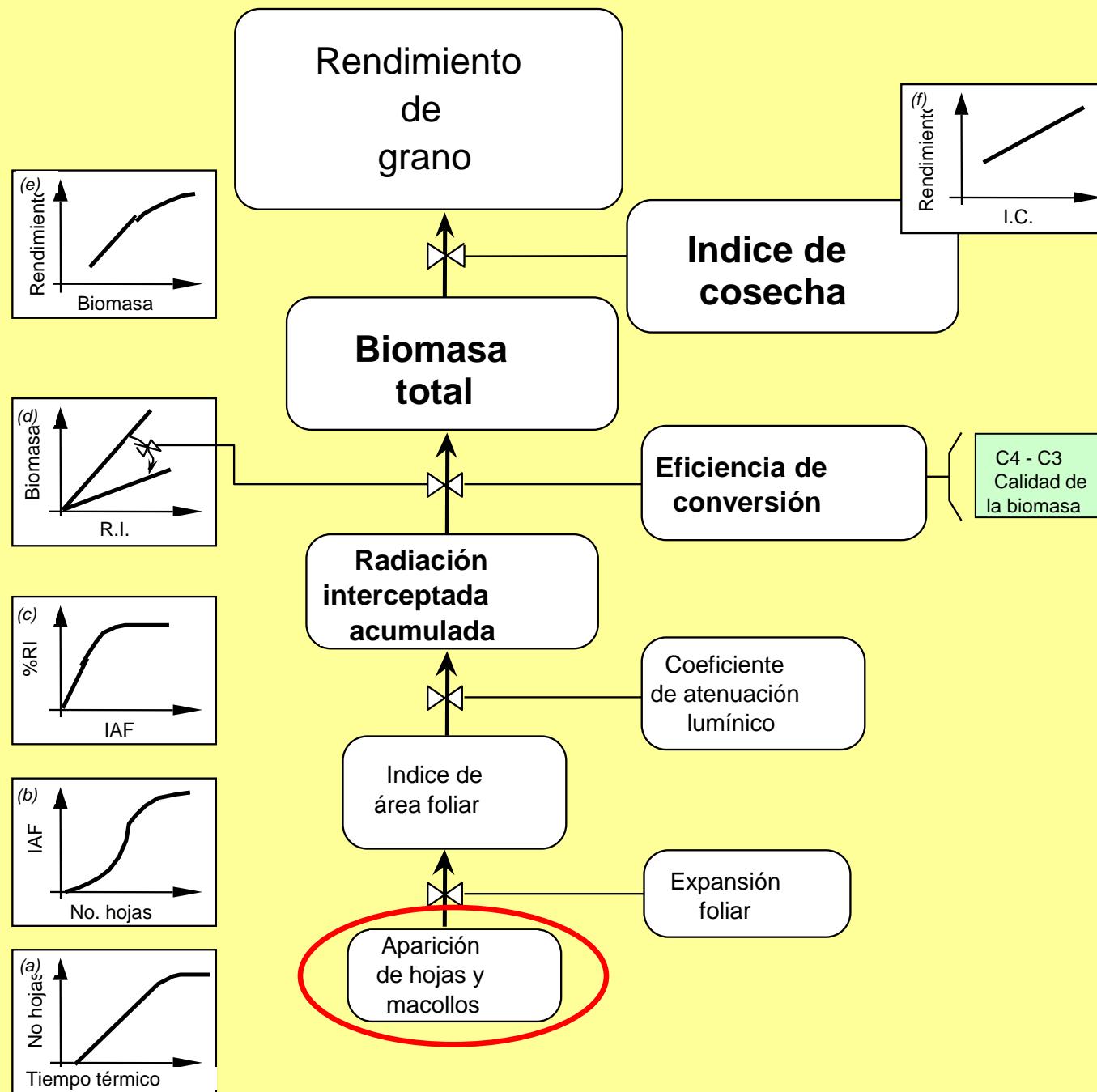


Peso de Granos

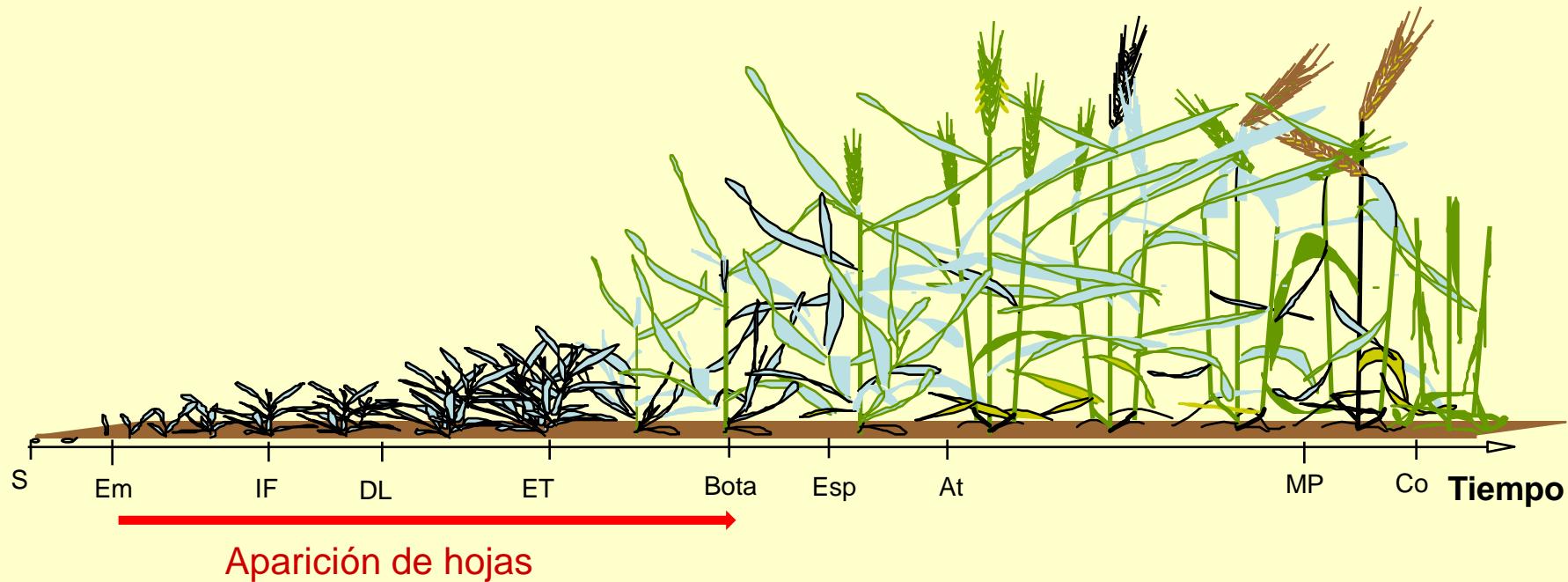


# Rendimientos de Cebada

Sitio	Genotipo	Rendimiento (Mg ha <sup>-1</sup> )	NG	PG (g)
Bs. As.	Scarlet	7,2	17104	40,6
	"	9,2	24581	37,8
Valdivia	"	12,5	74% 36%	57% 9%
		26773	46,6	15% 23%



# Ciclo del Cultivo de Trigo

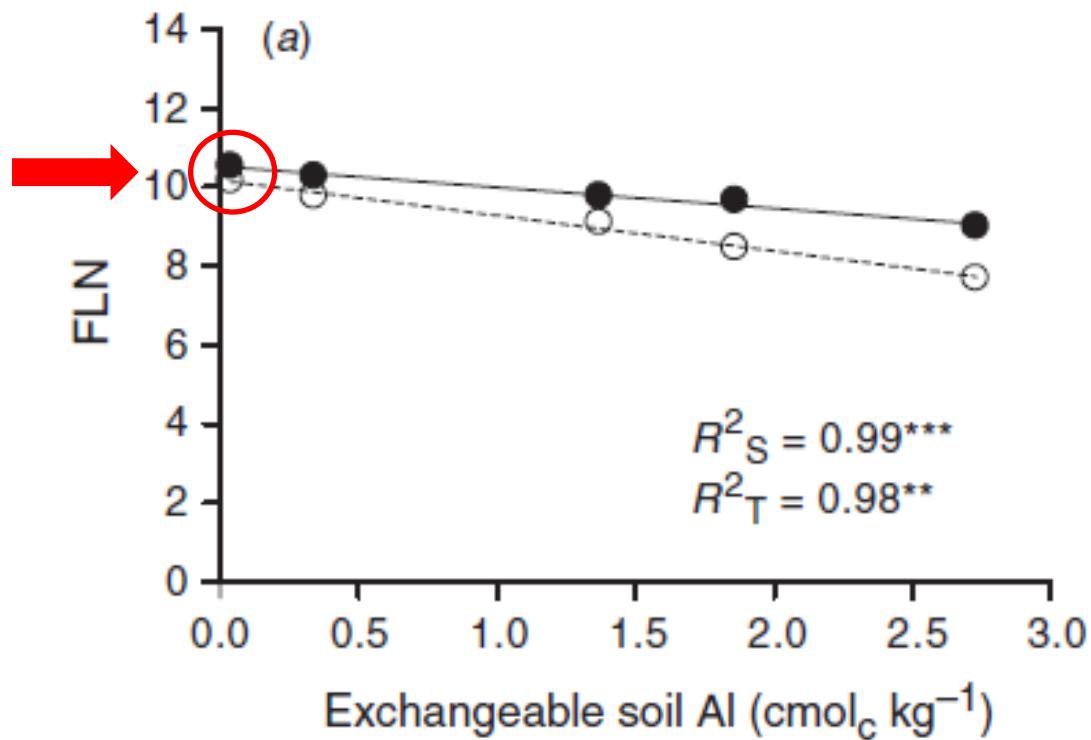


Fases



Adaptado de Slafer y Rawson (1994)

# Número de hojas en trigos primaverales (Valdivia)

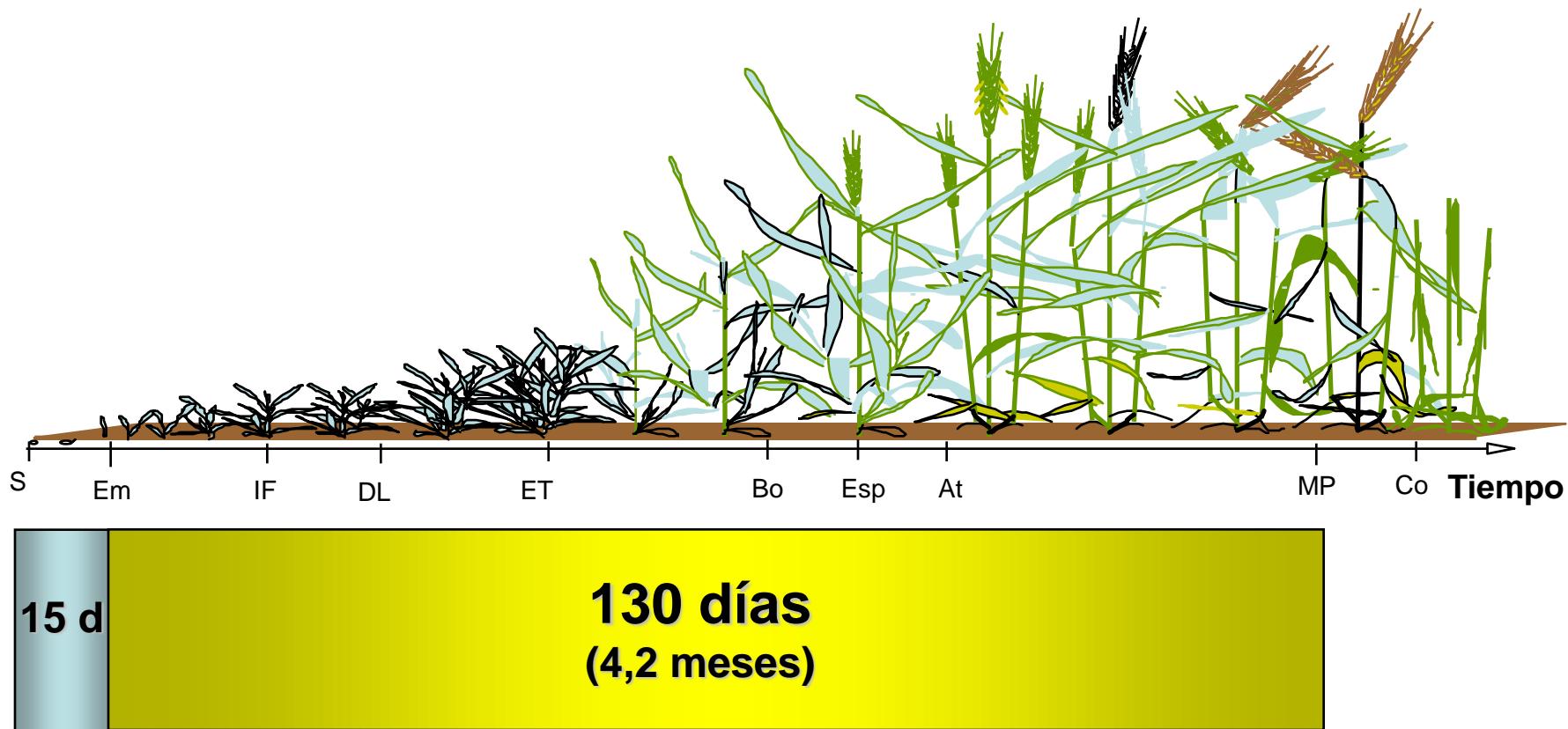


# Número de hojas y filocrono en cebada (Bs. As.) y trigos primaverales (Valdivia)

N <sub>110</sub> (exp. 1)	
FLN (leaf per main stem)	
M. Heda	11.0
M. 150	11.2
Q. Alfa	10.8
Q. Ayelén	10.7
S.E.	0.57 (6 d.f.)
Phyll. 1 (°C per day per leaf)	
M. Heda	71
M. 150	73
Q. Alfa	78
Q. Ayelén	77
S.E.	3.83 (6 d.f.)
Phyll. 2 (°C per day per leaf)	
M. Heda	118
M. 150	120
Q. Alfa	120
Q. Ayelén	133
S.E.	8.45 (6 d.f.)
Breakpoint (leaf)	
M. Heda	5.2 (356)
M. 150	4.3 (321)
Q. Alfa	4.2 (338)
Q. Ayelén	4.4 (350)
S.E.	0.57 (6 d.f.)

	Phyllochron (degree-days leaf <sup>-1</sup> )	
	Early leaves	Later leaves
Dalcahue	66.72de	119.87cd
	79.84bc	126.33bcd
	87.42b	147.95abc
	78.33bc	139.99bc
	100.10a	158.25ab
	65.49de	113.73cd
	59.21e	99.50d
	71.65cd	122.43cd
	87.19b	145.00abc
	79.29bc	175.90a
Domo	*** (1.693)	n.s. (5.215)
	*** (2.678)	** (8.246)
	** (3.787)	n.s. (11.661)
	.....	.....

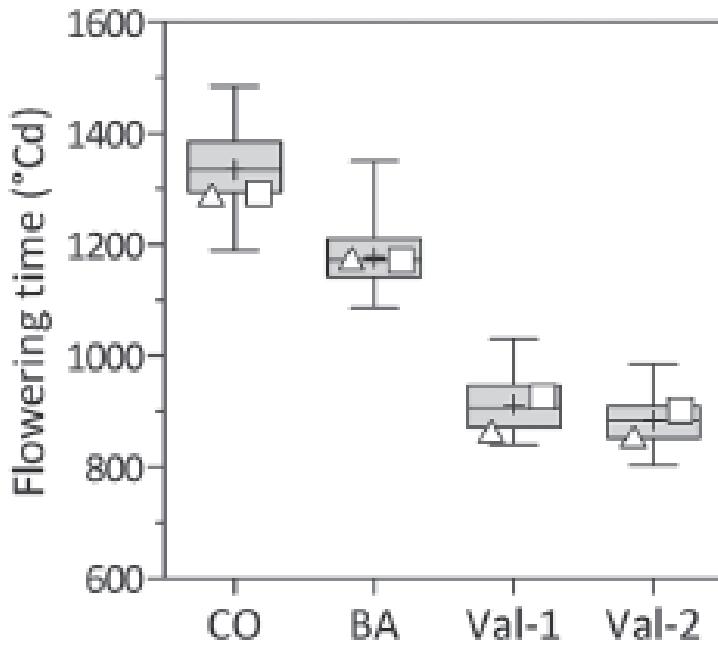
# Ciclo del Cultivo de Trigo



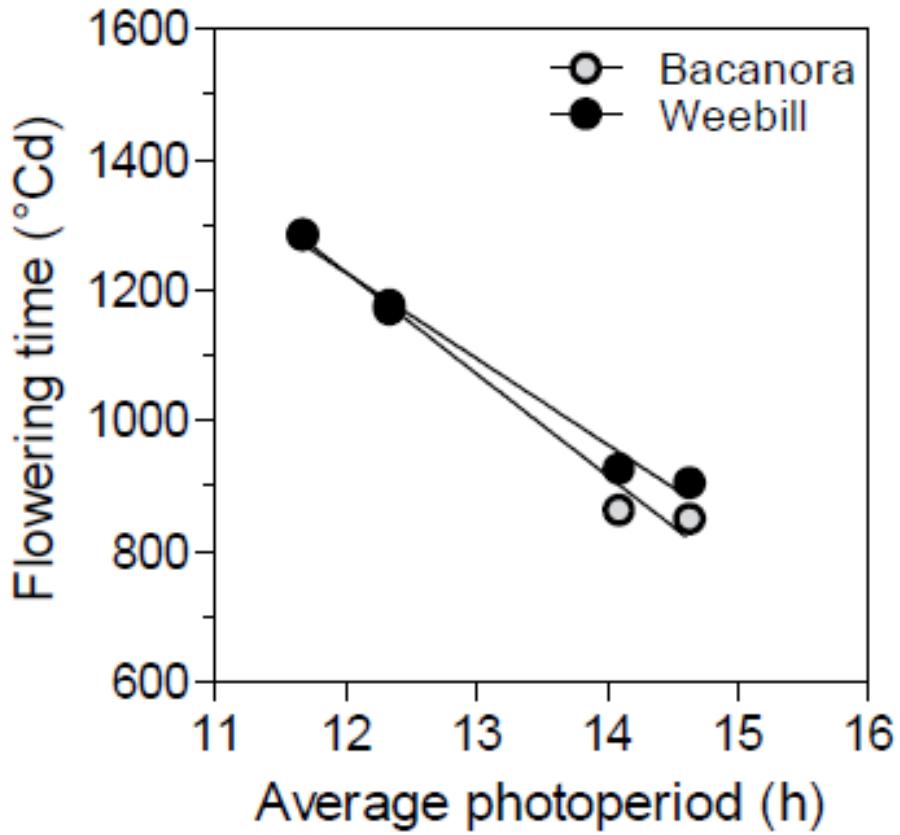
Adaptado de Slafer y Rawson (1994)

