ECOFISIOLOGÍA DEL CULTIVO EN LA ZONA NORTE DEL PAÍS

CONSIDERACIONES SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE FACTORES CLIMATICOS EN LA ZONA NORTE DEL PAIS

Claudia Marchesi, Andrés Lavecchia

El presente capítulo busca resumir la información correspondiente al clima de la zafra 10/11 comparándolos con datos de la serie histórica (1980-2009). En base a los datos de las estaciones meteorológicas de Tacuarembó (INIA Tacuarembó), Salto (INIA Salto Grande) y Bella Unión (ALUR[1]) se presentan los siguientes factores climáticos: temperatura del aire -medias, máximas y mínimas-, precipitaciones, radiación solar y evaporación del "Tanque A", para cada localidad. A partir de febrero de 2010 se cuenta además con una estación automática funcional (Decagon) en el sitio experimental de Paso Farías, Artigas, y desde octubre del mismo año, con una estación similar en el sitio de Cinco Sauces, Tacuarembó.

A los efectos de determinar la influencia de los factores climáticos sobre el crecimiento vegetativo y el rendimiento en granos en el cultivo de arroz, se simulan cuatro fechas de siembra (20 de septiembre, 20 de octubre, 20 de noviembre y 20 de diciembre), ubicando el comienzo del período crítico (21 días antes y después de 50% floración) 90 días después de la siembra para la primera fecha, 70 días después de la segunda y 60 días después para la tercera y cuarta fecha de siembra.

PRECIPITACIONES

En los Cuadros 1 al 3 se presentan los datos de precipitaciones para las dos localidades, Tacuarembó, Salto y Bella Unión. Primeramente se presentan las medias mensuales, anuales y del período agosto – mayo de los últimos 7 años así como el promedio histórico. En los recuadros siguientes se muestran las sumas anuales, déficit o exceso anual y acumulado, el volumen de lluvias ocurridas en los meses de Diciembre a Marzo y su porcentaje sobre la media histórica. Por último se observa en las figuras 1,2 y 3 las precipitaciones medias mensuales de las zafras 09/10, 10/11 y promedio histórico de las tres localidades.

[1] Datos de Bella Unión obtenidos por gentileza del Departamento Técnico de ALUR (Ing. Agr. F. Hackembruch, L. Parentini)

Cuadro 1. TACUAREMBÓ. Datos de precipitaciones medias mensuales expresadas en mm.

MESES	04/05	05/06	06/07	07/08	08/09	09/10	10/11	M. HIST.
E	63	104	94	137	61	32	116	108
F	32	36	23	232	89	96	503	130
M	30	161	29	293	110	66	53	143
A	123	193	65	161	33	6	16	185
M	70	297	70	58	147	78	149	141
J	62	235	164	131	88	114	83	130
J	56	45	22	15	99	54	150	84
A	22	73	54	146	124	110	78	74
S	74	138	48	34	46	142	132	101
O	105	194	68	299	98	136	12	156
N	127	29	92	35	31	560	31	134
D	64	69	195	55	62	190	110	140
E	104	94	137	61	32	116	83	108
F	36	23	232	89	96	503	120	148
M	161	29	293	110	66	53	98	139
A	193	65	161	33	6	16	78	177
M	297	70	58	147	78	149	108	142
Suma anual	829	1574	923	1595	988	1582	1433	1526
Suma A-M	1183	783	1338	1008	638	1975	850	1319
Suma E-M	300	146	662	259	193	672	301	395

Promedios Anuales de Precipitaciones (mm).

Año	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Prec. Anual histórica
Suma anual	829	1574	923	1595	988	1582	1433	**1526**
Déf Exc anual	-697	47	-603	69	-538	56	-93	
Déf/Exc acum	1293	1340	737	806	267	323	230	

Precipitaciones Acumuladas								
Dic-Mar (mm)	364	215	857	314	255	862	411	535
% Prom. Hist.	-32%	-60%	60%	-41%	-52%	61%	-23%	

Cuadro 2. SALTO. Datos de precipitaciones medias mensuales expresadas en mm.

MESES	04/05	05/06	06/07	07/08	08/09	09/10	10/11	M. HIST.
E	4	131	99	102	118	51	160	125
F	74	96	39	224	117	102	493	122
M	68	244	56	413	66	56	97	181
A	131	125	61	126	82	49	34	160
M	25	315	40	12	51	77	107	99
J	44	296	167	70	65	82	26	95
J	20	48	14	5	49	27	73	44
A	11	62	91	33	48	46	54	41
S	31	115	30	88	73	189	82	90
O	128	93	200	283	110	97	54	160
N	161	49	84	88	38	365	48	136
D	122	47	222	50	7	188	60	143
E	4	131	99	102	118	160	48	125
F	74	96	39	224	117	493	85	122
M	68	244	56	413	66	97	122	181
A	131	125	61	126	82	34	212	160
M	25	315	40	12	51	107	97	99
Total anual	816	1622	1102	1492	824	1329	1289	1396
Suma A-M	753	1277	922	1418	710	1776	863	1257
Suma E-M	146	471	194	738	301	750	255	428

Promedios Anuales de Precipitaciones (mm).

Año	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Prec. Total histórica
Suma anual	816	1622	1102	1492	824	1329	1289	1396
Déf Exc anual	-580	225	-294	96	-572	-67	-108	
Déf/Exc acum	596	821	528	624	52	-15	-122	

Precipitaciones Acumuladas								
Dic-Mar (mm)	268	518	416	788	308	937	316	571
% Prom. Hist.	-53%	-9%	-27%	38%	-46%	64%	-45%	

Cuadro 3. Bella Unión. Datos de precipitaciones medias mensuales expresadas en mm.