# Tiempo entre emergencia y floración en trigos primaverales

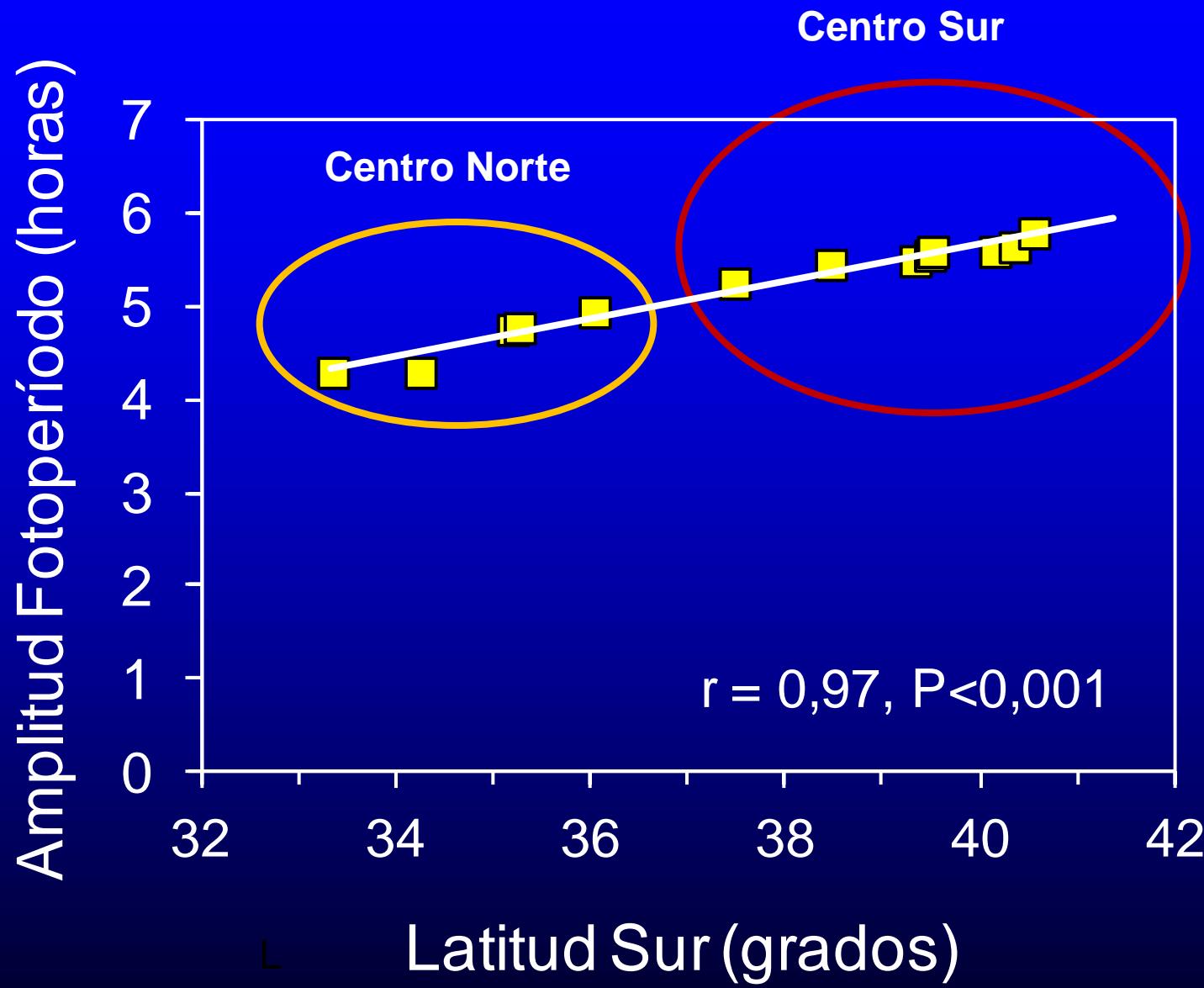
2 cultivares y 105 líneas doble haploides



# RESPUESTA FOTOPERIÓDICA DE DOS CULTIVARES DE TRIGO

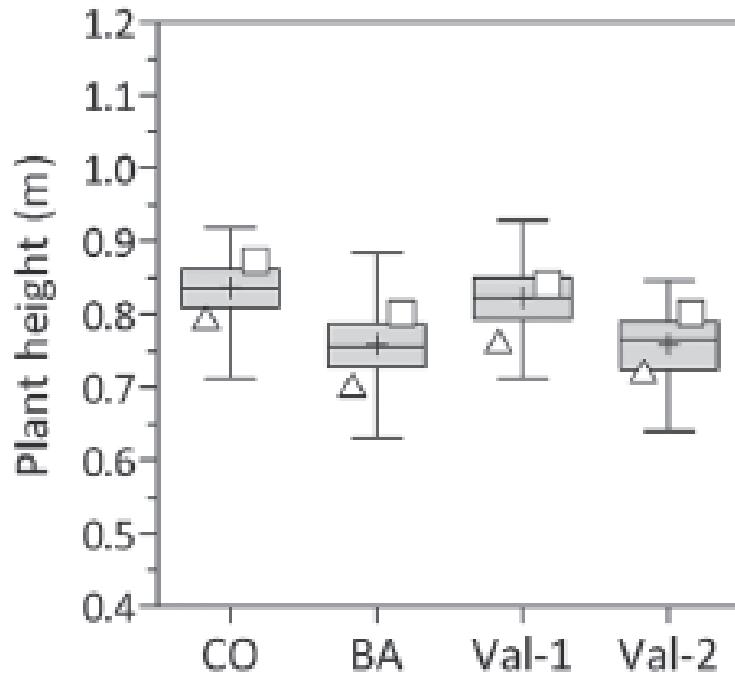


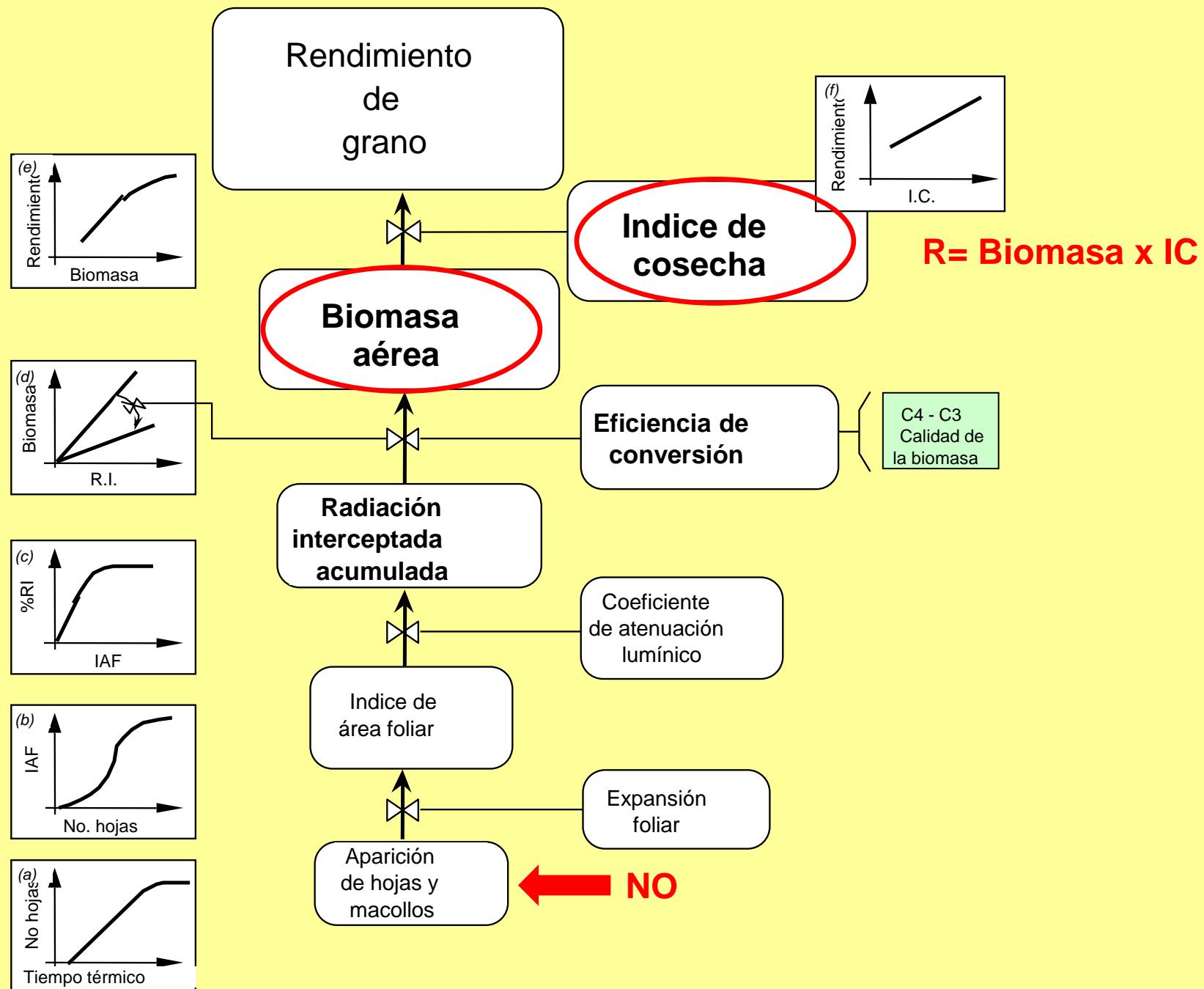
# Amplitud fotopérdica en la zona triguera de Chile



# Altura de planta en trigos primaverales

## 2 cultivares y 105 líneas doble haploides





# Biomasa e Índice de Cosecha

Cultivar	Biomasa (g m <sup>-2</sup> )	IC (%)
Bacanora	2325	51
Pandora	2423	44
Weebil	2529	51

**Table 1** Comparison of Aboveground Dry Matter (AGDM) Production and Dry Matter Partitioning at Harvest in Sets of Winter Wheat Cultivars in the UK with Values of Austin (1980) Corresponding to a Theoretical Maximum HI of 0.62

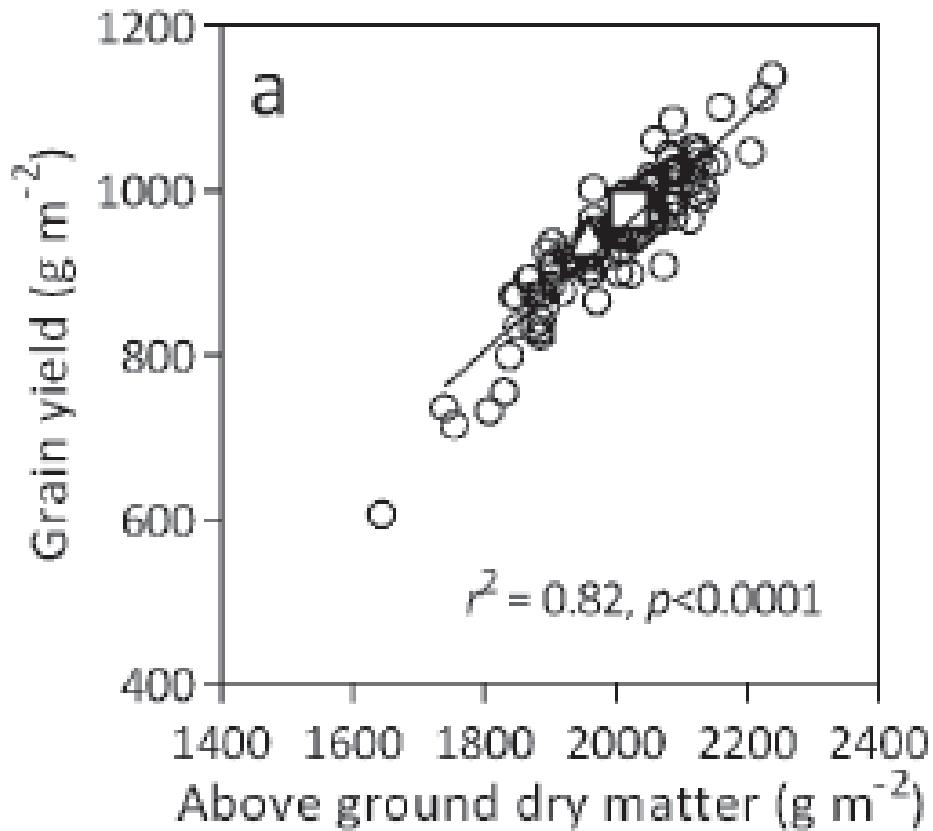
Crop component	Austin et al. (1980) (Four Most Modern Cultivars <sup>a</sup> )		Austin (1980) (Theoretical Maximum HI)		Shearman et al. (2005) (Four Most Modern Cultivars <sup>b</sup> )		Consort <sup>b</sup> Herefordshire, UK mean 1996/1997 and 1997/1998	
	gm <sup>-2</sup>	%	gm <sup>-2</sup>	%	gm <sup>-2</sup>	%	gm <sup>-2</sup>	%
Grain	707	49	895	62	888	51	1103	56
Chaff	143	10	181	13	171	10	195	10
Leaf lamina	139	10	139	10	151	9	183	9
Stem+sheath	453	31	226	15	536	30	400	25
AGDM	1442	—	1441	—	1746	—	1971	—

<sup>a</sup>730/3637, 989/10, Armada, Benoist 10483.

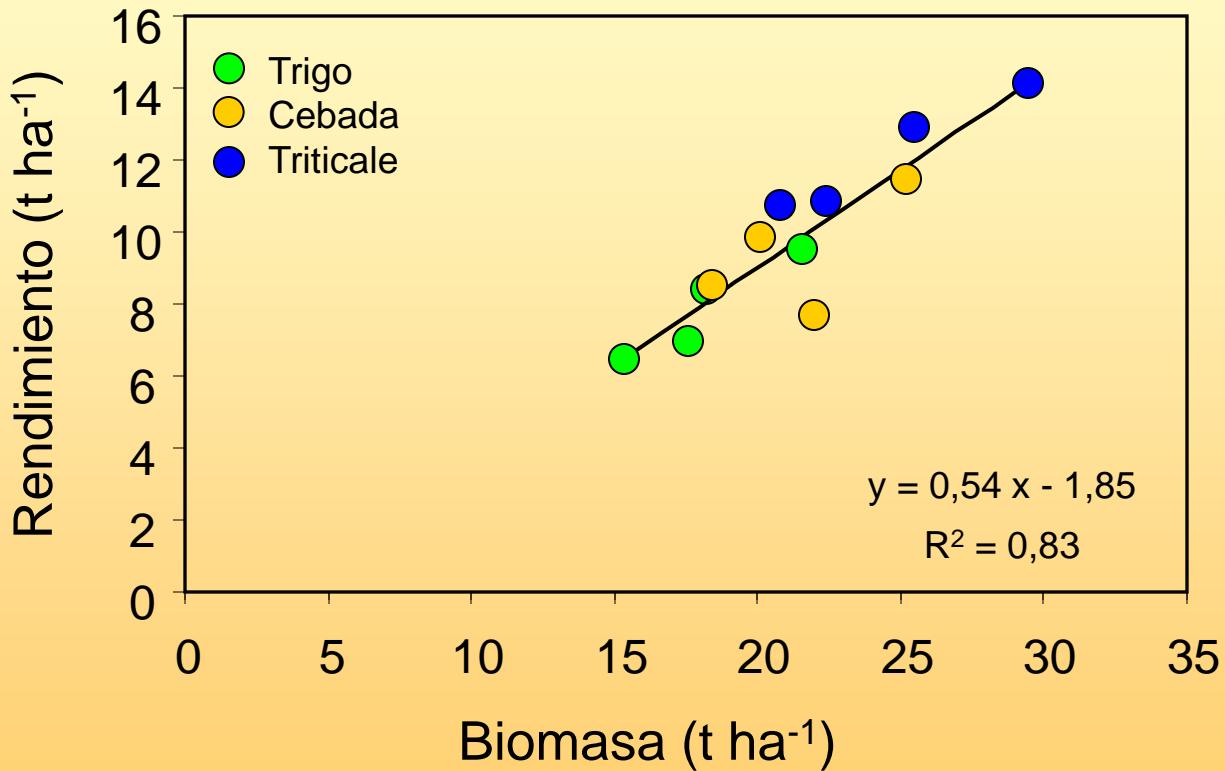
<sup>b</sup>Riband, Haven, Brigadier, Rialto.

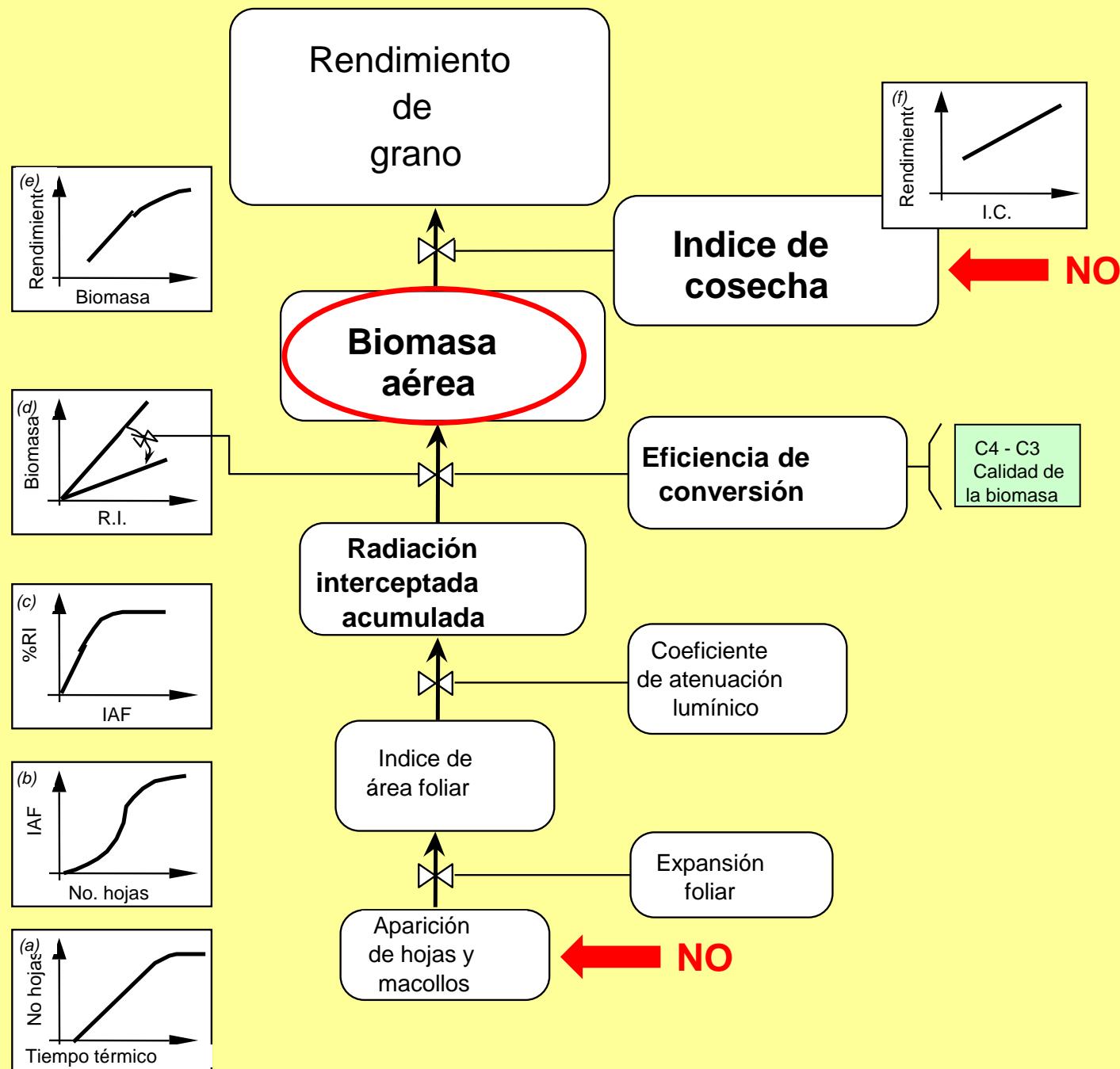
<sup>c</sup>Released 1996.

Rendimiento y Biomasa Aérea en trigos primaverales  
Argentina, Inglaterra, México y Chile  
2 cultivares y 105 líneas doble haploides

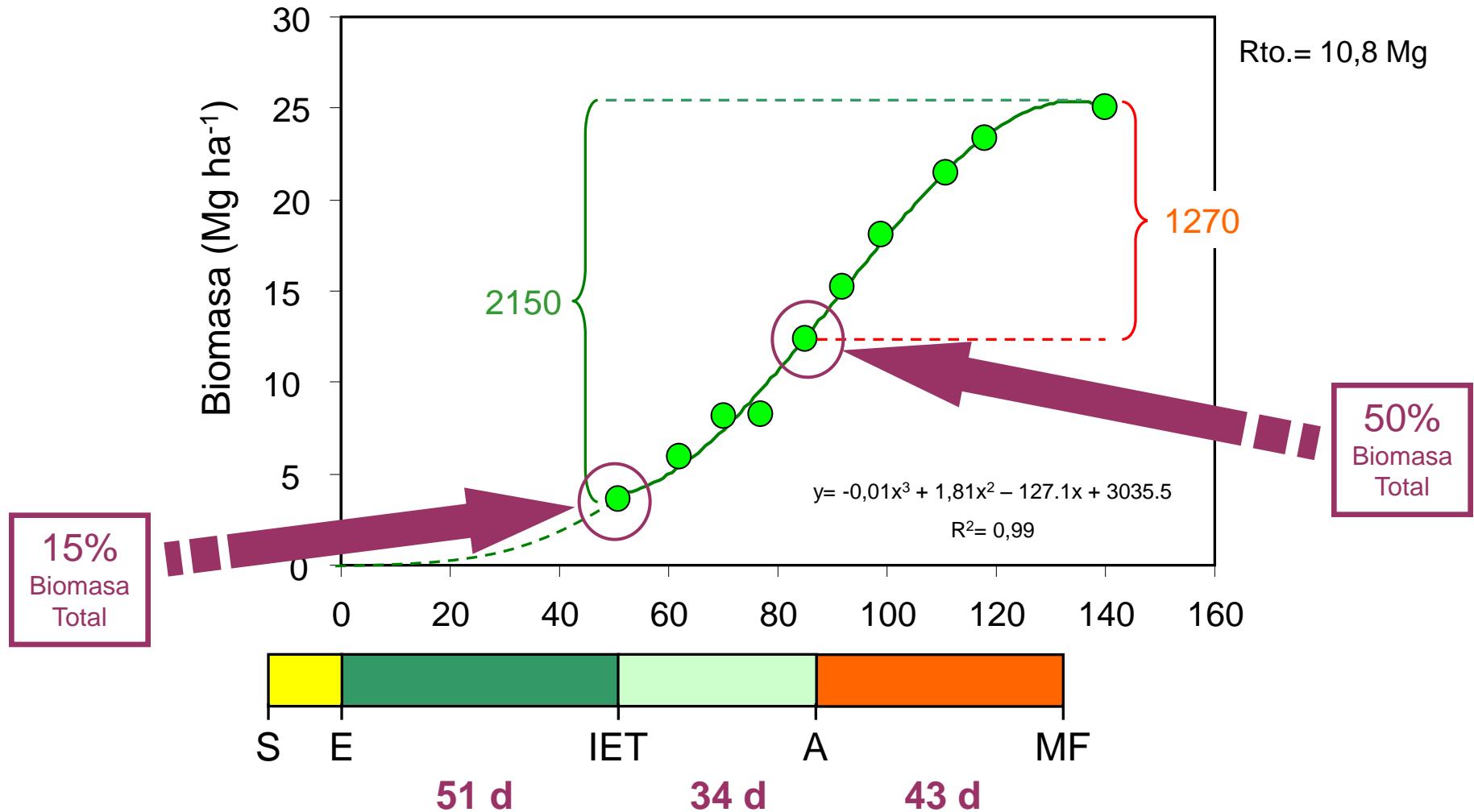


# Relación entre el rendimiento y la biomasa aérea en trigo, cebada y triticale



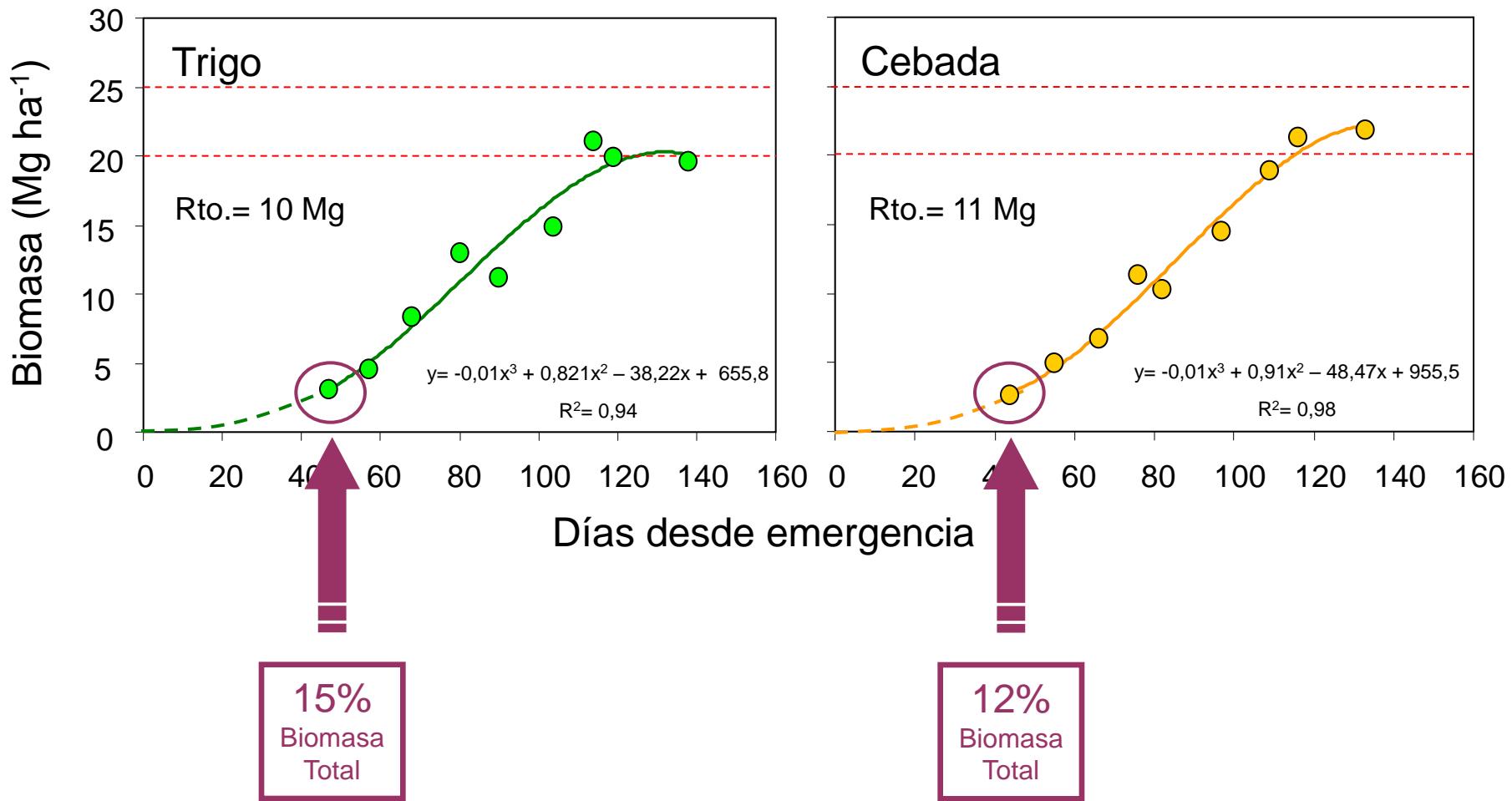


# PRODUCCIÓN DE BIOMASA EN TRIGO



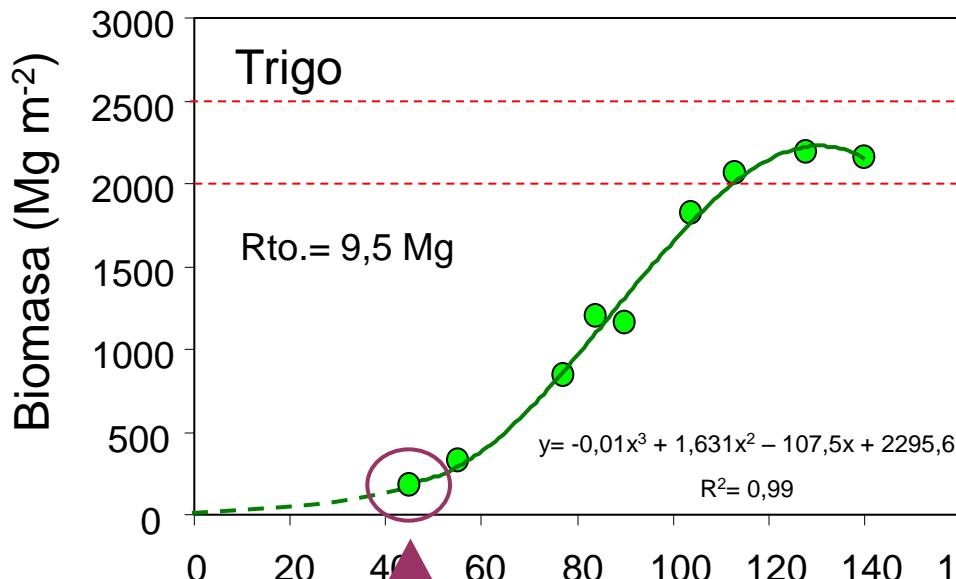
Trigos invernales en Inglaterra tiene una duración de aprox. 7 meses

# PRODUCCIÓN DE BIOMASA EN TRIGO Y CEBADA



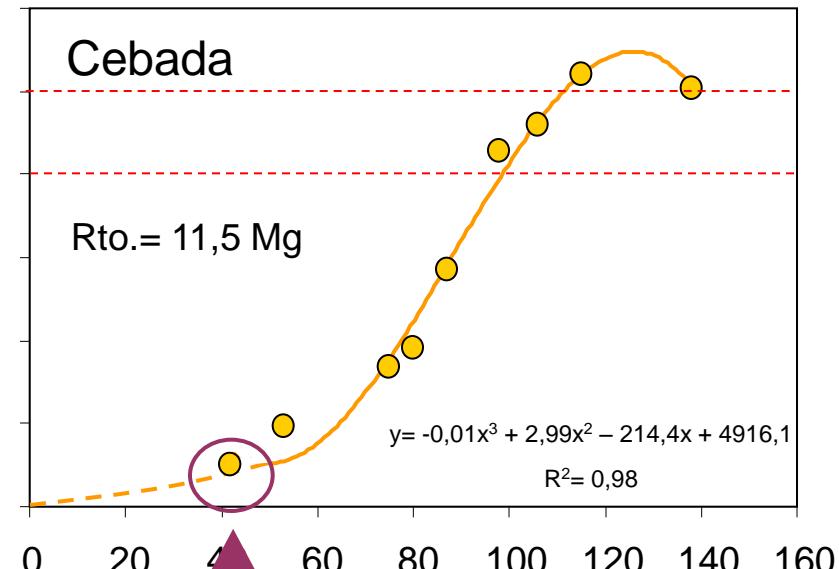
# PRODUCCIÓN DE BIOMASA EN TRIGO Y CEBADA

Tasa de crecimiento fase lineal = 300-320 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>