BELLA UNION

MESES	04/05	05/06	06/07	07/08	08/09	09/10	10/11	M. HIST.
E	13	151	70	80	174	112	325	**157**
F	68	116	13	189	56	95	121	**143**
M	34	93	32	191	61	21	117	**143**
A	253	87	70	181	88	8	69	**165**
M	29	196	14	12	110	120	84	**99**
J	132	299	246	39	46	24	14	**88**
J	46	7	43	7	101	16	51	**68**
A	10	86	25	92	68	1	16	**58**
S	118	77	60	100	49	207	69	**89**
O	111	104	143	246	312	93	24	**137**
N	170	73	126	88	0	667	54	**125**
D	130	299	340	57	38	229	48	**129**
E	151	70	80	174	112	325	223	**155**
F	116	13	189	56	95	121	177	**142**
M	93	32	191	61	21	117	58	**140**
A	87	70	181	88	8	69	128	**161**
M	196	14	12	110	120	84	99,9	**99**
Total anual	**1114**	**1588**	**1182**	**1280**	**1103**	**1593**	**992**	**1399**
Suma A-M	**1183**	**838**	**1347**	**1071**	**823**	**1913**	**895**	**1235**
Suma E-M	**361**	**114**	**460**	**291**	**228**	**563**	**457**	**437**

Promedios Anuales de Precipitaciones (mm).

Año	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**	**Prec. Total histórica**
Suma anual	1114	1588	1182	1280	1103	1593	992	**1399**
Déf Exc anual	-285	189	-217	-119	-297	194	-408	
Déf/Exc acum		189	-28	-148	-444	-251	-658	

Precipitaciones Acumuladas								
Dic-Mar (mm)	490	413	799	347	266	792	505	**566**
% Prom. Hist.	-13%	-27%	41%	-39%	-53%	40%	-11%	

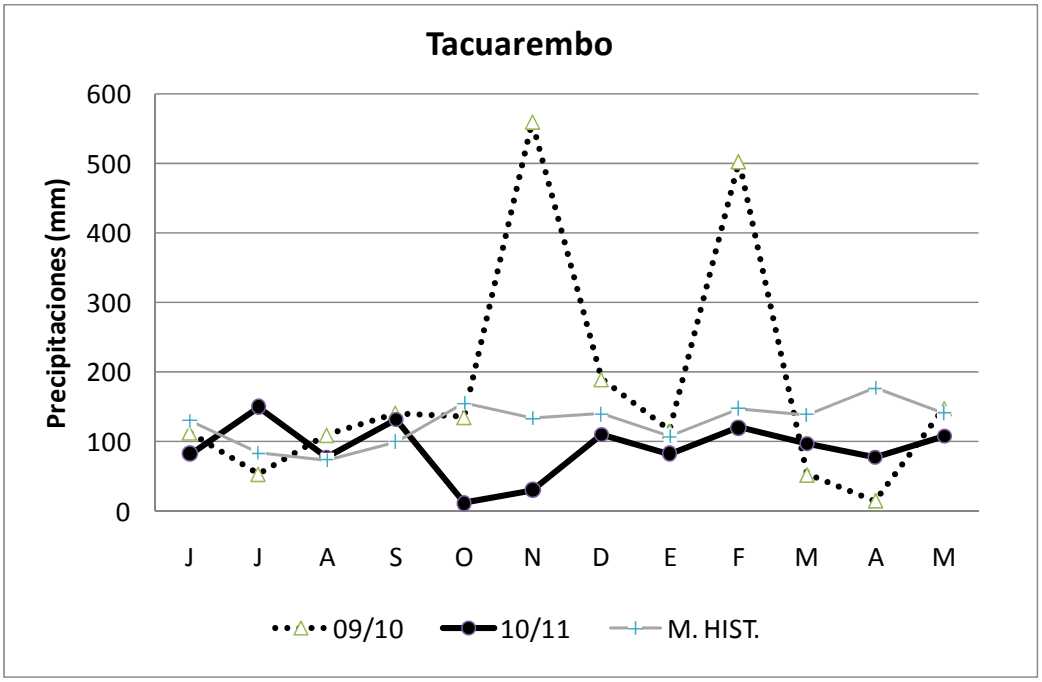

Figura 1. Precipitaciones medias mensuales de la zafra 09/10, 10/11 y promedio de la serie histórica de Tacuarembó.

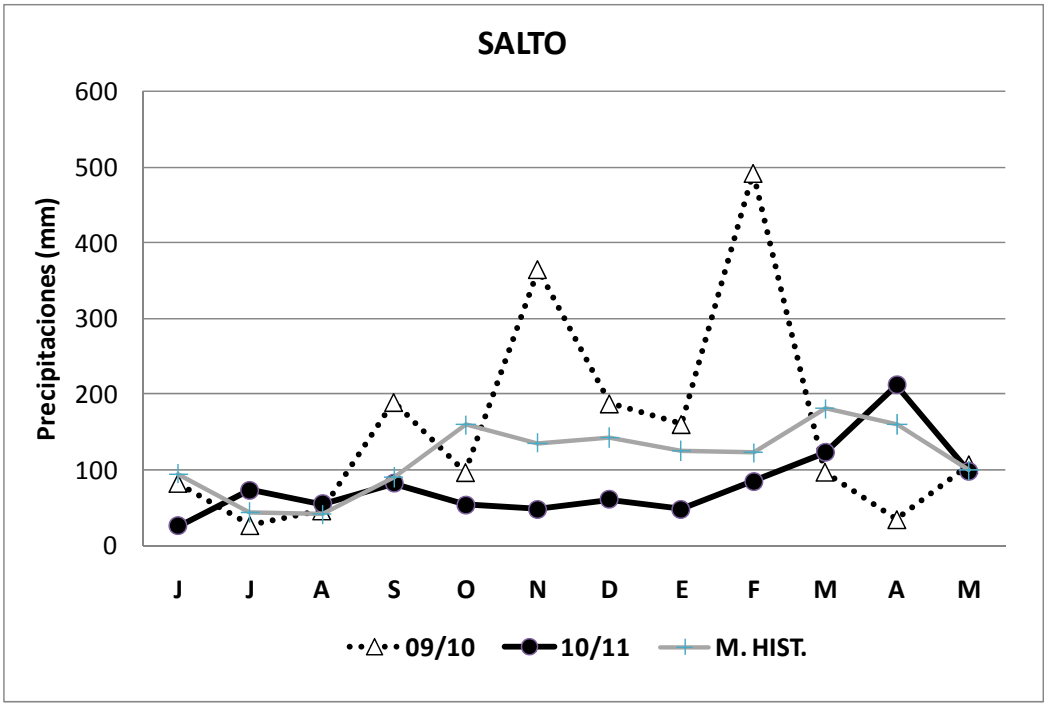

Figura 2. Precipitaciones medias mensuales de la zafra 09/10, 10/11 y promedio de la serie histórica de Salto.

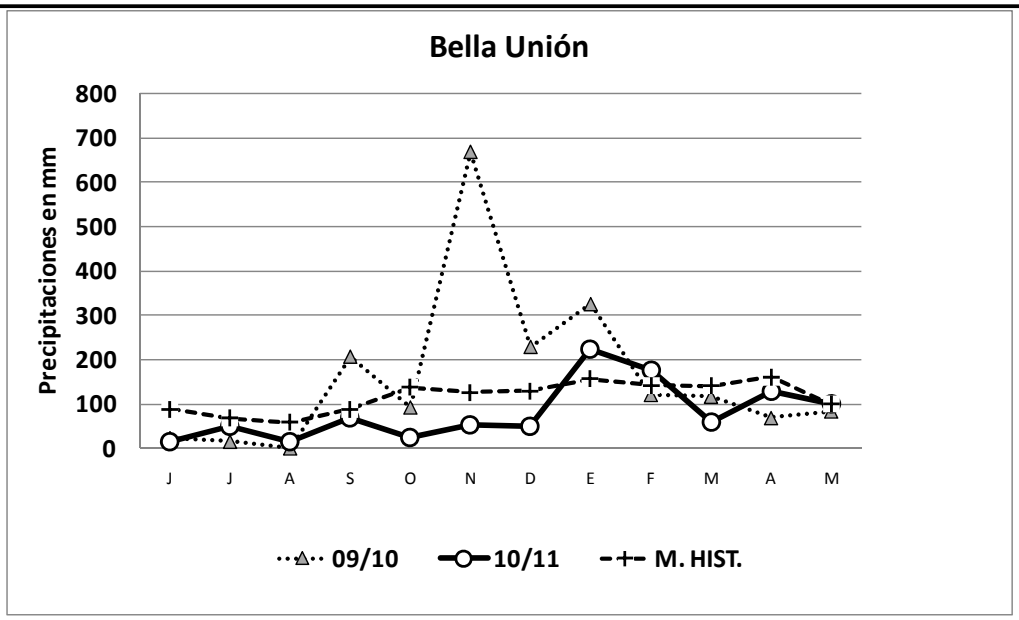

Figura 3. Precipitaciones medias mensuales de la zafra 09/10, 10/11 y promedio de la serie histórica de Bella Unión.

TEMPERATURAS

En base a los datos analizados se presentan graficadas las temperaturas máximas medias y mínimas medias que se sucedieron en la zafra 10/11, comparados con los datos de la serie histórica para las localidades de Tacuarembó, Salto y Bella Unión (Figuras 4-6). En las mismas se detallan las cuatro fechas de siembra simuladas que van a determinar la ubicación de los períodos de floración (Períodos Críticos: PC) en diferentes condiciones climáticas.

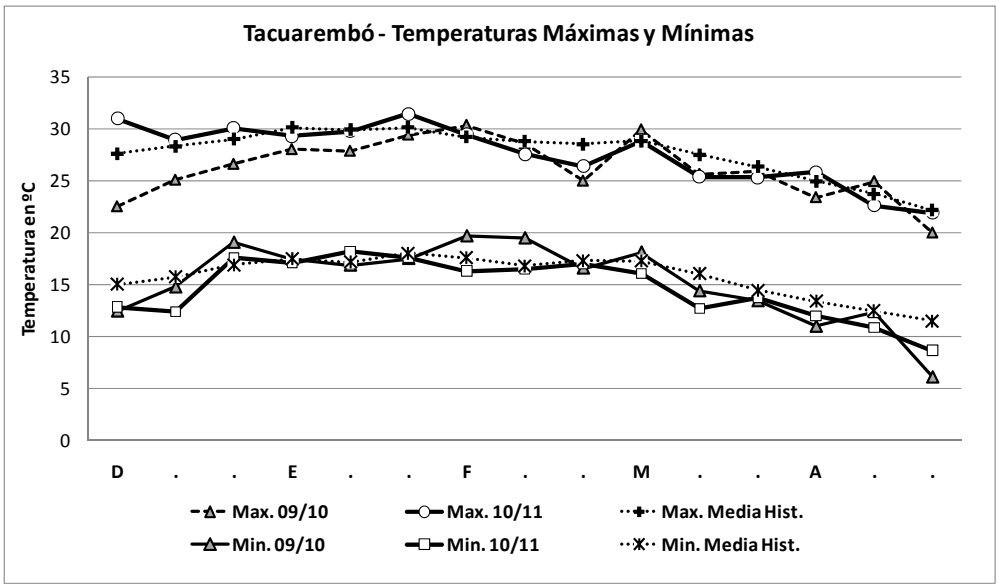

Figura 4. Temperaturas máximas y mínimas. Medias históricas y zafras 09/10, 10/11. Tacuarembó.