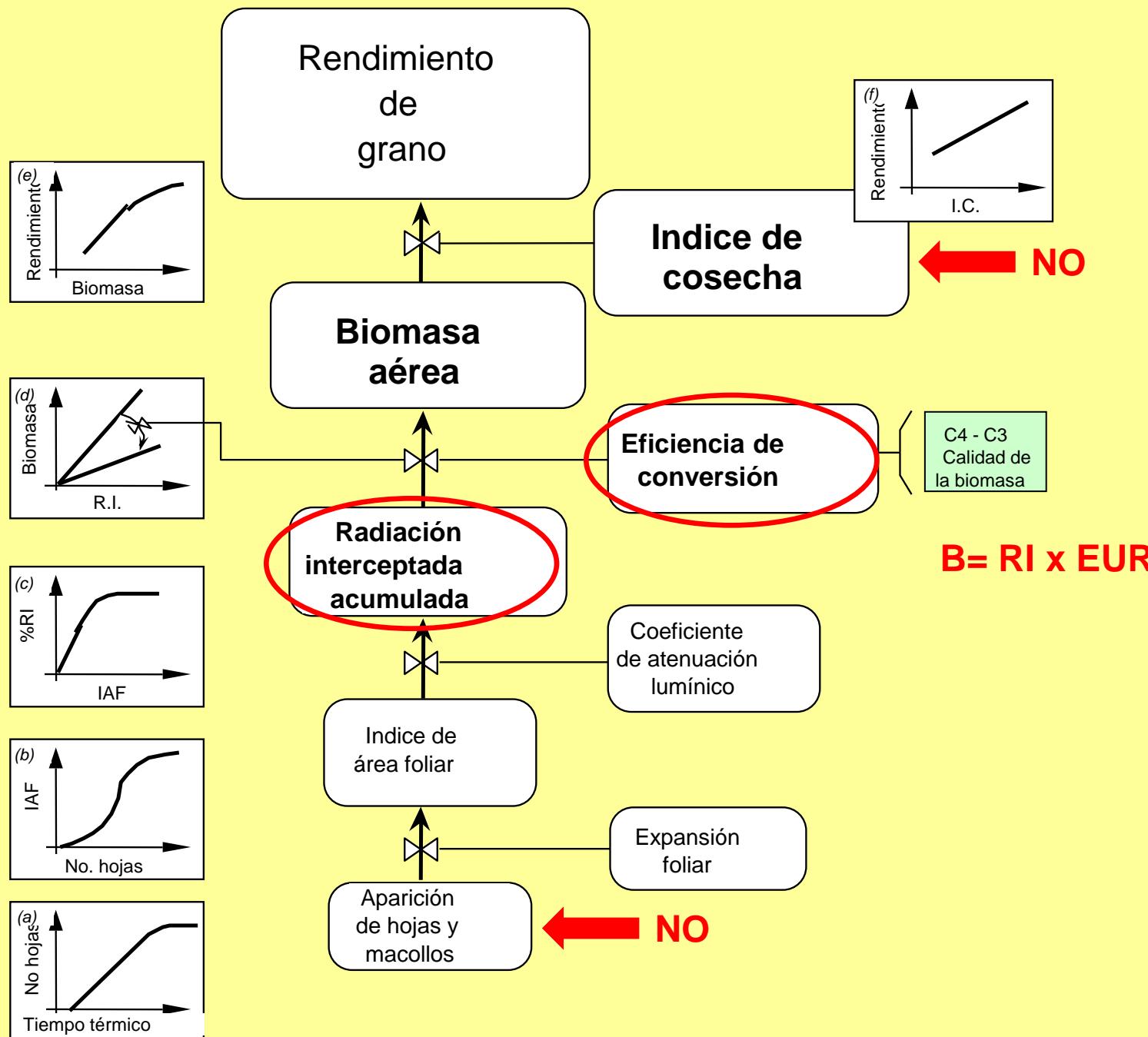


Días desde emergencia

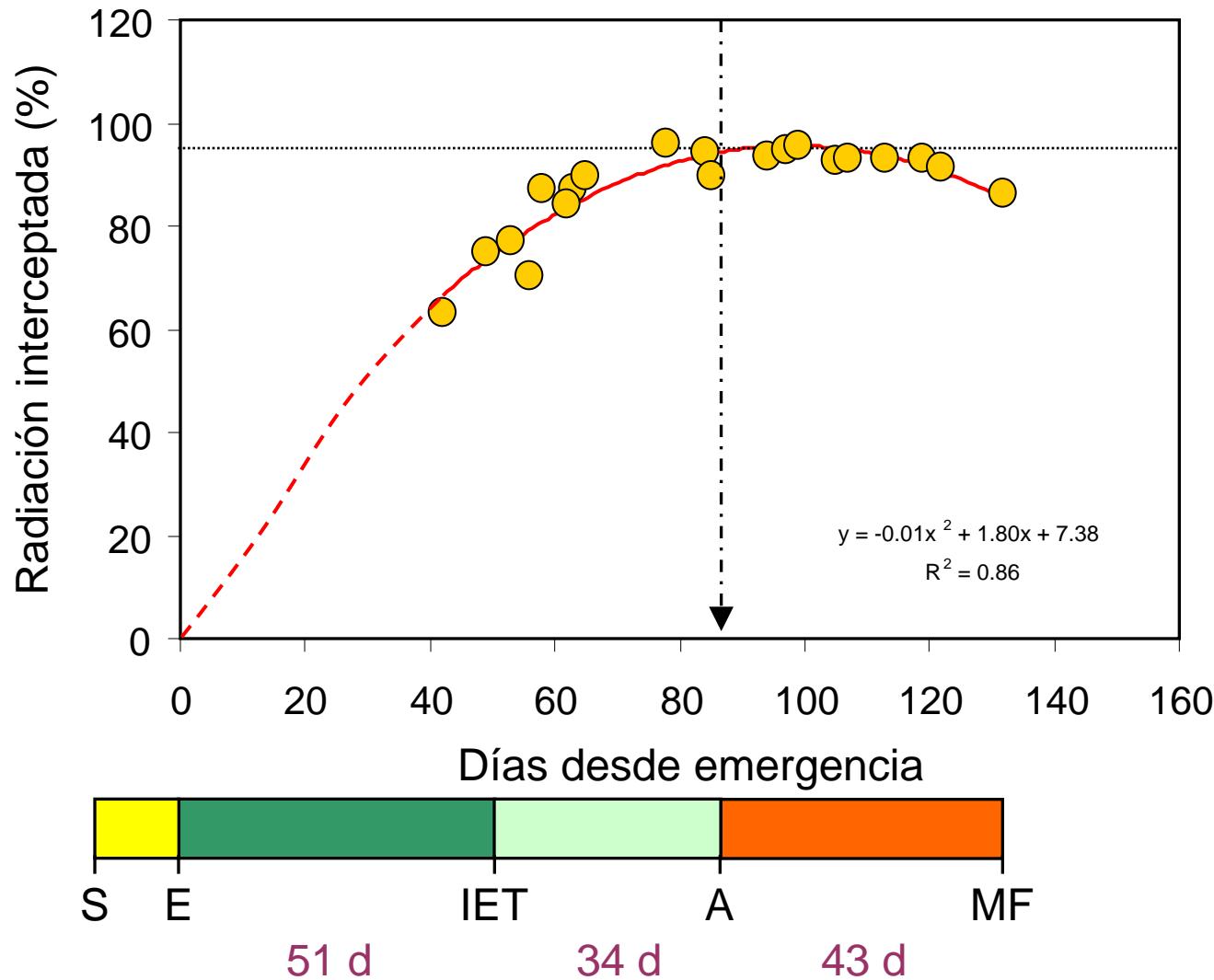
8.3%  
Biomasa  
Total



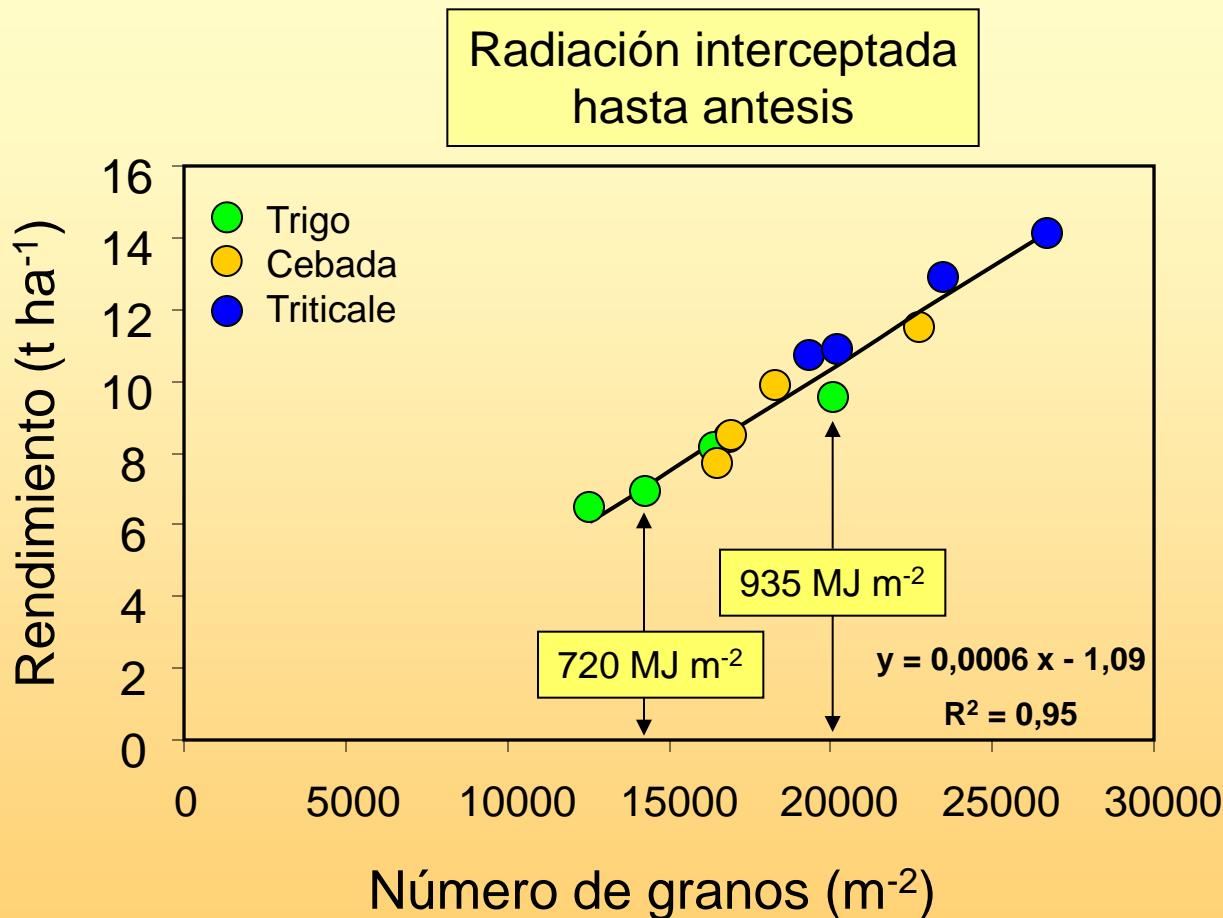
9.9%  
Biomasa  
Total



# Intercepción de radiación en trigos primaveriles



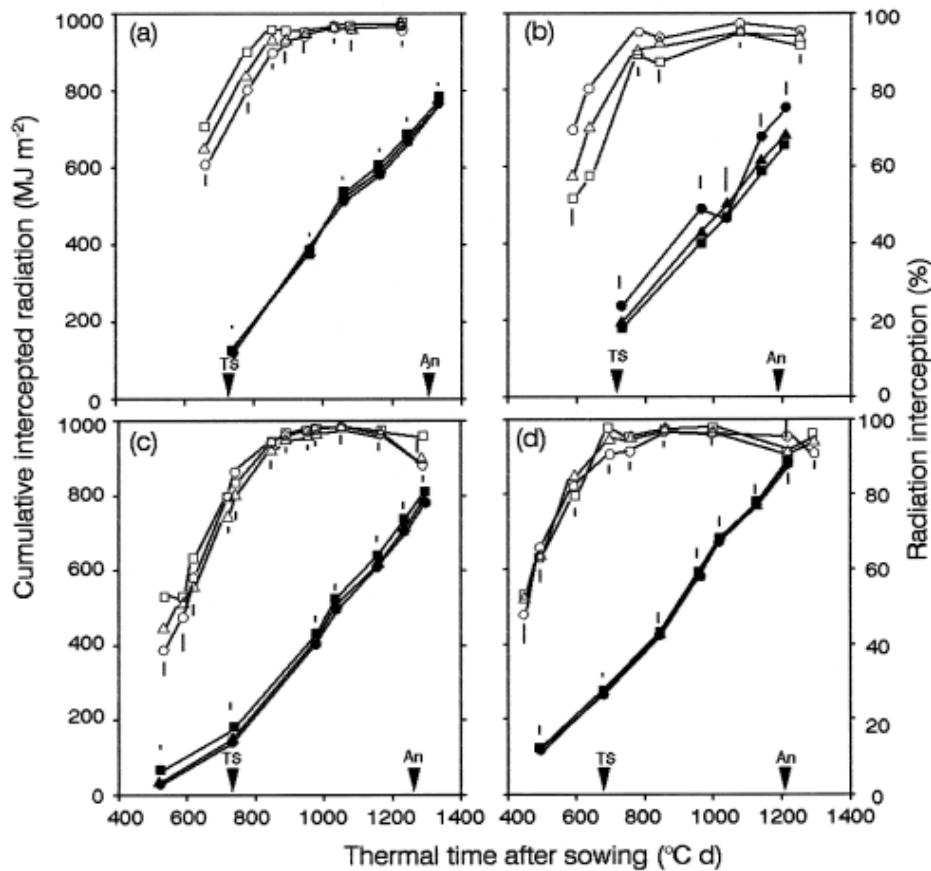
# Relación entre el rendimiento y el número de granos en trigo, cebada y triticale



Adaptado de Quiroz (2010)  
Tesis de Magister

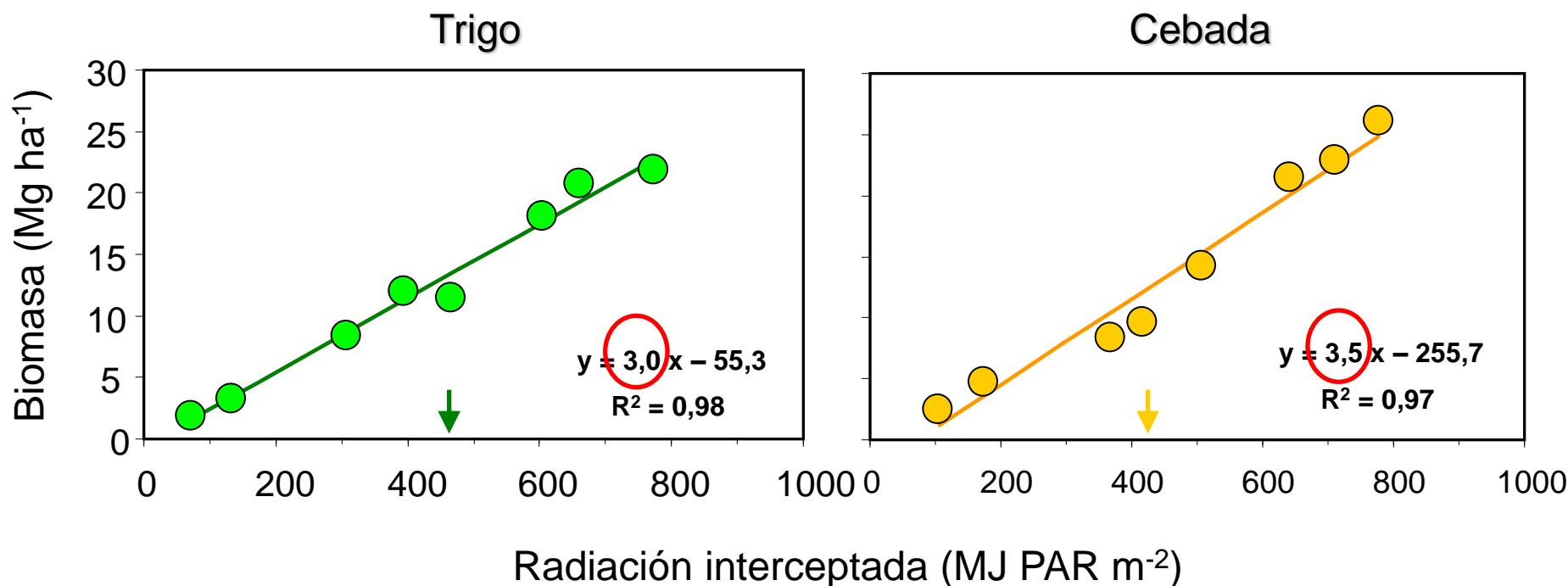
# Intercepción de Radiación en Trigo

Cultivar	RI hasta antesis (MJ m <sup>-2</sup> )
	Bs. As.
Klein Favorito	1194
Pigue	952
Oasis	920
	Valdivia
Trigo	884
Cebada	960

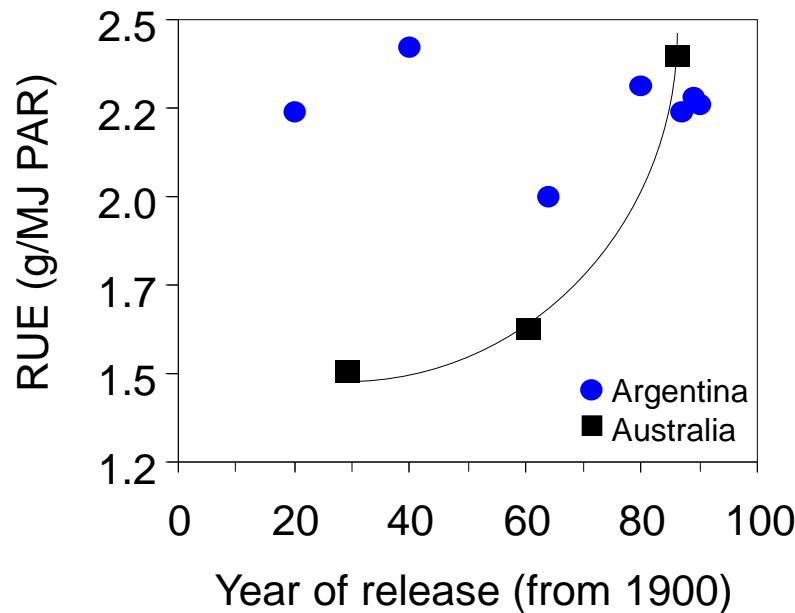


# Eficiencia de Uso de Radiación en Trigo y Cebada

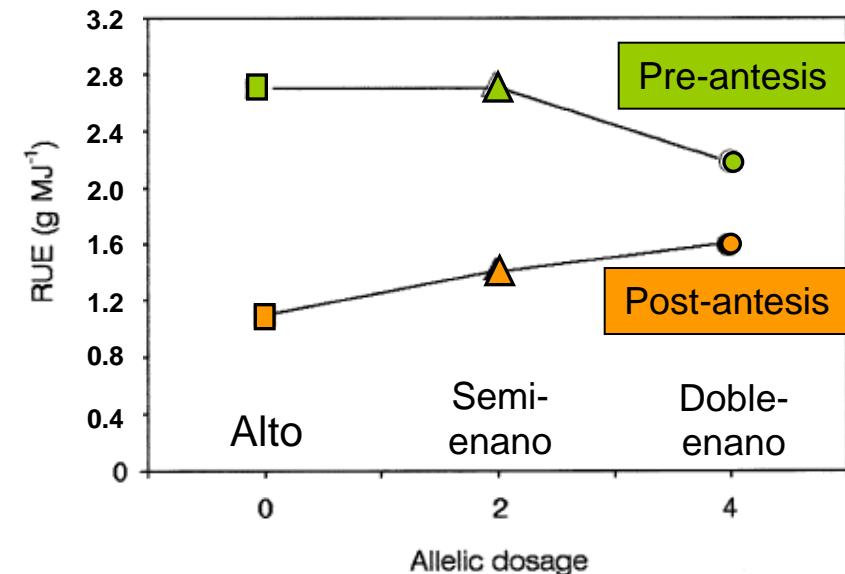
## Zona Sur



## Eficiencia de Uso de Radiación en Trigo (Otros estudios)



Calderini, Reynolds & Slafer (1995)  
Wheat. Ecology and Physiology of Yield Determination



Miralles & Slafer (1997)  
Euphytica

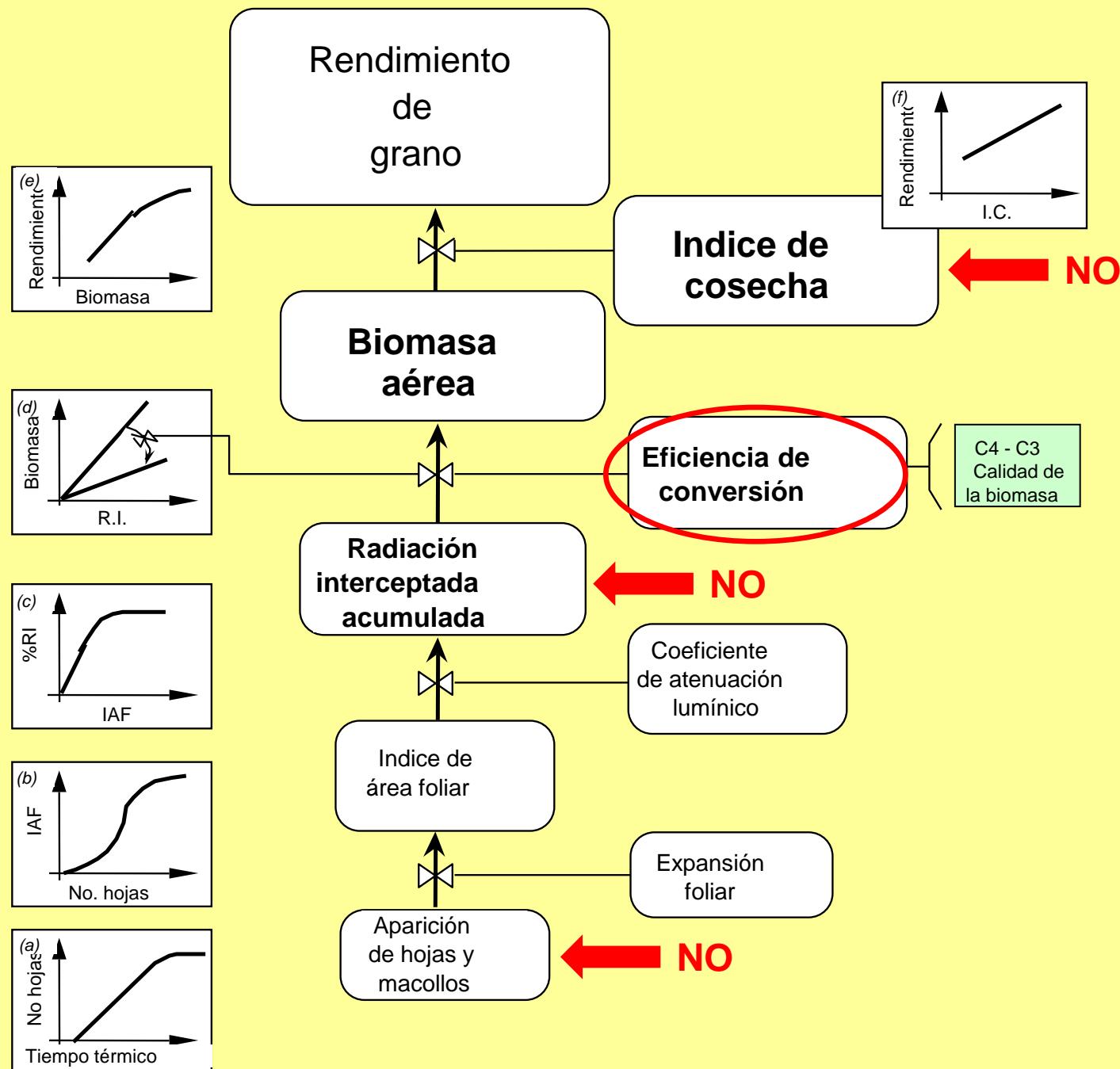
Cultivar	EUR (g MJ <sup>-1</sup> )	
	Pre-antesis	Post-antesis
Pandora	3,2	1,9
Invento	2,9	2,1

Bustos et al. (2013)  
Field Crops Research

## Eficiencia de Uso de Radiación en Cebada (Otros estudios)

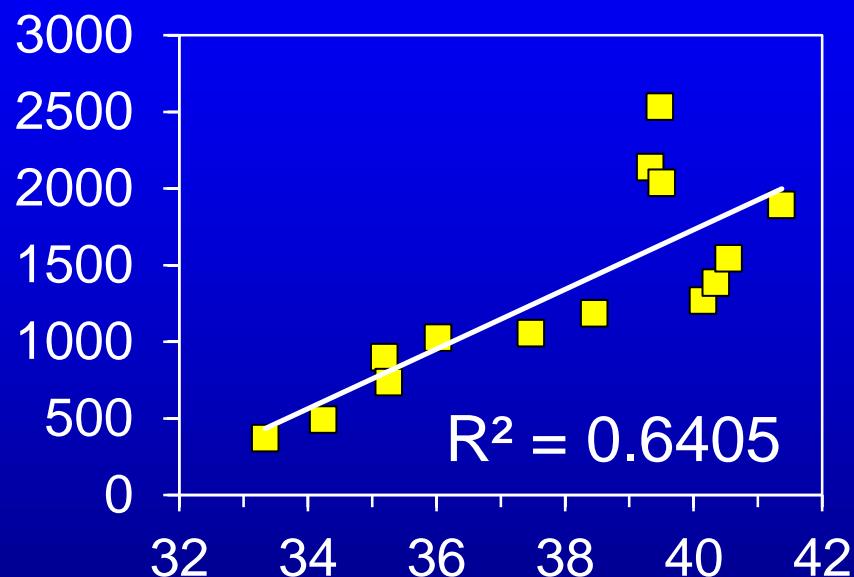
Cultivo	Cultivar o localidad	RUE <sub>pre</sub>	Fuente
Cebada	Scarlett	2.1	<i>Muurinen y Peltonen-Sainio, 2006</i>
	Baronesse	2.4	<i>Kemanian et al, 2004</i>
	Steptoe	2.5	<i>Kemanian et al, 2004</i>
Cebada invernal	6 localidades*	2.6	<i>Bingham et al, 2007</i>
	Rendimiento	7.0 Mg ha <sup>-1</sup>	

\* Aberdeen, Edinburgh, High Mowthorpe, Rosemaund, Sutton Bonington y Knigs Lynn

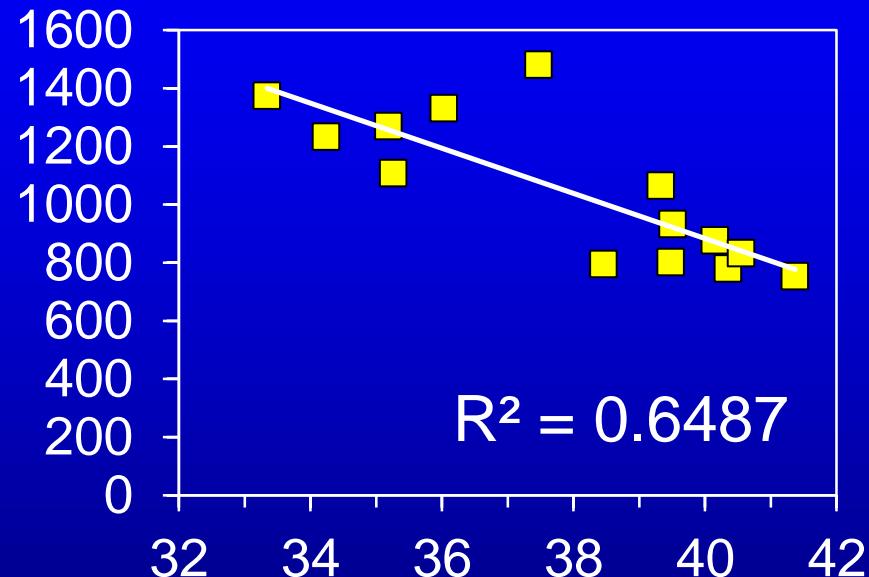


# Precipitaciones y evaporación en la zona triguera de Chile

Precipitaciones

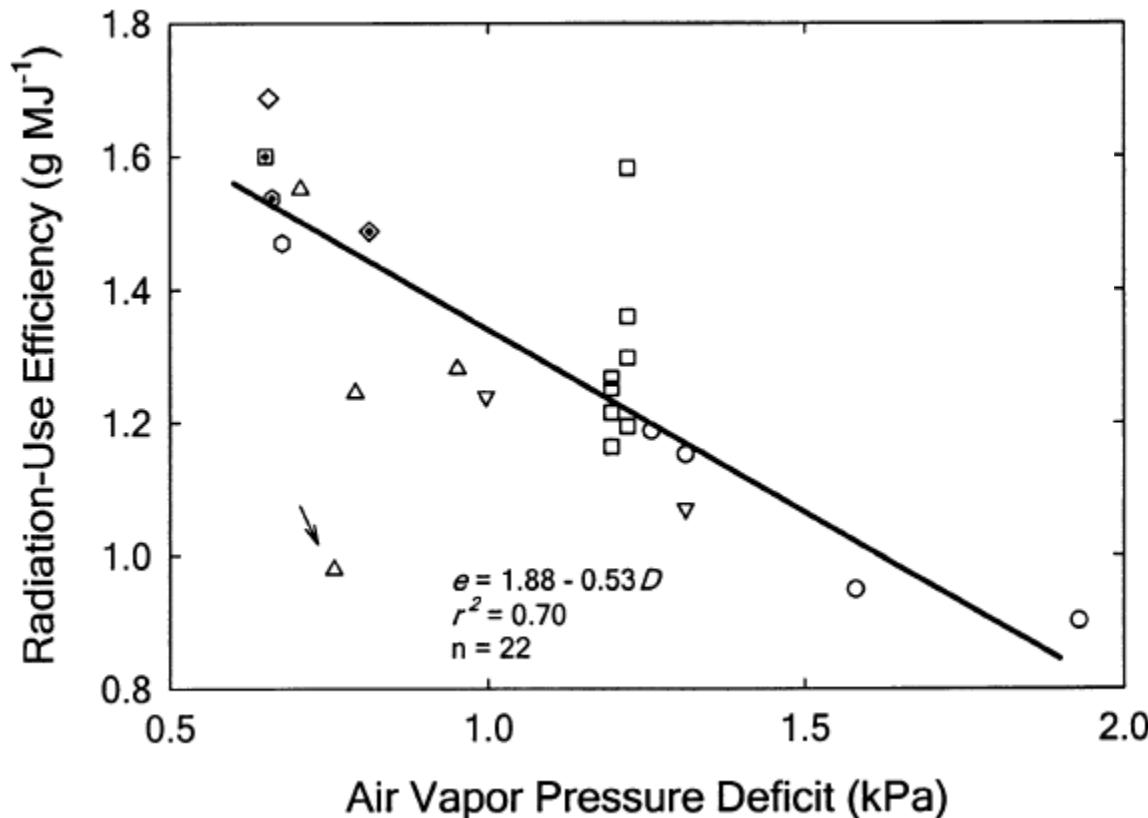


Evaporación

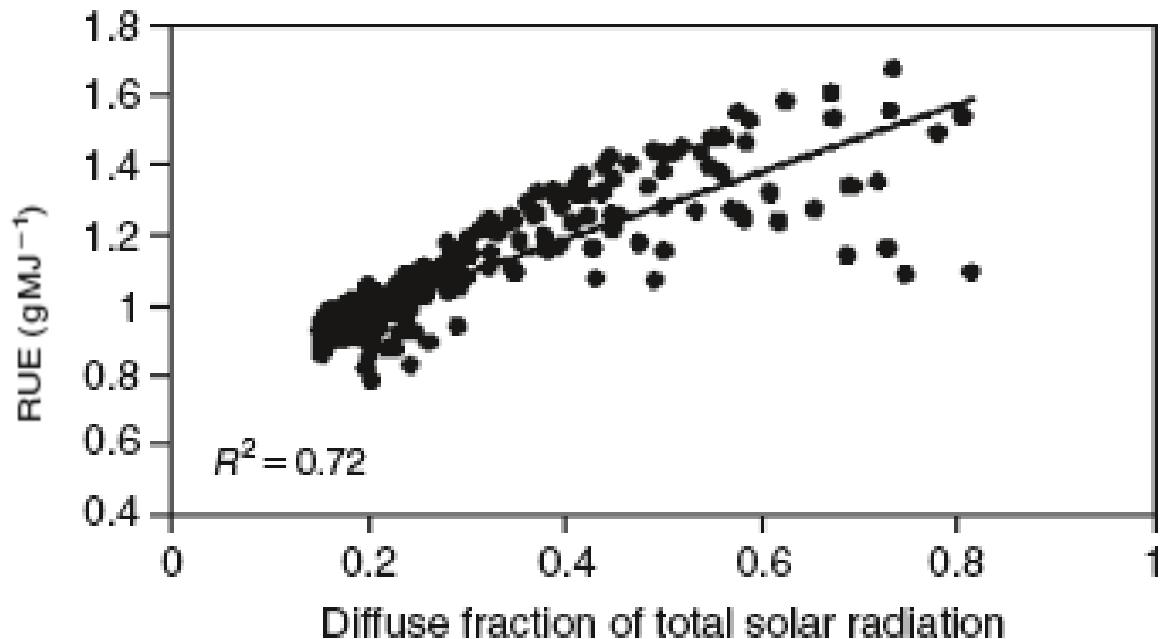


Latitud sur

# Efecto del déficit de presión de vapor sobre la EUR (datos de trigo y cebada)



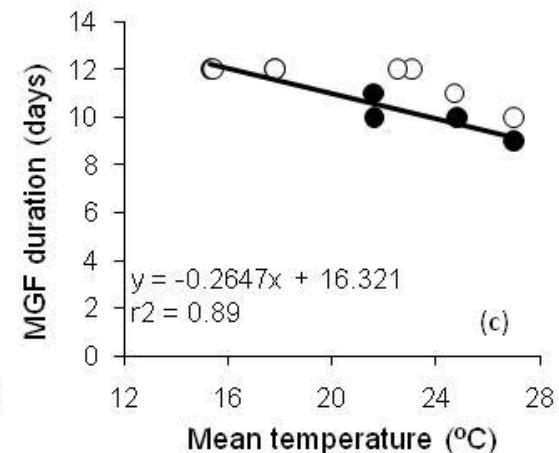
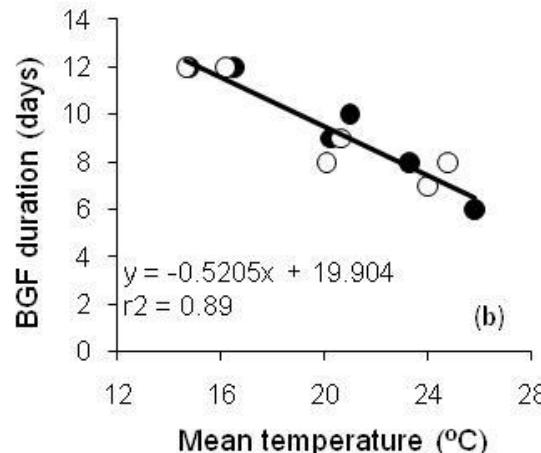
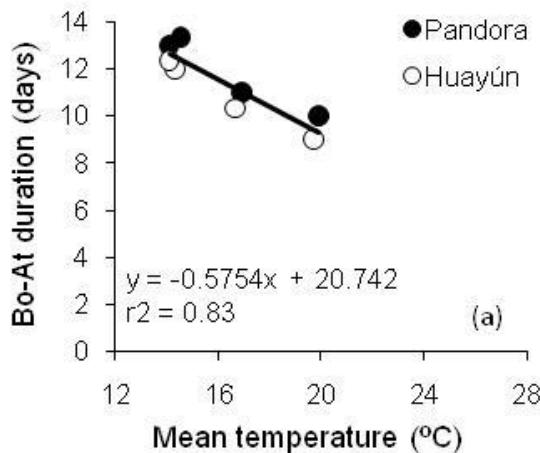
# Efecto de la radiación difusa sobre la EUR



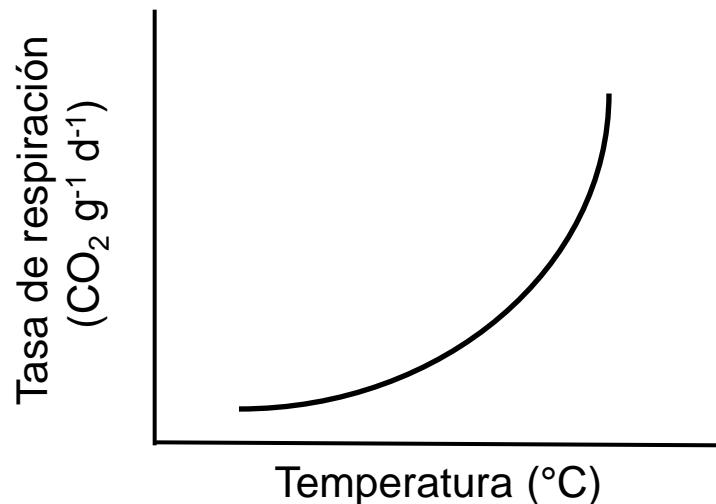
Stockle & Kemanian et al. (2009)  
*Crop Physiology. Applications for ...*

# El doble efecto de la temperatura

- Aumenta la tasa de desarrollo del cultivo (reduce la duración)



- Aumenta la tasa de respiración (reduce la biomasa)

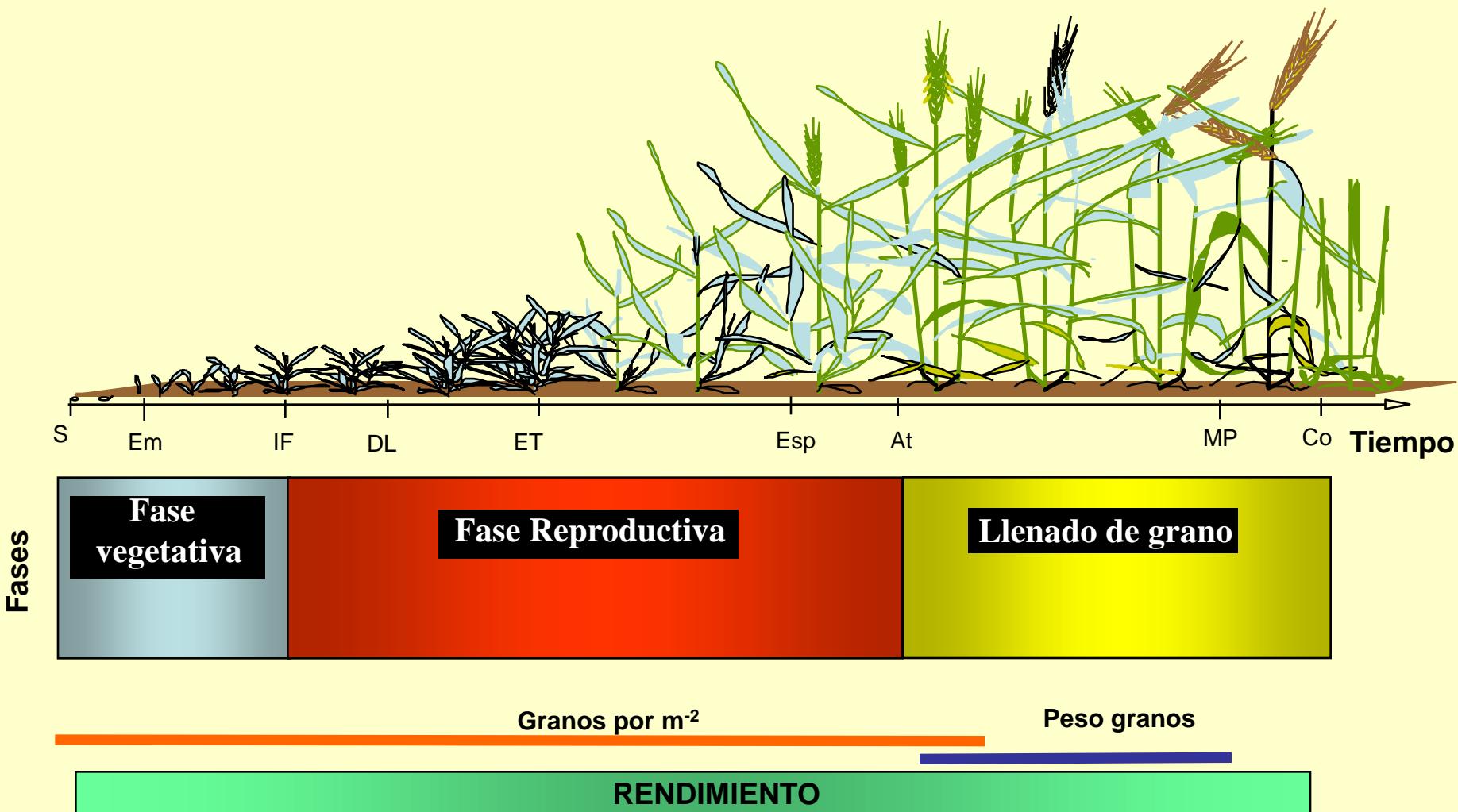


Lizana & Calderini (2013)  
Journal of Agricultural Science

# Efecto de las temperaturas nocturnas

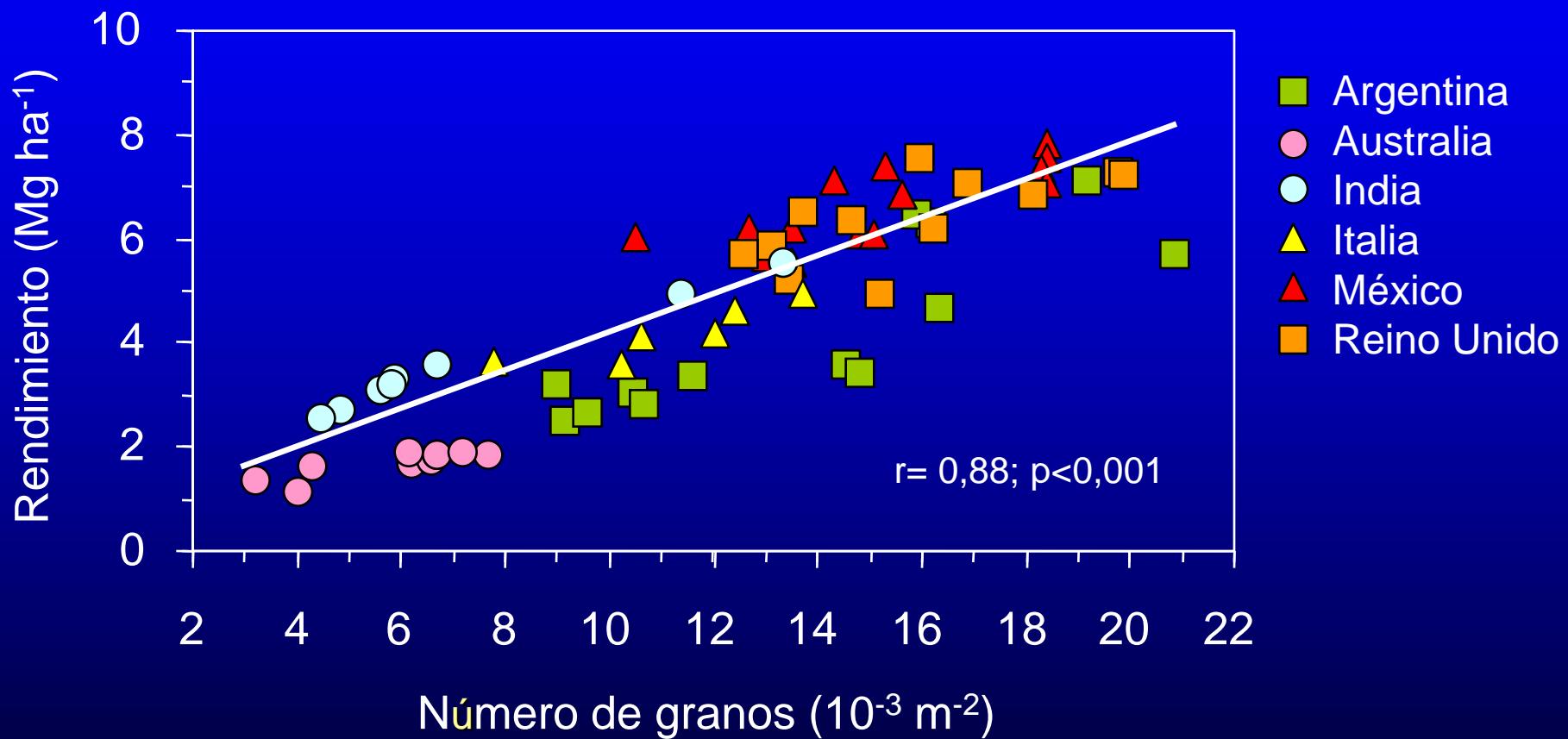
Period		Expt 1				Expt 2			
		T <sub>max</sub> (°C)	T <sub>min</sub> (°C)	PAR (MJ m <sup>-2</sup> )	Rainfall (mm)	T <sub>max</sub> (°C)	T <sub>min</sub> (°C)	PAR (MJ m <sup>-2</sup> )	Rainfall (mm)
Aug.	1–10	11.7	6.2	2.1	159.9	10.6	0.7	3.2	118.0
	11–20	12.9	5.1	3.3	133.3	11.9	1.6	4.0	96.9
	21–31	15.5	4.0	4.5	24.2	12.5	3.2	4.8	47.8
Sept.	1–10	14.4	5.3	4.4	129.0	12.7	8.1	2.2	142.6
	11–20	15.0	3.9	6.0	6.2	16.3	4.0	6.7	21.2
	21–30	16.0	7.3	5.0	47.9	15.9	5.2	8.2	11.8
Oct.	1–10	15.3	6.3	5.2	59.6	16.7	6.3	6.6	14.4
	11–20	17.2	6.2	8.1	61.7	15.8	8.3	5.9	120.1
	21–31	16.6	7.1	7.6	73.3	17.3	7.6	7.2	67.1
Nov.	1–10	21.1	7.9	10.6	18.1	17.7	7.0	9.7	7.2
	11–20	18.5	7.9	9.8	34.2	19.1	4.6	10.8	24.8
	21–30	20.2	9.2	12.1	2.5	19.9	8.8	10.1	1.9
Dec.	1–10	20.1	8.1	12.8	10.2	18.4	7.6	10.5	40.7
	11–20	18.4	10.6	7.2	98.2	23.1	9.4	13.0	3.5
	21–31	19.9	10.9	8.7	114.5	25.0	11.8	11.3	7.8
Jan.	1–10	23.1	10.4	13.5	4.9	23.3	11.7	11.8	23.9
	11–20	25.4	12.1	13.4	0.0	23.9	11.1	10.5	15.3
	21–31	22.0	11.4	11.0	27.3	28.3	13.8	11.1	0.0
Feb.	1–10	26.3	11.2	12.8	0.0	28.7	13.8	11.6	0.0
	11–20	20.8	11.0	8.6	40.8	26.0	11.7	10.3	5.3
	21–28	21.0	9.9	9.1	2.6	28.8	15.0	10.2	0.0

# Ciclo del Cultivo de Trigo



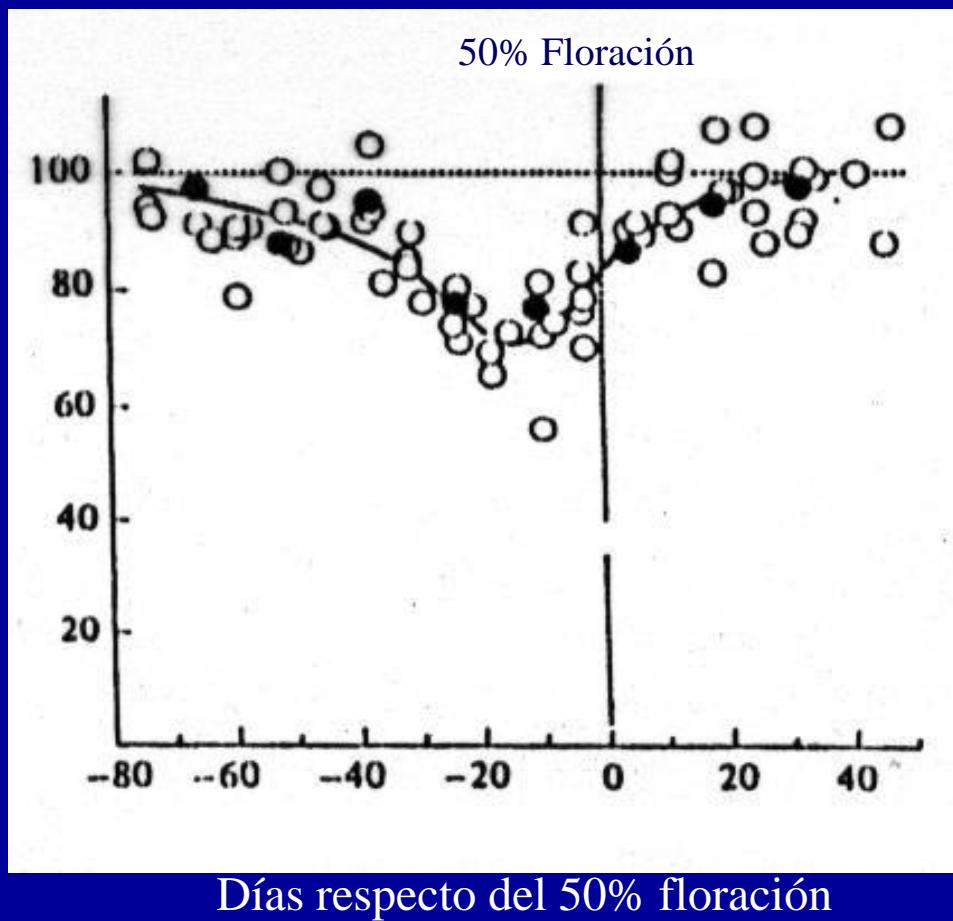
Adaptado de Slafer y Rawson (1994)