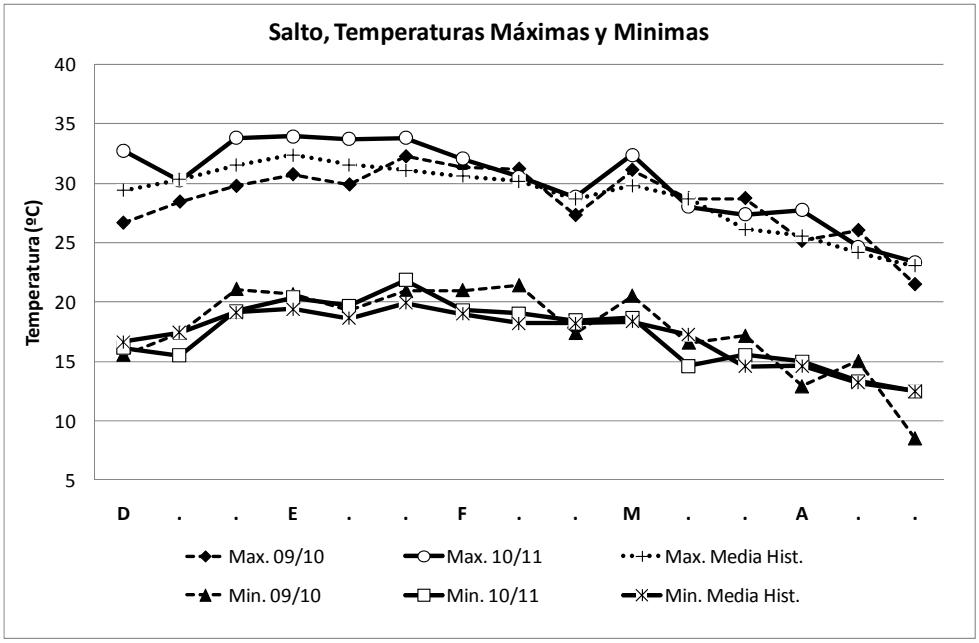

Figura 5. Temperaturas máximas y mínimas. Medias históricas y zafras 09/10, 10/11. Salto.

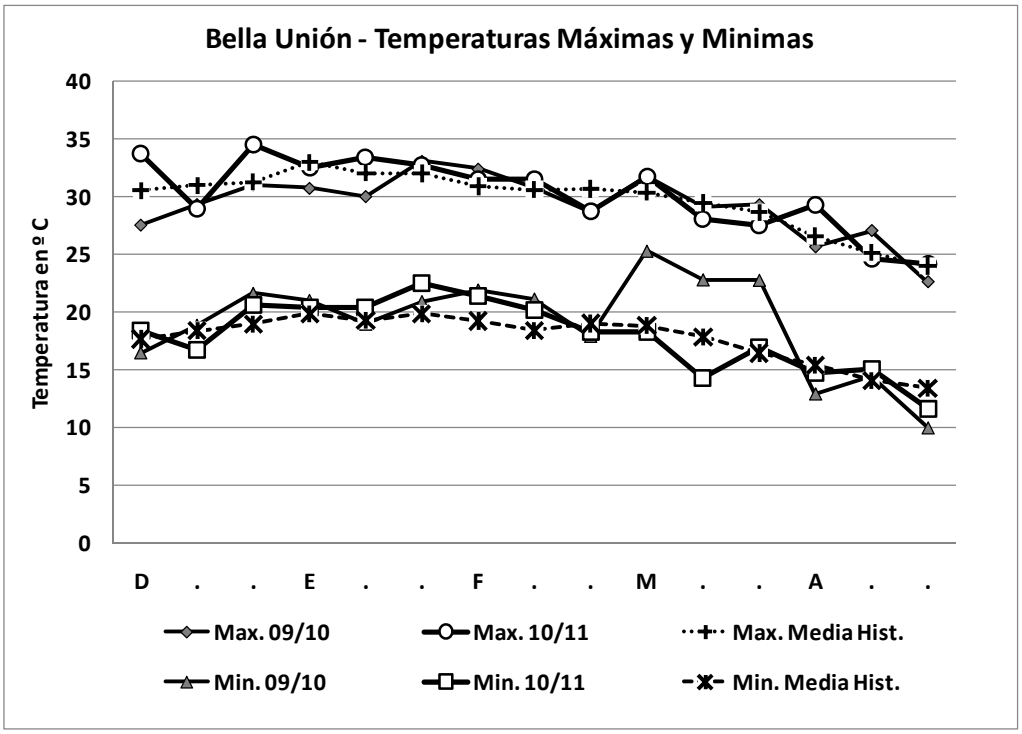

Figura 6. Temperaturas máximas y mínimas. Medias históricas y zafras 09/10, 10/11. Bella Unión.

En los cuadros 3, 4 y 5 se presentan datos de Suma térmica para las tres localidades. Por medio de este parámetro se puede determinar el momento que el cultivo alcanza la floración y la madurez fisiológica.

Cuadro 3. Suma térmica para los períodos críticos de cada época de siembra y para el entorno del 10 de octubre al 10 de enero (desarrollo vegetativo -Des Veg- de la 2a época de siembra)

SUMA TERMICA PARA LOS PERIODOS CRITICOS DE CADA EPOCA DE SIEMBRA Y PARA EL ENTORNO 10 DE OCTUBRE - 10 DE ENERO (Desarrollo Vegetativo)

DEPTO.	PARAMETRO	SUMA TERMICA (Temp. Medias)				
		Des. Veg.	Período Critico			
		10 Oct.-10 En.	1ra época	2da. época	3ra. época	4a. Época
TBO	Media	947	567	571	556	503
	Zafra 10/11	860	583	583	549	442
	Zafra 09/10	851	533	552	542	441
	Difer % (Z-M)/M	-9,1	2,8	2,2	-1,3	-12,2
	Dif. Grados/dia	-1,0	0,4	0,3	-0,2	-1,5
Salto	Media	1115	651	644	609	534
	Zafra 10/11	1125	718	703	651	534
	Zafra 09/10	1145	655	660	644	564
	Difer % (Z-M)/M	0,8	10,3	9,2	6,8	0,1
	Dif. Grados/dia	0,1	1,7	1,5	1,0	0,0
Bella Unión	Media	1173	664	664	636	589
	Zafra 10/11	1152	705	682	637	524
	Zafra 09/10	1208	659	667	651	666
	Difer % (Z-M)/M	-1,8	6,1	2,8	0,2	-10,9
	Dif. Grados/dia	-0,2	1,0	0,5	0,0	-1,6

Difer. % (Z-M)/M = indica la diferencia entre los valores de suma térmica de las series históricas y la zafra actual expresado como porcentaje de la media.
Dif. Grados/día = indica la diferencia de grados centígrados por día para el período considerado.
Períodos críticos:
PC1, 40 días a partir del 20 de diciembre;
PC2, 40 días a partir del 30 de diciembre;
PC3, 40 días a partir del 20 de enero;
PC4, 40 días a partir del 20 de febrero.

Cuadro 4. Suma térmica (acumulación de grados día con base 10º C, considerando la temperatura media diaria, y extremos de mínima de 21º C y de máxima de 34º C) para INIA Olimar y datos de Tacuarembó (INIA), zafra 2010-2011.

INIA Olimar	Inicio Macollaje		Primordio floral		50% floracion		Madurez fisiologica		
Fecha de emergenc	2010-2011	Dias	2010-2011	Dias	2010-2011	Dias	2010-2011	Dias	dias tot
1-oct									
10-oct	**4-nov**	**25**	**21-dic**	**47**	**15-ene**	**25**	**17-feb**	**33**	**130**
20-oct	12-nov	23	25-dic	43	19-ene	25	21-feb	33	124
30-oct	**20-nov**	**21**	**30-dic**	**40**	**24-ene**	**25**	**26-feb**	**33**	**119**
10-nov	30-nov	20	6-ene	37	29-ene	23	7-mar	37	117
20-nov	**6-dic**	**16**	**10-ene**	**35**	**3-feb**	**24**	**11-mar**	**36**	**111**
30-nov	15-dic	15	17-ene	33	10-feb	24	22-mar	40	112
10-dic	23-dic	13	25-ene	33	19-feb	25	1-abr	41	112
20-dic	1-ene	12	1-feb	31	28-feb	27	13-abr	44	114
30-dic	10-ene	11	11-feb	32	11-mar	28	6-may	56	127

Cuadro 5. Suma térmica (acumulación de grados día con base 10º C, considerando la temperatura media diaria, y extremos de mínima de 21º C y de máxima de 34º C) para INIA Olimar y datos de Paso Farías (INIA), zafra 2010-2011.

INIA Olimar	Inicio Macollaje		Primordio floral		50% floracion		Madurez fisiologica		
Fecha de emergencia	2010-2011	Dias	2010-2011	Dias	2010-2011	Dias	2010-2011	Dias	dias tot
1-oct	23-oct	22	4-dic	42	28-dic	24	24-ene	27	115
10-oct	**29-oct**	**19**	**7-dic**	**39**	**31-dic**	**24**	**27-ene**	**27**	**109**
20-oct	6-nov	17	14-dic	38	4-ene	21	1-feb	28	104
30-oct	**16-nov**	**17**	**21-dic**	**35**	**11-ene**	**21**	**7-feb**	**27**	**100**
10-nov	26-nov	16	27-dic	31	18-ene	22	15-feb	28	97
20-nov	**2-dic**	**12**	**2-ene**	**33**	**23-ene**	**21**	**21-feb**	**29**	**95**
30-nov	10-dic	10	10-ene	31	30-ene	20	3-mar	32	93
10-dic	22-dic	12	19-ene	31	8-feb	20	12-mar	32	95
20-dic	30-dic	10	26-ene	31	18-feb	23	24-mar	34	98
30-dic	10-ene	11	5-feb	26	2-mar	25	8-abr	37	99

EVAPORACIÓN

El Cuadro N° 6 y Figuras 7-8 presentan los datos de evaporación del Tanque A para las localidades de Tacuarembó y Salto, comparando los valores de la media histórica con los de la zafra 09/10 y 10/11 para los períodos Enero a Marzo y los Períodos Críticos correspondientes a cada fecha de siembra simulada. Se anexan además las estimaciones de la evaporación diaria (en base a promedios decádicos) para el período Diciembre-Marzo de cada sitio.

Cuadro 6. Evaporación "Tanque A" expresado en mm. Datos de la media histórica y de las zafras 09/10 y 10/11*.

EVAPORACION DEL TANQUE "A"
MEDIAS HISTORICAS Y ZAFRAS ACTUAL Y ANTERIOR

DEPTO	PARAMETROS	EVAPORACION TOTAL EN EL PERIODO (mm)				
		Enero - Marzo	Per. critico (1)	Per. critico (2)	Per. critico (3)	Per. critico (4)
TBO	MEDIA	575	315	303	257	207
	ZAFRA 10/11	556	253	266	261	231
	ZAFRA 09/10	456	227	226	207	178
	Dif.(Z-M)	-19,2	-61,6	-36,3	3,4	24,0
	% (Z-M)/M	-3,3	-19,5	-12,0	1,3	11,6
Salto	MEDIA	621	346	330	282	219
	ZAFRA 10/11	674	380	361	297	248
	ZAFRA 09/10	518	273	260	231	208
	Dif.(Z-M)	53,4	34,1	30,8	14,7	28,3
	% (Z-M)/M	8,6	9,8	9,3	5,2	12,9

Dif.(Z-M) = diferencia entre datos de la zafra y los datos medios
% (Z-M)/M = porcentajes de la diferencia anterior respecto a la media

Dif. (Z-M) = indica la diferencia entre los valores de milímetros evaporados de la zafra actual y la serie histórica.
% (Z-M)/M = indica el porcentaje de la diferencia entre los valores de milímetros evaporados de la zafra actual y la serie histórica.
Períodos críticos:
PC1, 40 días a partir del 20 de diciembre;
PC2, 40 días a partir del 30 de diciembre;
PC3, 40 días a partir del 20 de enero;
PC4, 40 días a partir del 20 de febrero.