# Relación entre el Rendimiento y el Número de Granos



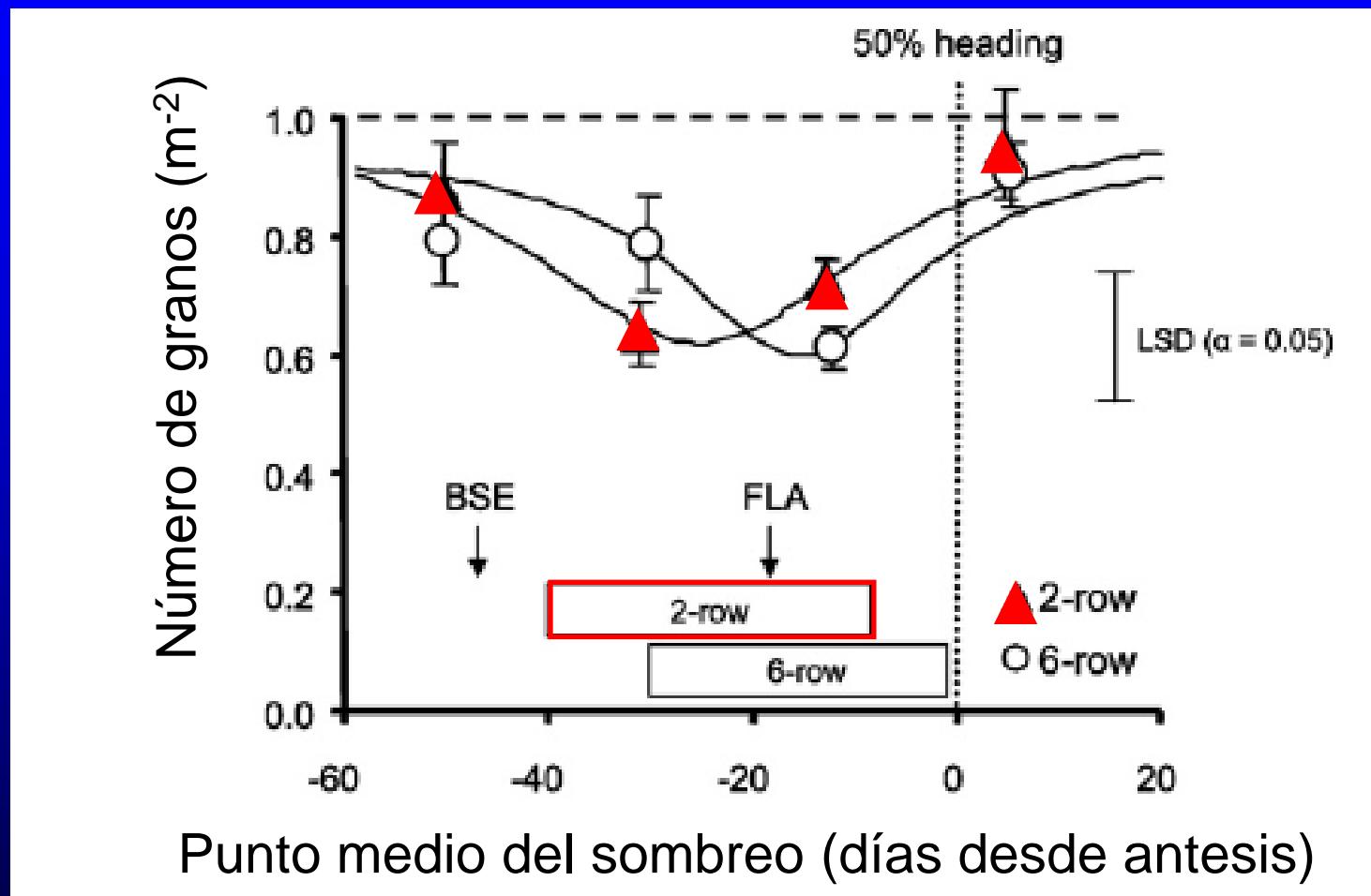
# Período crítico para el número de granos en trigo

Número de granos  
(% respecto del testigo sin sombra)



Periodo crítico en  
trigo se ubica  
aproximadamente  
20 días previos y  
10 días posteriores  
a la floración

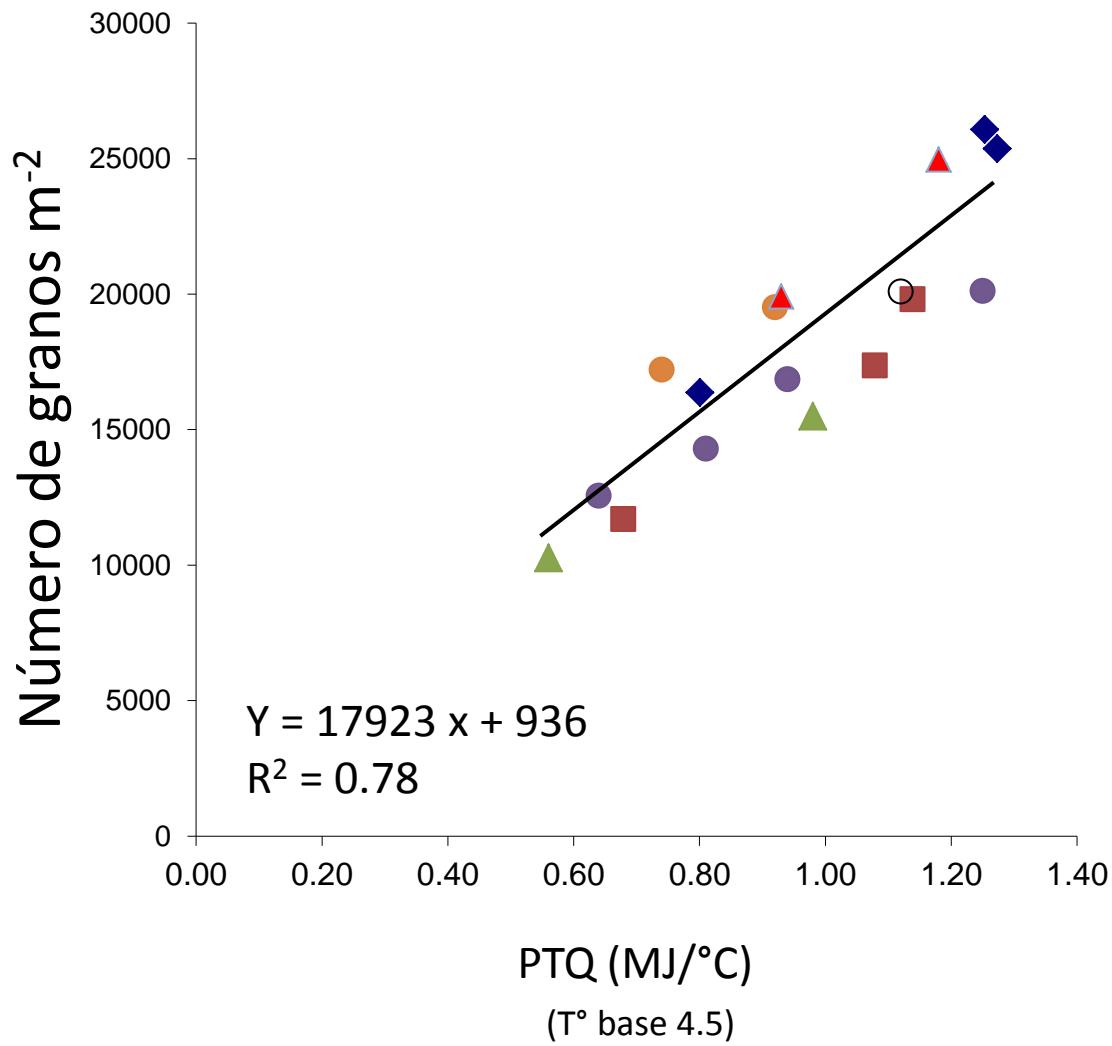
# Período crítico para el número de granos en cebada



# Cuociente Fototermal

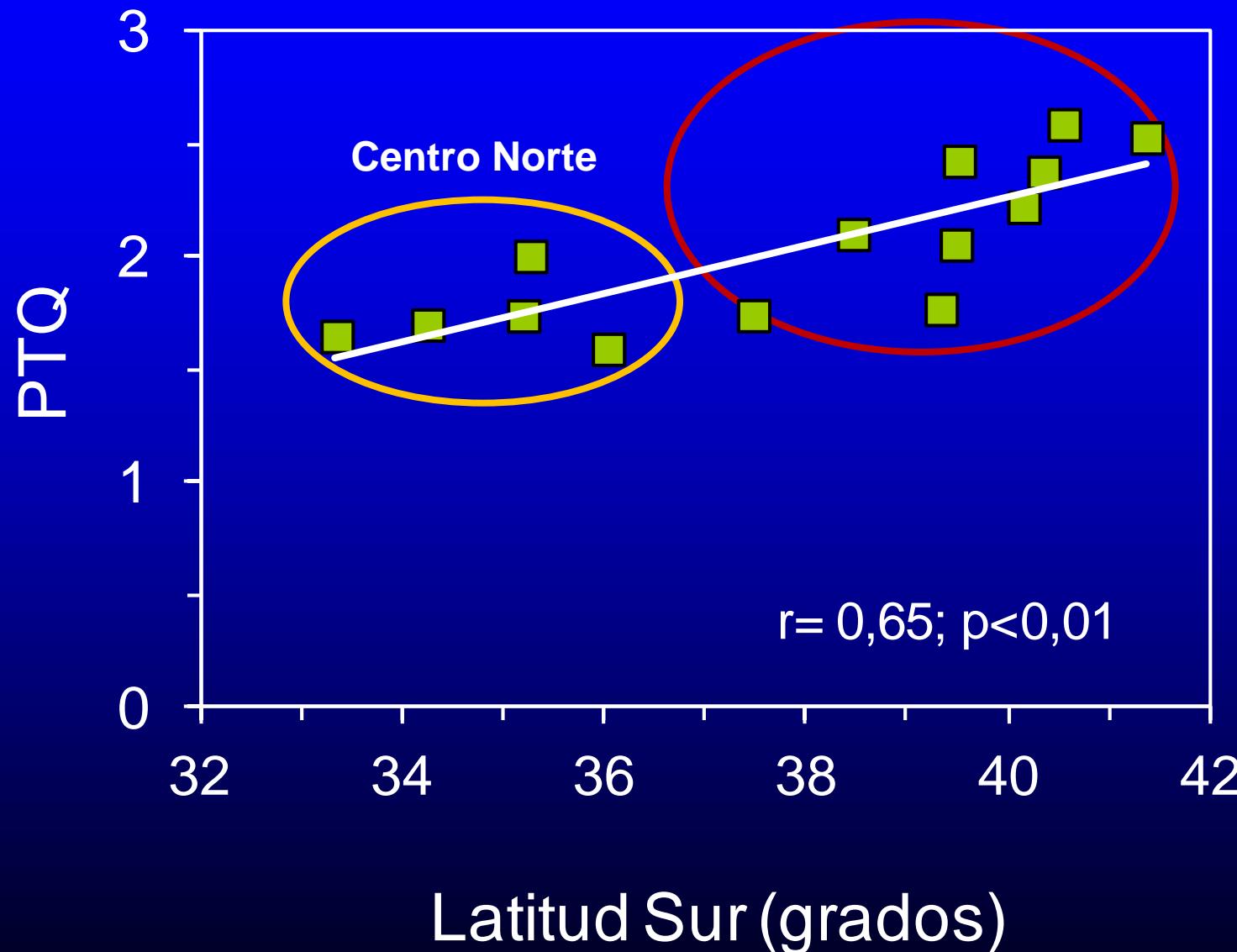
$$\text{Cuociente Fototermal} = \frac{\text{Radiación}}{\text{Temperatura}}$$

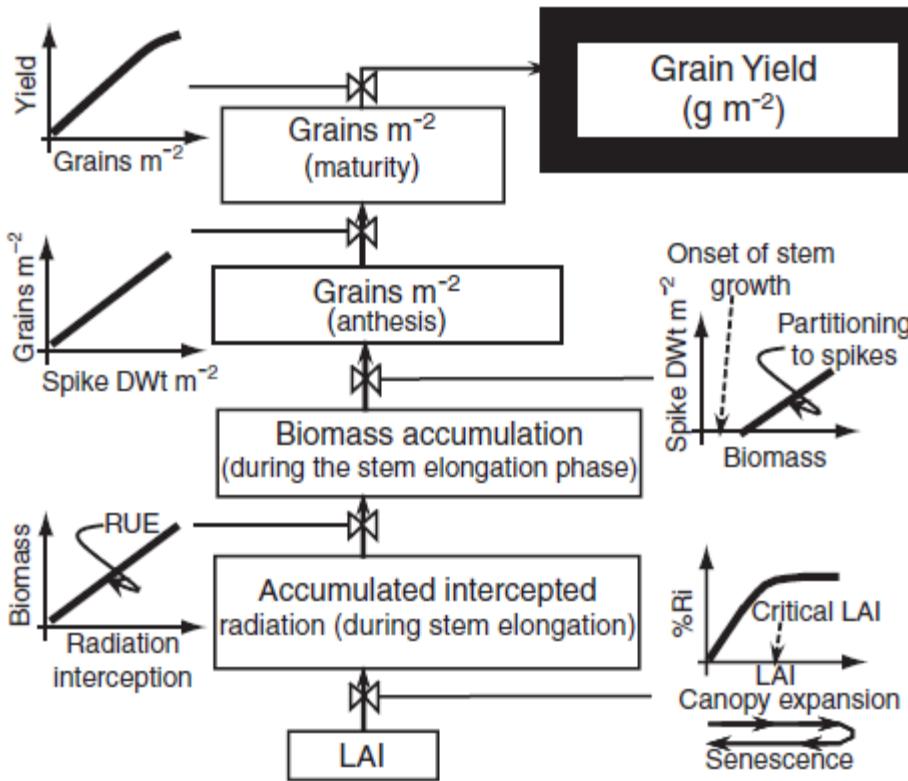
{ Temperatura media – Temperatura base ( $4,5^{\circ}\text{C}$ )  
Periodo: 20 días pre-anthesis – 10 días post-anthesis



# Cociente Fototermal en la zona triguera de Chile

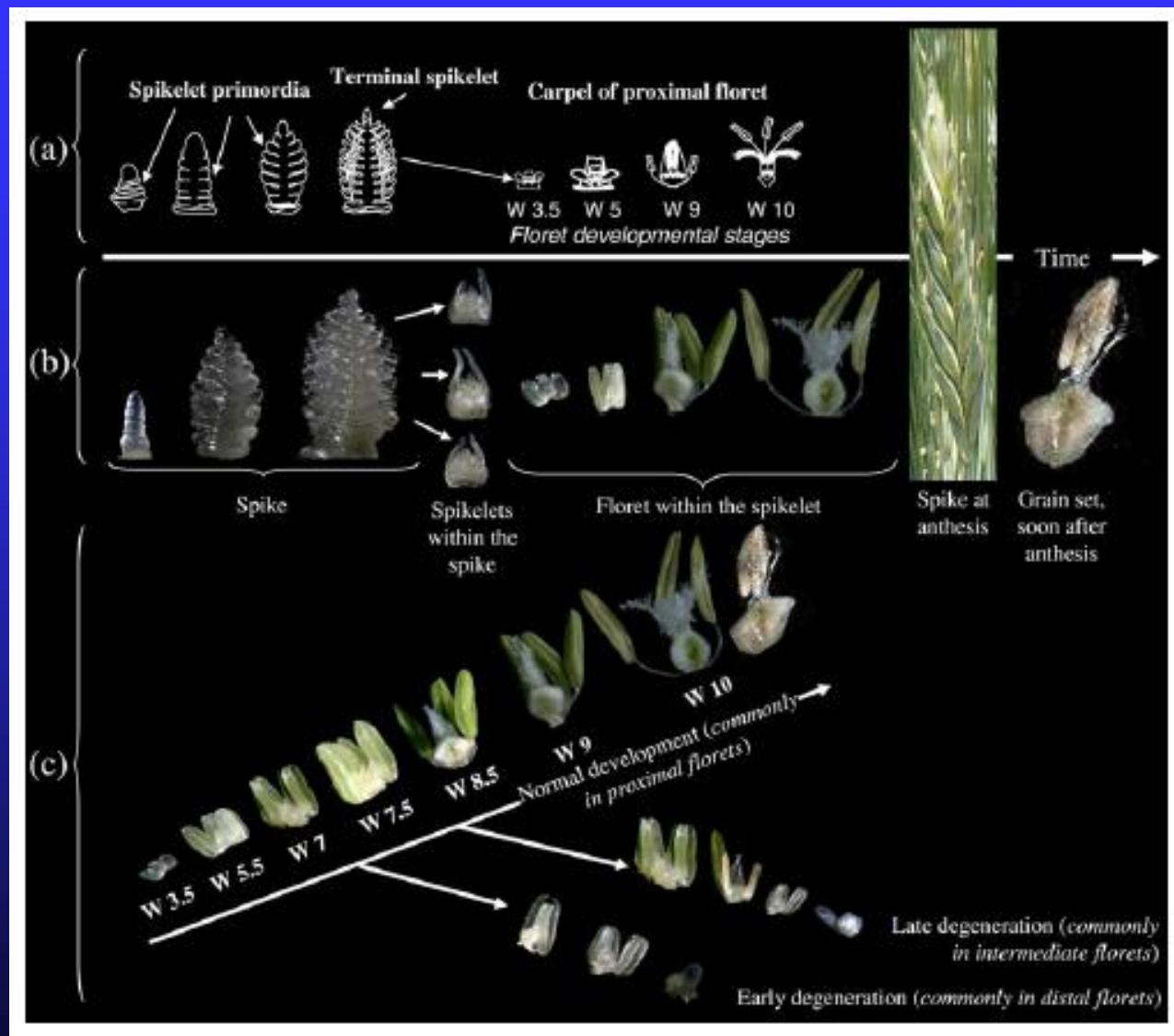
Centro Sur





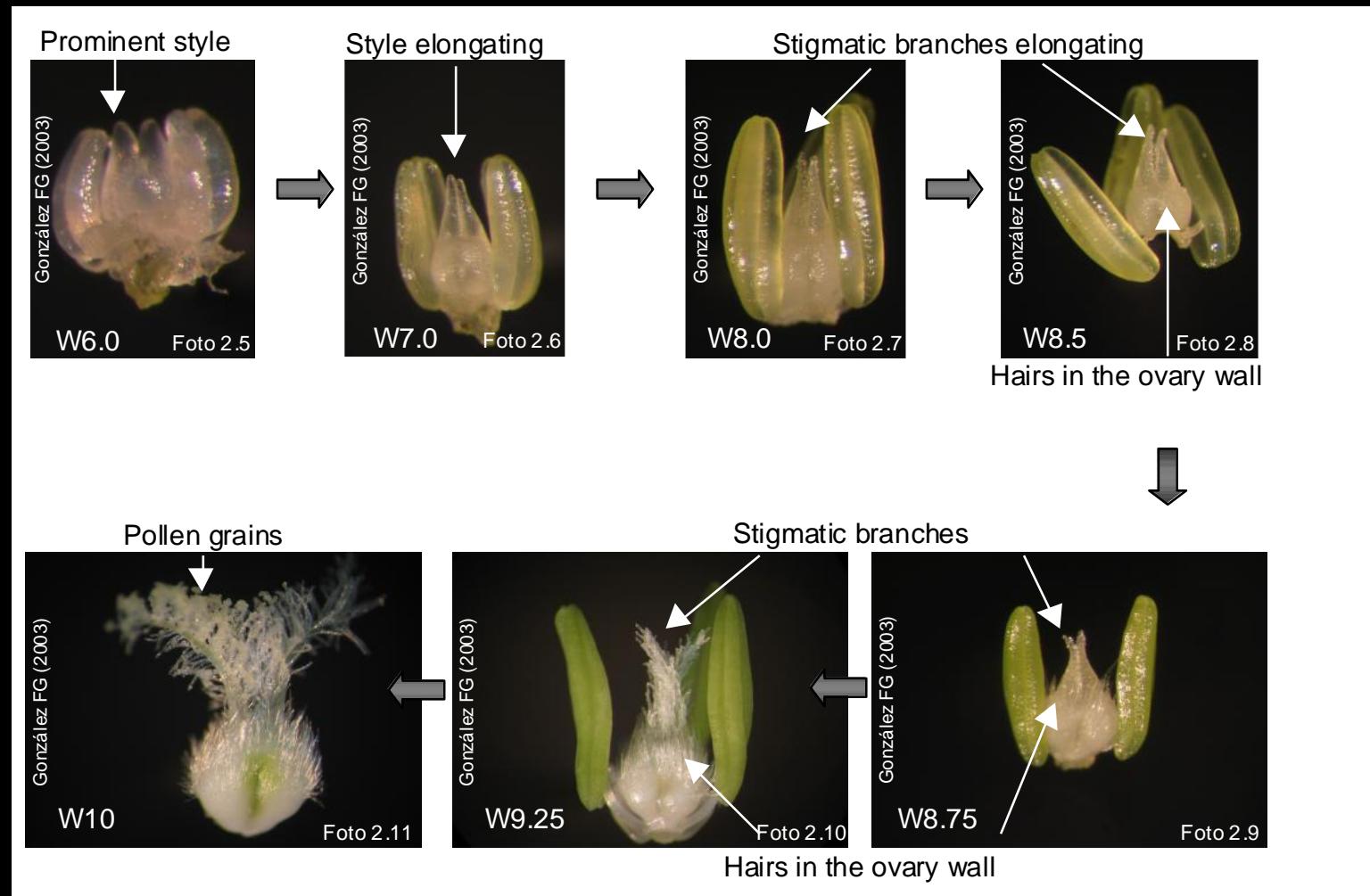
**Fig. 2** Mechanistic model for understanding the physiological bases of grain yield. This model takes into account the phases in which yield have been found to be most responsive to environmental and genetic changes. Briefly, if critical LAI maximizing radiation interception is reached by the timing of the onset of stem elongation, then the maximum biomass accumulation during this period could be achieved for that particular environment. Then a proportion of biomass accumulated by the crop during that phase (of approximately 3–4 weeks) immediately preceding anthesis is partitioned into the spike allowing a particular level of spike dry matter at anthesis, largely determining grain number and yield.