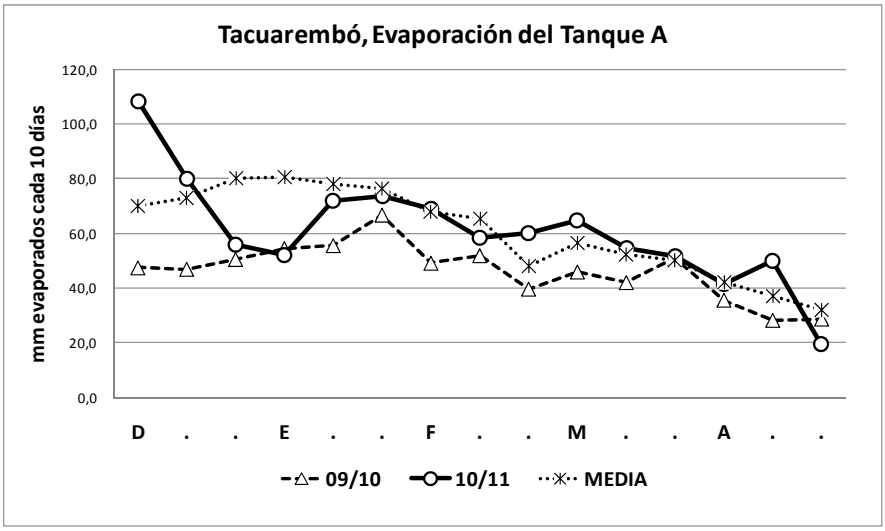

Figura 7: Evaporación (Tanque A) de las zafras 09/10, 10/11 y media histórica en el período Diciembre-Abril para Tacuarembó.

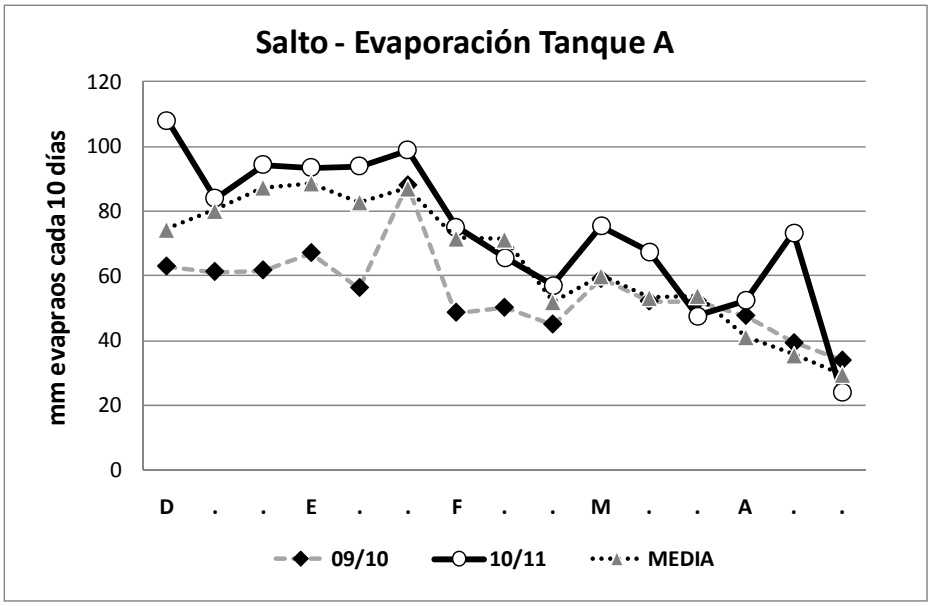

Figura 8: Evaporación (Tanque A) de las zafras 09/10, 10/11 y media histórica en el período Diciembre-Abril para Salto.

RADIACIÓN SOLAR

En una población de plantas los procesos productivos dependen de una compleja interacción entre factores del ambiente y biológicos. La intensidad de la luz y las estructuras productivas de la población son los factores más importantes que determinan la producción de materia seca. Stansel et al. (1965) reportaba que reducciones en la radiación solar producían disminuciones en el rendimiento, con plantas más altas, un aumento en el porcentaje de granos chuzos y menores respuesta a la fertilización nitrogenada. La importancia de los requerimientos de luz en el ciclo del cultivo va aumentando en la medida que nos acercamos al período reproductivo, alcanzando sus mayores exigencias en el comienzo de floración. La fase del cultivo en la cual la falta de luz produce mayores efectos en la reducción de los rendimientos es el período que se extiende desde la diferenciación de la panoja hasta 10 días antes que comience la fase de maduración -aproximadamente 42 días- siendo el comienzo de floración la mitad de este período.

En el Cuadro N° 7 se presenta la sumatoria de horas de luz para los períodos Oct-Dic, Ene-Mar. y los cuatro períodos críticos. En las Figuras 8 y 9 se observan las diferencias entre las zafras 09/10, 10/11 y las medias históricas de cada localidad.

Cuadro 7. Suma de horas luz para los períodos críticos de cada época de siembra y para los entornos Oct.-Dic. y Ene.-Mar. (medias históricas y zafras 09/10 y 10/11).

SUMA DE HORAS DE LUZ PARA LOS PERIODOS CRITICOS DE CADA EPOCA DE SIEMBRA Y PARA LOS ENTORNOS Oct.-Dic. y Ene.-Mar. (medias históricas y zafras 09/10 y 10/11)

DEPTO	PARAMETROS	Des. Veg.	Des.Rep	Período Critico			
		Oct.-Dic.	En.-Mar.	1ra época	2da. época	3ra. época	4a. época
TBO	Media	731	733	372	357	316	291
	Zafra 10/11	829	725	340	305	322	322
	Zafra 09/10	639	745	366	363	313	290
	Difer % (Z-M)/M	13	-1	-9	-14	2	10
	Dif. Hs.sol/dia	1,1	-0,1	-0,8	-1,3	0,1	0,8
SALTO	Media	785	776	391	374	338	312
	Zafra 10/11	861	750	357	328	314	337
	Zafra 09/10	716	745	360	346	309	323
	Difer % (Z-M)/M	10	-3	-9	-13	-7	8
	Dif. Hs.sol/dia	0,8	-0,3	-0,8	-1,1	-0,6	0,7
BELLA UNION	Media	792	787	403	386	343	306
	Zafra 10/11	953	914	447	411	407	399
	Zafra 09/10	845	853	426	403	364	362
	Difer % (Z-M)/M	20	16	11	7	19	30
	Dif. Hs.sol/dia	1,7	1,4	1,1	0,6	1,6	2,4

Difer. % (Z-M)/M = indica las horas de luz de diferencia entre la medida de la zafra actual y la serie histórica, expresado como porcentaje de la media.
Dif. Hs.sol/dia = indica las horas de luz de diferencia por día entre la medida de la zafra actual y la serie histórica.
Períodos críticos:
PC1, 40 días a partir del 20 de diciembre;
PC2, 40 días a partir del 30 de diciembre;
PC3, 40 días a partir del 20 de enero;
PC4, 40 días a partir del 20 de febrero.

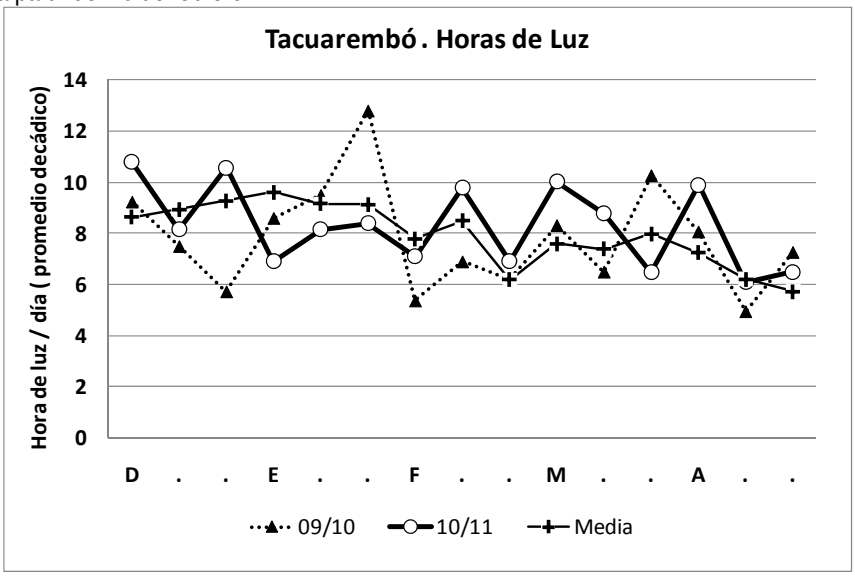

Figura 9. Heliofanía (horas de luz/día, promedio década) del período diciembre a abril para Tacuarembó.

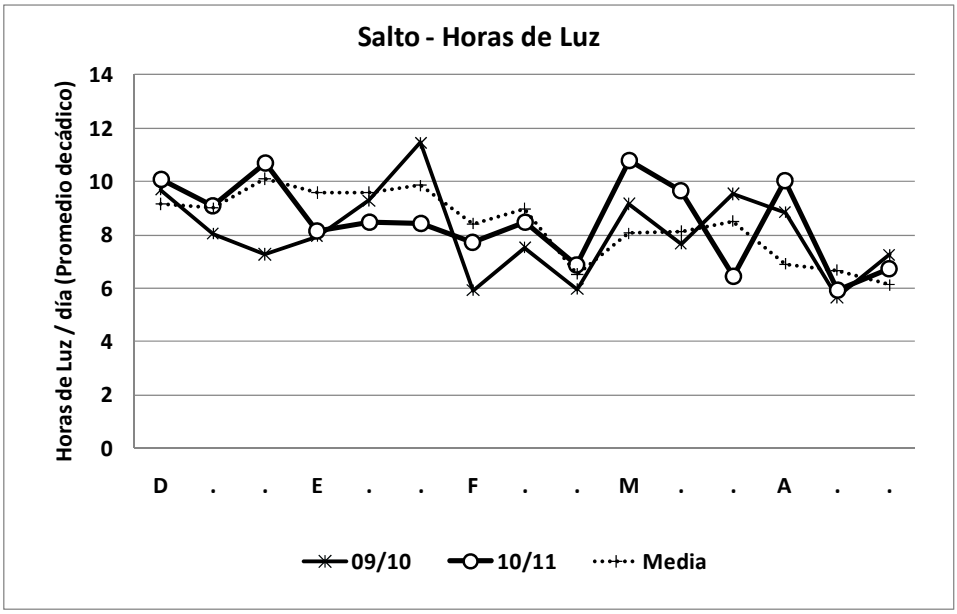

Figura 10 Heliofanía (horas de luz/día, promedio década) del período diciembre a abril para Salto.