# Spike and floret development in wheat



# DESARROLLO FLORAL DURANTE EL PERÍODO DE CRECIMIENTO DE ESPIGA

*Waddington et al., 1983*



González et al. 2003b Floret development and spike growth as affected by photoperiod during stem elongation in wheat. *FCR* 81, 29-38.



Fernanda González  
Facultad de Agronomía  
Univ. de Buenos Aires

## Living or degenerating florets

Styles elongating



Living floret W7.0

Anthers (turning green)

Anthers dehydration



Degenerating floret

Complete dehydration



Degenerating floret

$NP^{+6}$

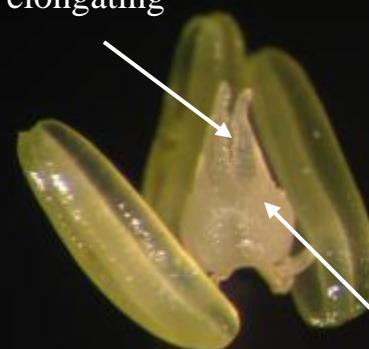
$NP^{+0}$

Stigmatic branches elongating

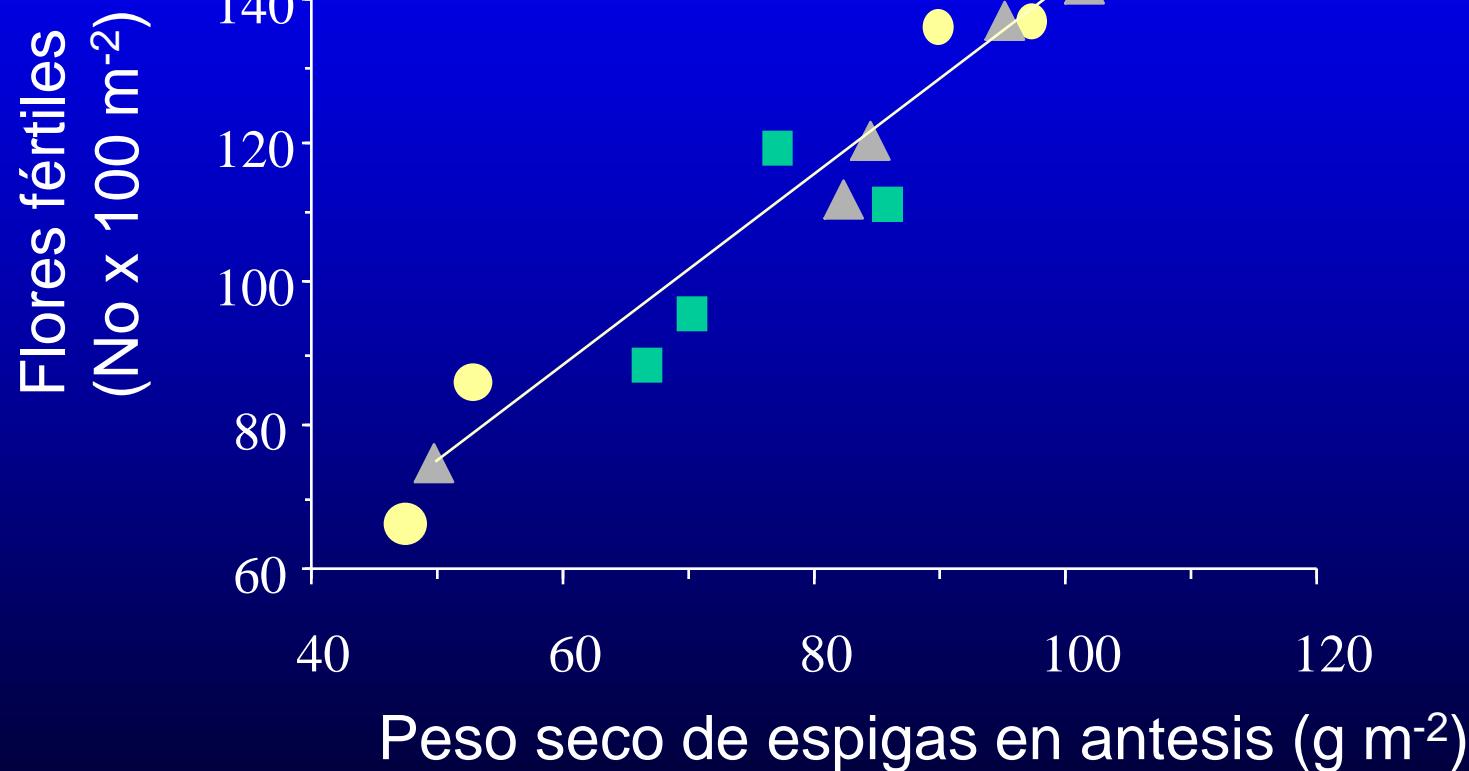
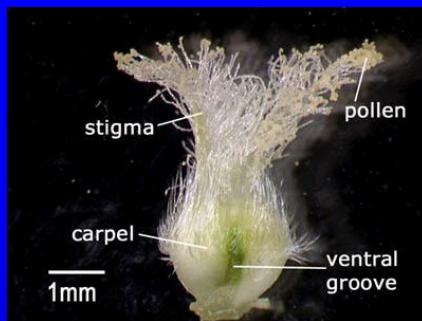


Living floret W8.0

Hairs just differentiating on ovary wall  
Living floret W8.5



# Flores fértiles y peso de espigas en antesis



Miralles et al. (2000)  
*Australian journal of Plant Physiology*

El número de granos de los cereales de zonas templadas puede calcularse:

$$NG = RAD \cdot RI \cdot EUR \cdot PE \cdot ER$$

NG: granos por metro cuadrado

RAD: radiación incidente desde inicio de encañado hasta antesis

RI: fracción de RAD interceptada (%)

EUR: eficiencia de uso de la radiación

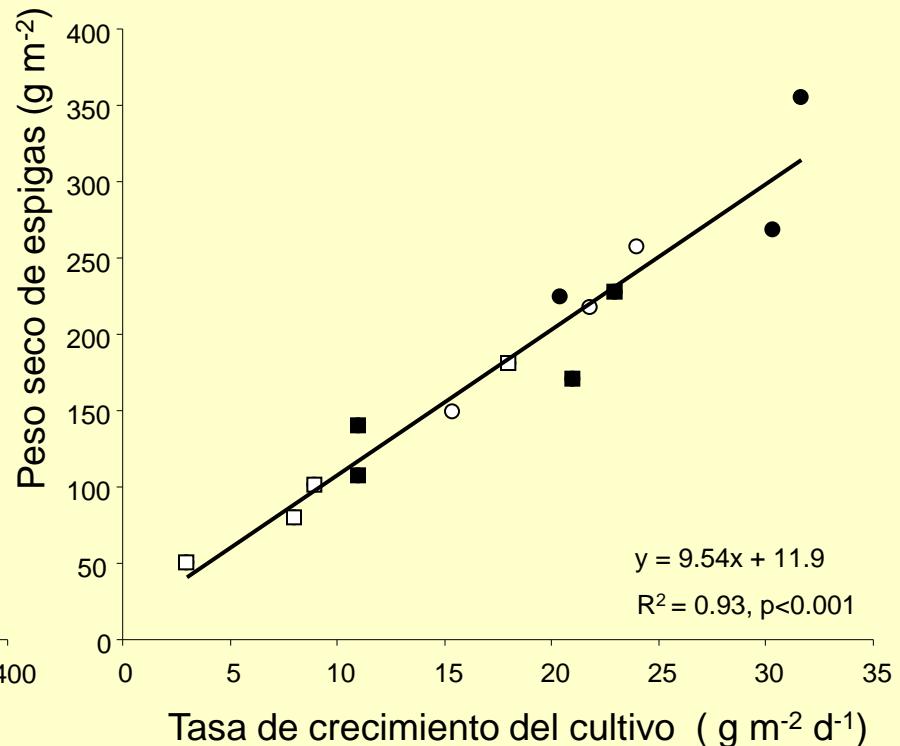
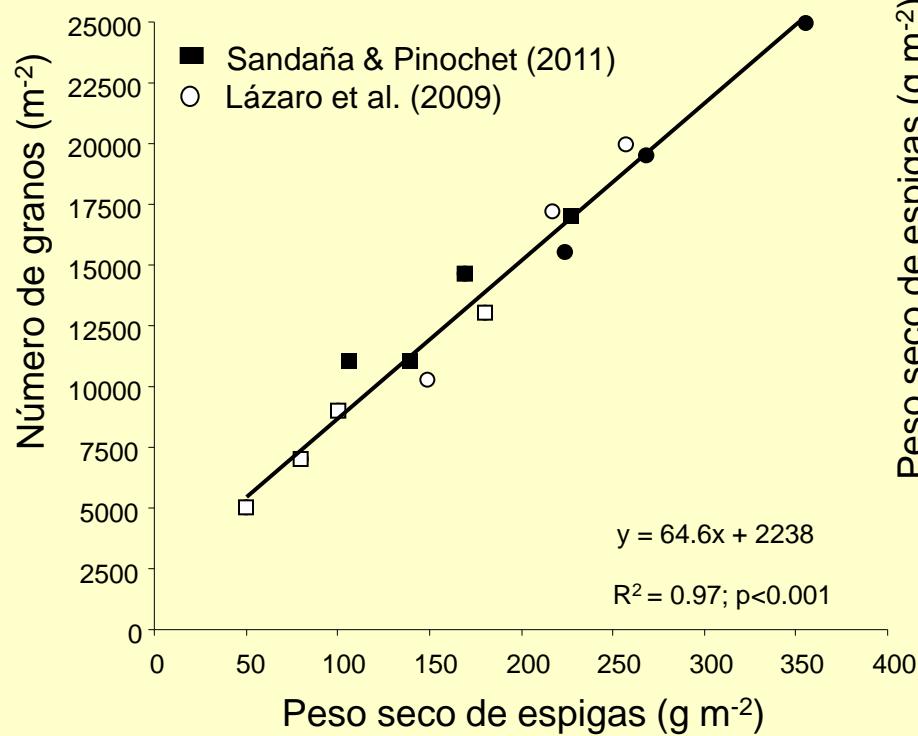
PE: coeficiente de partición a espigas

ER: eficiencia reproductiva (NG/peso de espigas en antesis)

ER Pandora: 6.4-6.6

ER Huayun: 11.1

# Relaciones Funcionales con el Número de Granos



Lázaro et al. (2009)  
Field Crops Research

Sandaña & Pinochet (2011)  
Field Crops Research

Rendimiento

=

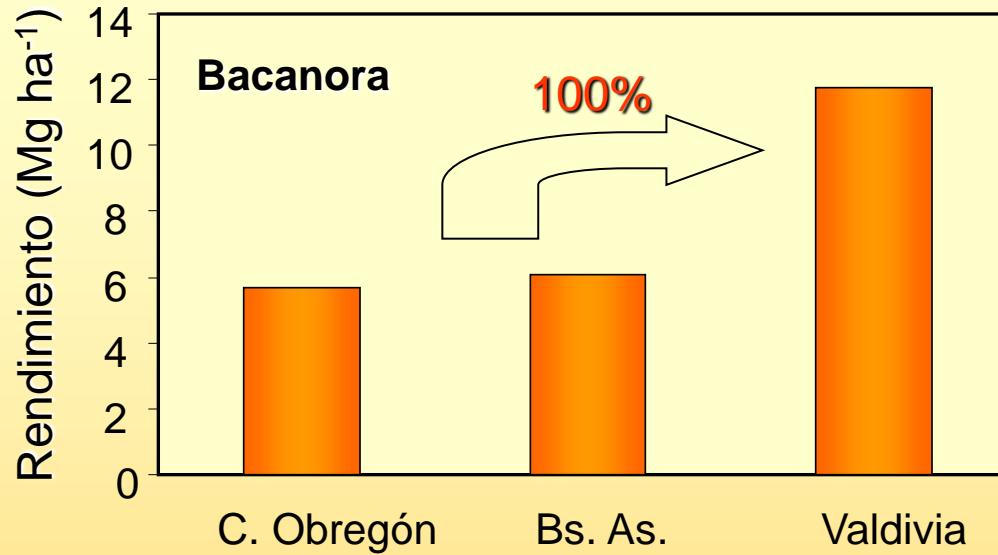
Granos m<sup>-2</sup>

x

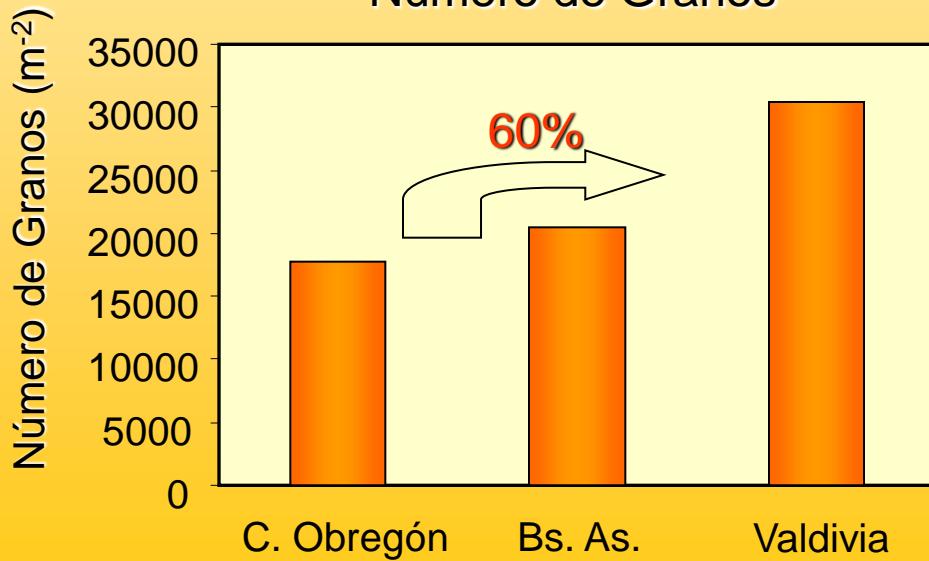
Peso de  
Grano



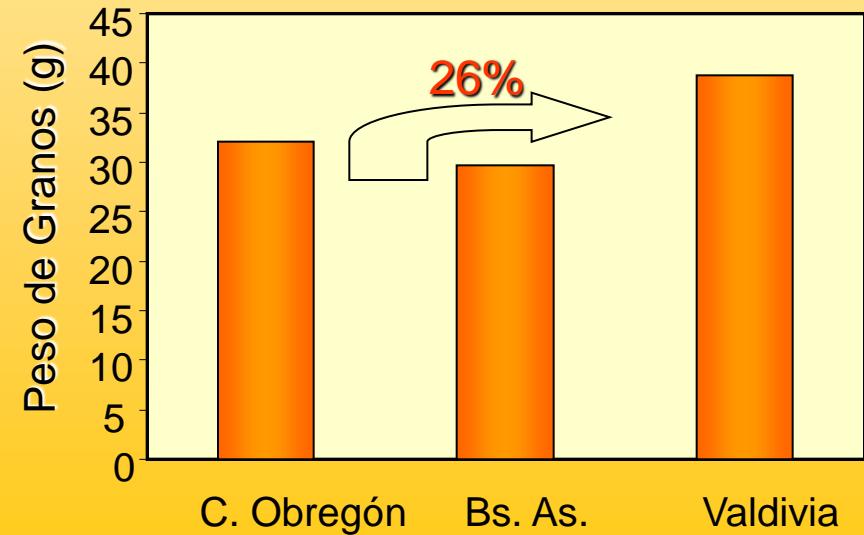
# RENDIMIENTOS de TRIGO



Número de Granos



Peso de Granos

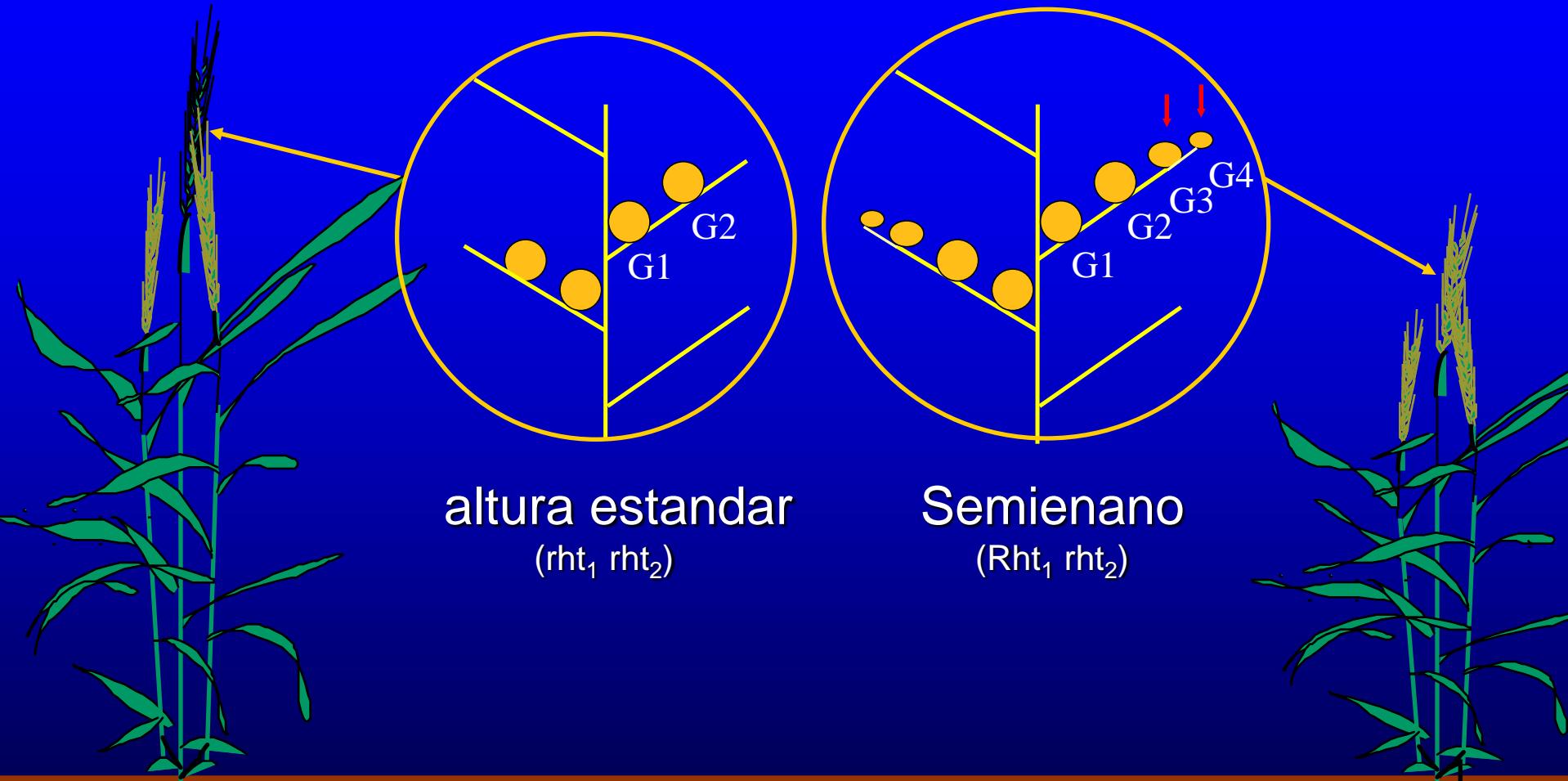


# Trigos primaverales en Argentina, Inglaterra, México y Chile

Genotype/ environment	Rendimiento	P1000	NG
Weebill	Ob_07	6.4	40.13
	Ob_08	-	-
	Ob_09	7.2	45.5
	Ob_10	5.9	46.0
	CF_08	9.8	-
	CF_10	6.3	50.1
	Va_09	<b>12.9</b>	<b>45.4</b>
	Va_10	<b>12.7</b>	<b>46.0</b>
Bacanora	BA_09	6.6	38.1
	Ob_07	6.1	36.2
	Ob_08	-	-
	Ob_09	6.1	34.1
	Ob_10	5.8	38.8
	CF_08	8.6	-
	CF_10	4.8	35.8
	Va_09	<b>11.7</b>	<b>39.0</b>
Weebill x Bacanora	Va_10	<b>11.8</b>	<b>38.7</b>
	BA_09	7.0	27.3
	Ob_07	6.5	38.0
	Ob_08	7.1	38.6
	Ob_09	6.3	37.7
	Ob_10	5.8	39.5
	CF_08	7.7	-
	CF_10	5.5	41.1
	Va_09	<b>11.9</b>	<b>44.2</b>
	Va_10	<b>12.2</b>	<b>44.7</b>
	BA_09	6.8	31.9
			21774