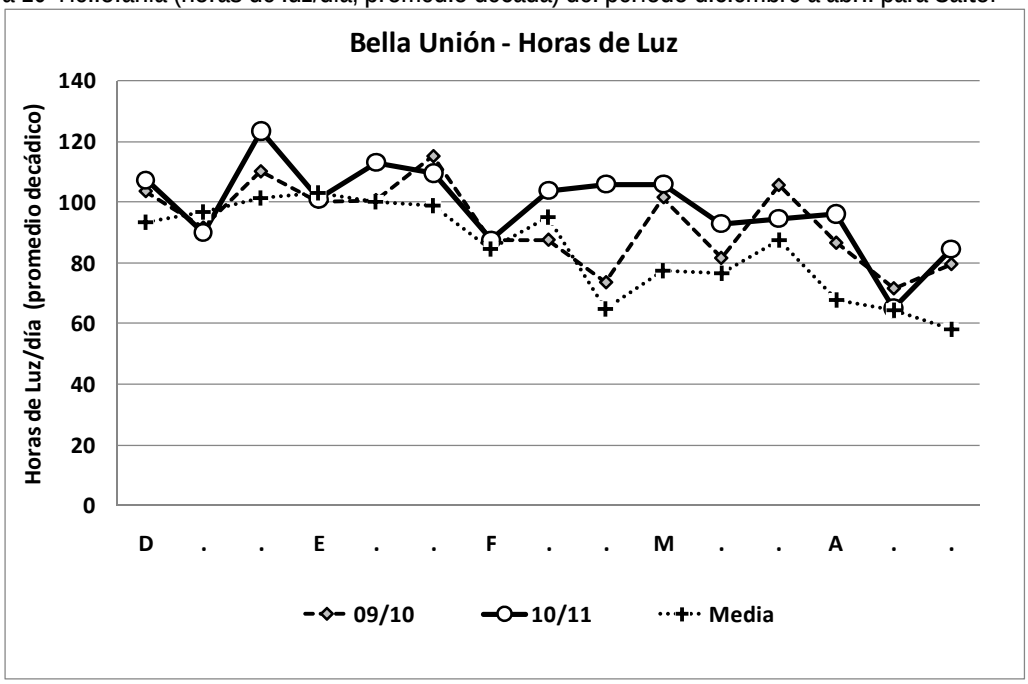

Figura 11 Heliofanía (horas de luz/día, promedio década) del período diciembre a abril para Bella Unión.

RESUMEN

Los Cuadros 8 y 9 muestran los datos de los factores ambientales que mejor explican el comportamiento del cultivo. Se presentan los valores de la suma de horas de luz, suma térmica y milímetros evaporados para las dos últimas zafras respecto al promedio.

Cuadro 8. Radiación solar, suma térmica y evaporación del Tanque "A", para la localidad de Tacuarembó.

RADIACION SOLAR , SUMA TERMICA, Y EVAPORACION DEL TANQUE A PARA LAS LOCALIDADES DE TACUAREMBO y SALTO

TACUAREMBO	**Serie Hist.**	09/10	**10/11**	[(Z - M)/M]%	[(Z - M)/M]%
SUMATORIA DE HORAS DE SOL				09/10 vs SH	10/11 vs SH
Periodo Enero - Marzo	**733**	745	**725**	1,6	-1,2
Periodo Critico (1)	**372**	366	**340**	-1,5	-8,5
Periodo Critico (2)	**357**	363	**305**	1,6	-14,5
Periodo Critico (3)	**316**	313	**322**	-1,0	1,8
Periodo Critico (4)	**291**	290	**322**	-0,5	10,4
SUMA TERMICA (base 10)					
Periodo 10 Oct.-10 Ene.	**947**	851	**860**	-10,2	-9,1
Periodo Critico (1)	**567**	533	**583**	-6,1	2,8
Periodo Critico (2)	**571**	552	**583**	-3,3	2,2
Periodo Critico (3)	**556**	542	**549**	-2,5	-1,3
Periodo Critico (4)	**503**	441	**442**	-12,4	-12,2
SUMA DE LOS (mm) EVAPORADOS					
Periodo Enero - Marzo	**575**	456	**556**	-20,6	-3,3
Periodo Critico (1)	**315**	227	**253**	-27,8	-19,5
Periodo Critico (2)	**303**	226	**266**	-25,3	-12,0
Periodo Critico (3)	**257**	207	**261**	-19,4	1,3
Periodo Critico (4)	**207**	178	**231**	-13,8	11,6

% Ren. = es el % que representa la diferencia entre la última zafra y la media histórica, respecto a la media histórica.

(1) Fecha de siembra 20/09	Periodo critico comienza a los 90 dias	20 diciembre a 30 enero
(2) Fecha de siembra 20/10	Periodo critico comienza a los 70 dias	30 diciembre a 10 febrero
(3) Fecha de siembra 20/11	Periodo critico comienza a los 60 dias	20 enero a 28 febrero
(4) Fecha de siembra 20/12	Periodo critico comienza a los 60 dias	20 febrero a 31 marzo

Cuadro 9. Radiación solar, suma térmica y evaporación del Tanque "A", para la localidad de Salto.

SALTO	Serie Hist.	09/10	10/11	[(Z - M)/M]%	[(Z - M)/M]%
SUMATORIA DE HORAS DE SOL				09/10 vs SH	10/11 vs SH
Periodo Enero - Marzo	**776**	745	**750**	-4,1	-3,5
Periodo Critico (1)	**391**	360	**357**	-8,1	-8,7
Periodo Critico (2)	**374**	346	**328**	-7,5	-12,5
Periodo Critico (3)	**338**	309	**314**	-8,7	-6,9
Periodo Critico (4)	**312**	323	**337**	3,5	8,1
SUMA TERMICA (base 10)					
Periodo 10 Oct.-10 Ene.	**1114**	1211	**1145**	8,7	2,8
Periodo Critico (1)	**651**	679	**655**	4,3	0,6
Periodo Critico (2)	**644**	660	**660**	2,5	2,5
Periodo Critico (3)	**608**	638	**644**	4,9	5,9
Periodo Critico (4)	**533**	572	**564**	7,3	5,8
SUMA DE LOS (mm) EVAPORADOS					
Periodo Enero - Marzo	**621**	518	**674**	-16,6	8,6
Periodo Critico (1)	**346**	273	**380**	-21,2	9,8
Periodo Critico (2)	**330**	260	**361**	-21,4	9,3
Periodo Critico (3)	**282**	231	**297**	-17,9	5,2
Periodo Critico (4)	**219**	208	**248**	-5,1	12,9

% Ren. = es el % que representa la diferencia entre la última zafra y la media histórica, respecto a la media histórica.

(1) Fecha de siembra 20/09	Periodo critico comienza a los 90 dias	20 diciembre a 30 enero
(2) Fecha de siembra 20/10	Periodo critico comienza a los 70 dias	30 diciembre a 10 febrero
(3) Fecha de siembra 20/11	Periodo critico comienza a los 60 dias	20 enero a 28 febrero
(4) Fecha de siembra 20/12	Periodo critico comienza a los 60 dias	20 febrero a 31 marzo