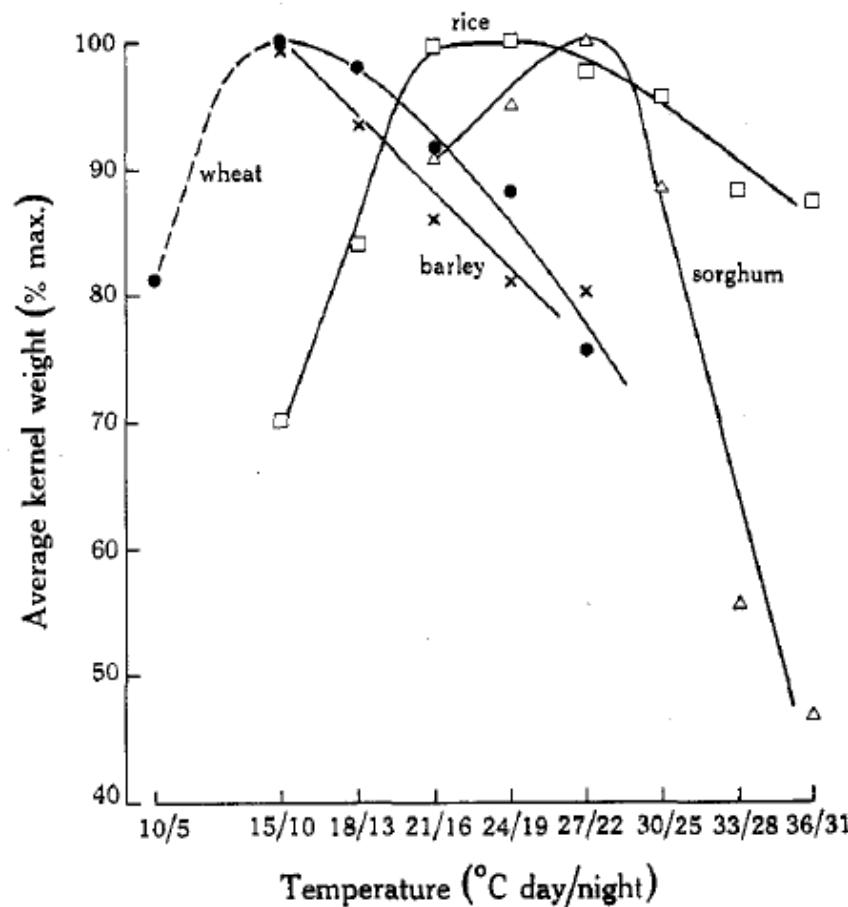
Griffiths (datos no publicados)

# Líneas isigénicas de altura



*Miralles & Slafer (1995)  
Field Crops Research*

# Respuesta del Peso de Grano a la Temperatura



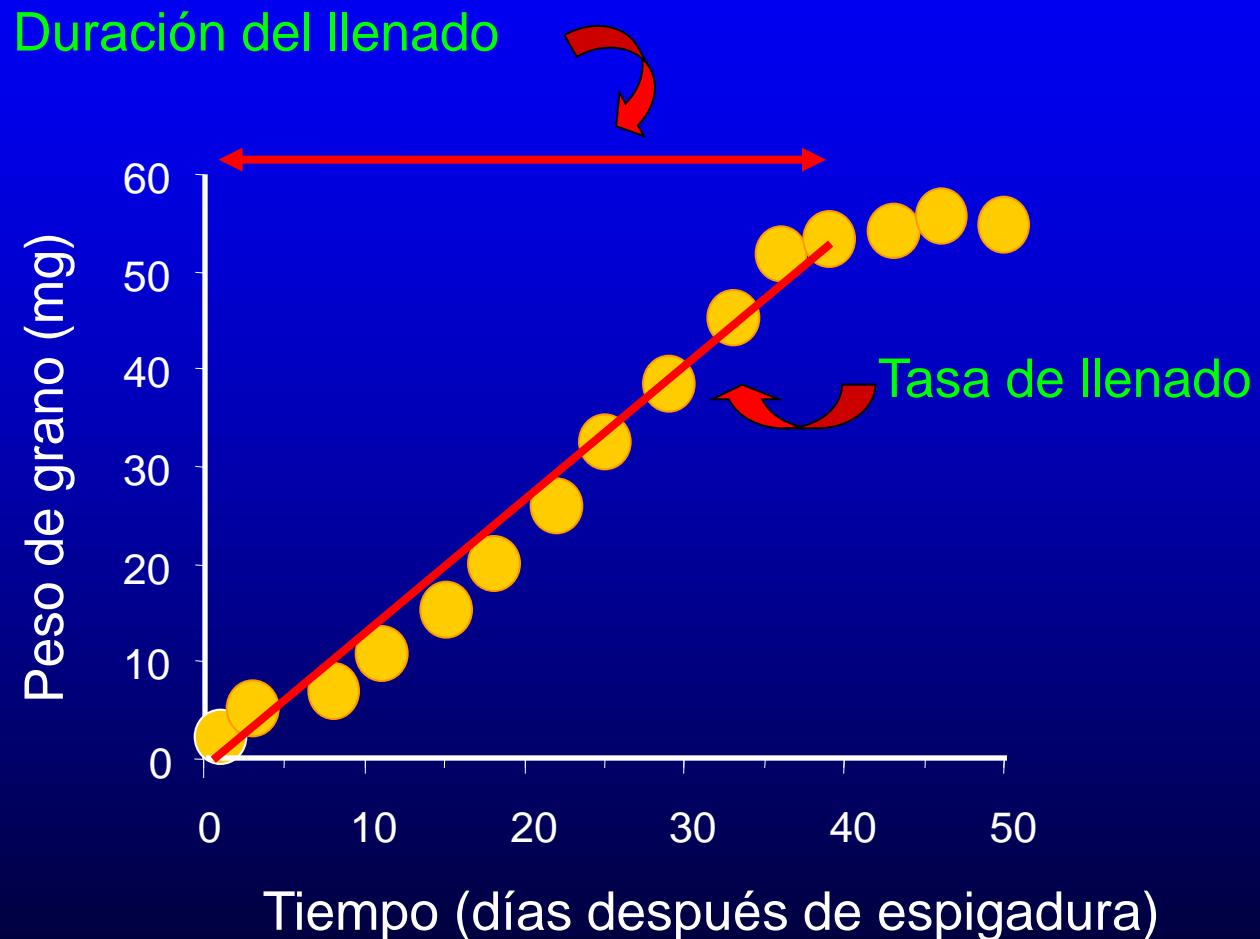
*Chowdhury & Wardlaw (1978)  
Aust. J. Agric. Res.*

# Temperatura media durante el llenado de granos

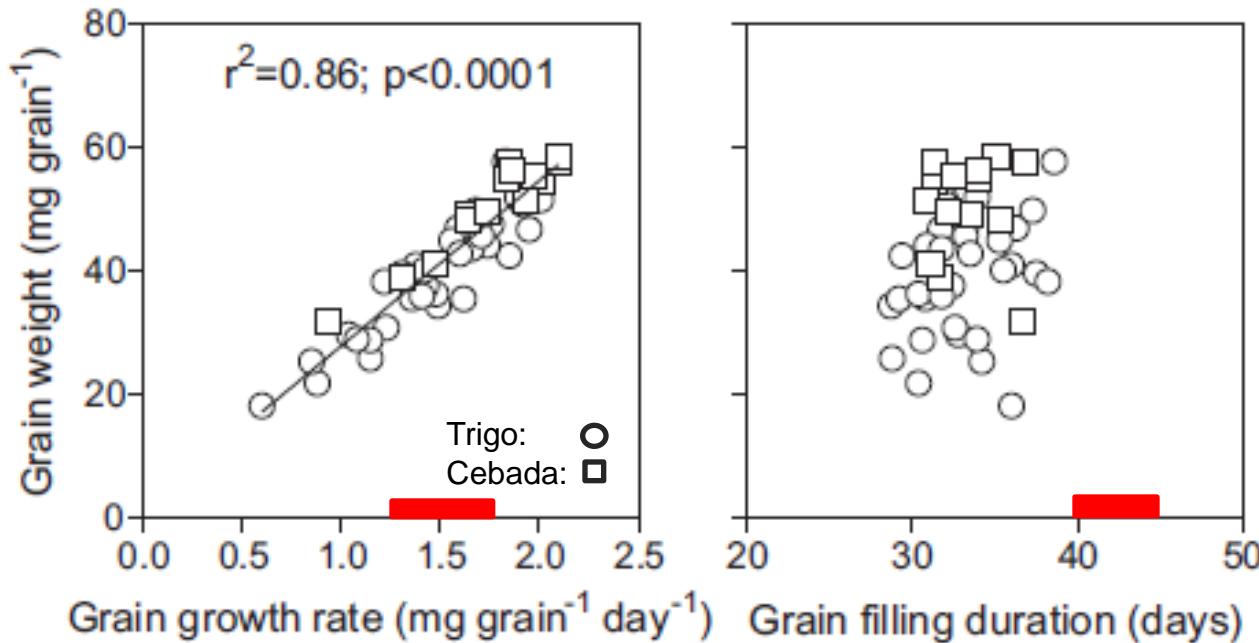
Season	Cultivar	Phenology				Mean temperature (°C)		
		Em	Bo	At	PM	Em-Bo	Bo-An	An-PM
1	Bacanora	11 September	20 November	1 December	15 January	11.9	14.6	15.6
	Kambara	11 September	21 November	3 December	17 January	11.9	14.4	15.9
2	Bacanora	4 October	30 November	15 December	19 January	12.4	13.3	17.8
	Kambara	4 October	1 December	17 December	22 January	12.4	13.9	18.0

Experiment	Year or sowing date	Crop	Phenological period							
			Emergence-flowering				Flowering-physiological maturity			
			$T_{\max}$ (°C)	$T_{\min}$ (°C)	$T_{\text{mean}}$ (°C)	PAR (MJ m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )	$T_{\max}$ (°C)	$T_{\min}$ (°C)	$T_{\text{mean}}$ (°C)	PAR (MJ m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )
1	Y1	Wheat	17.3	7.4	12.3	7.3	21.7	11.2	16.5	11.4
		Lupin	15.6	6.4	11.0	5.9	18.7	13.3	16.0	11.1
	Y2	Wheat	18.7	8.4	13.6	8.8	23.7	11.1	17.4	12.0
		Lupin	17.3	6.8	12.1	7.1	23.0	10.6	16.8	11.7
2	S1	Wheat	17.6	7.0	12.3	7.7	22.7	10.6	16.7	11.7
		Pea	17.3	6.7	12.0	7.4	21.7	10.9	16.3	11.3
	S2	Wheat	18.9	8.6	13.8	9.4	23.8	11.1	17.5	11.9
		Pea	18.9	8.5	13.7	9.3	22.8	11.0	16.9	12.0

# Determinantes del peso de grano



# Relación del peso de grano y la tasa o la duración del llenado de trigo y cebada en ambientes de distinto potencial



Valdivia

tasa entre 1,3 y 1,7 mg d<sup>-1</sup>  
duración entre 40 y 45 d

Serrago et al. (2013)  
*Field Crops Research*

# Peso de grano y relaciones fuente-destino en ambientes Mediterráneos

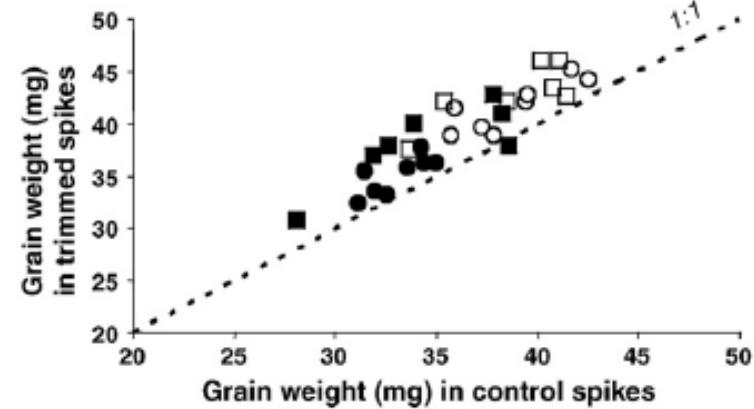
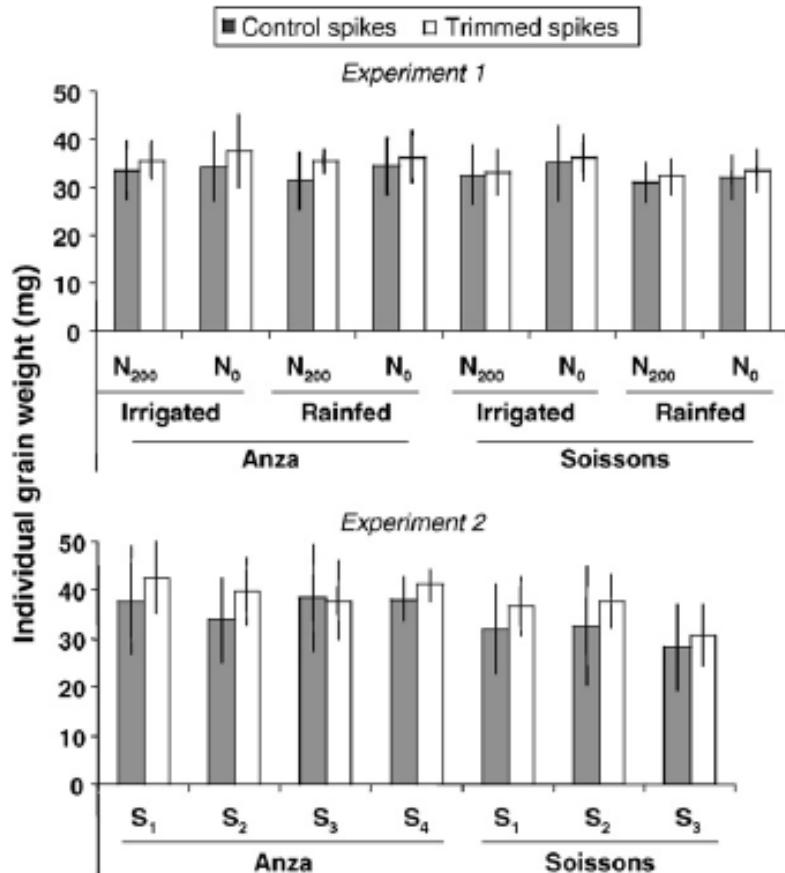


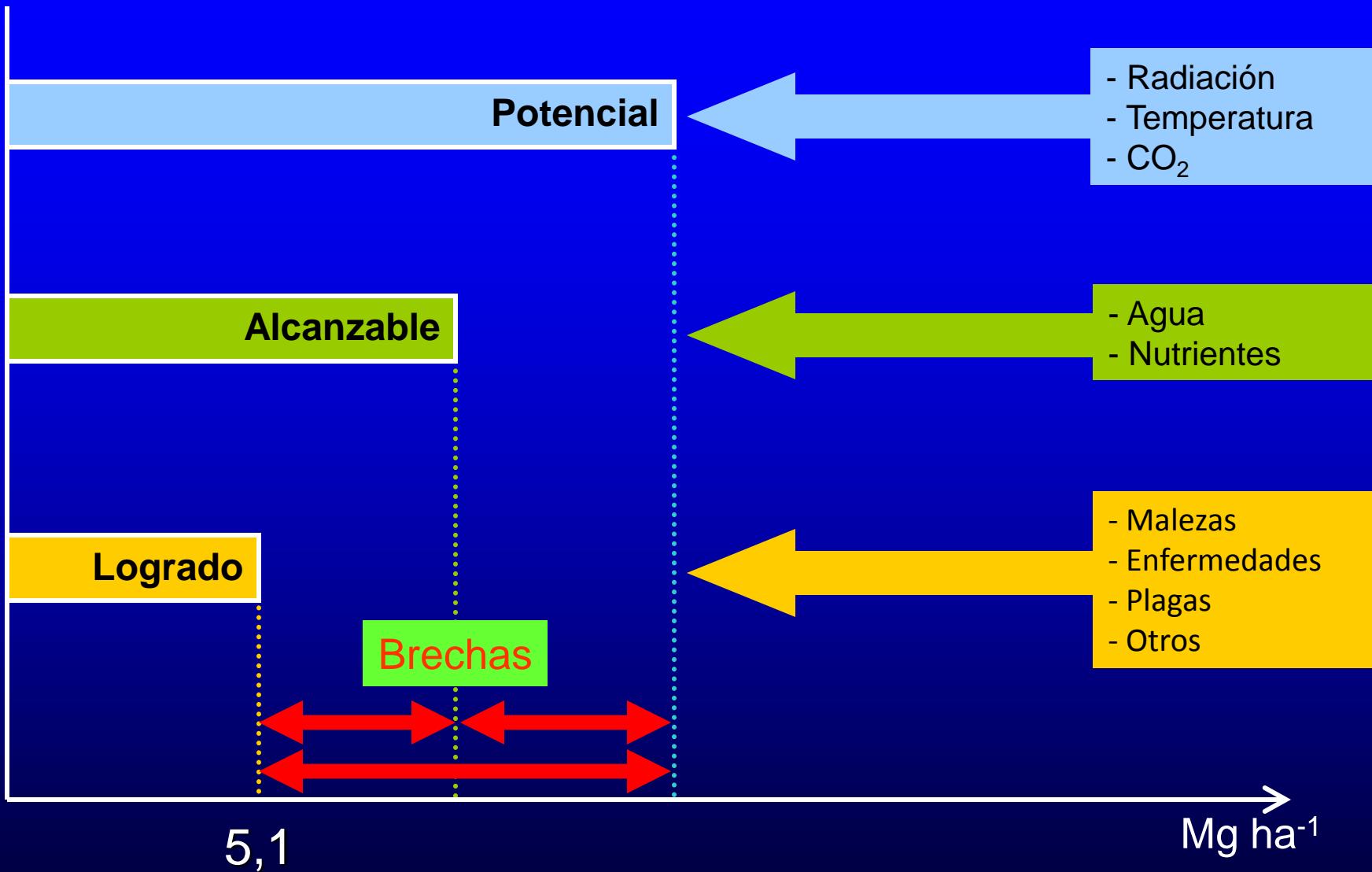
Fig. 4. Averaged grain weight for all grains in the spikes (closed symbols) and for only the proximal grains in central spikelets (open symbols) in trimmed spikes plotted against the same variable in the control spikes for each background treatment in experiments 1 (circles) and 2 (squares). Dashed line represents the 1:1 ratio.

# Conclusiones

- Los rendimientos potenciales de trigo y cebada primaverales en la zona sur de Chile alcanzan las 12 t ha<sup>-1</sup> pero podrían superar las 15 t ha<sup>-1</sup>
- Las variables ambientales que permiten esta potencialidad son un alto coeficiente fototermal (relación R/T°) alrededor de floración y temperaturas próximas al óptimo durante el llenado de los granos
- El período de acumulación lineal de biomasa es corto (4 meses) con tasas de crecimiento que superan los 300 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>
- La Eficiencia en el Uso de la Radiación es una de las claves del alto potencial de producción de biomasa de la zona sur

*Muchas gracias!*

# Esquema del Rendimiento de Trigo



from van Ittersum y Rabbinge (1997)  
Field Crops Research