

EFECTO DE CAMBIOS EN LA TEMPERATURA DEL AIRE Y EN SU  
VARIABILIDAD SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE UN CULTIVO DE MAIZ EN  
LA ZONA SUR DE LA PROVINCIA DE CORDOBA

**INTRODUCCIÓN**

La variabilidad climática y la ocurrencia de eventos climáticos extremos tales como sequías, heladas, ondas de calor, etc., constituyen importantes fuentes de riesgo para la producción agropecuaria. Sus efectos se visualizan en la imposibilidad de alcanzar rendimientos potenciales en los cultivos, por generar una variabilidad substancial en la producción y por ocasionar, muchas veces, graves consecuencias sobre los agricultores tanto en forma individual como sobre las economías regionales. Aunque existe una considerable incertidumbre respecto a cómo la variabilidad climática puede cambiar para una determinada región, es importante determinar niveles de variabilidad climática, significativos para los diferentes sistemas biofísicos (Mearns *et al.*, 1992).

Desde comienzos de los años noventa, Argentina pasó a ocupar un lugar relevante en la producción y comercialización de granos, destacándose en los logros alcanzados el cultivo de maíz, por ser el que ostenta para el pasado decenio los mayores incrementos porcentuales tanto en los volúmenes cosechados como en la productividad física media por hectárea (Figura N°1). Durante la campaña 2004/05, la producción nacional de maíz totalizó, aproximadamente, 20,5 millones de toneladas, récord para este cultivo, superando el máximo volumen alcanzado hasta el momento, obtenido en la campaña 1997/98, con una producción de 19,36 millones de toneladas (Tabla N° 1 en Anexo) (Figura N°1). El principal factor que explica esta elevada producción es el rendimiento promedio total alcanzado, que, por primera vez en la historia de este cereal, supera los 70 qq/ha, siendo las provincias de Córdoba, Santa Fe y parte de Buenos Aires, las que en mayor parte contribuyeron a lograr dicha productividad. Los oportunos aportes de lluvias durante la etapa de llenado de grano, permitieron alcanzar muy buenos rendimientos que, en algunos casos, superaron los 100 qq/ha. Tanto la superficie sembrada como la cosechada se mantuvieron similares al promedio de los últimos 10 años, poniendo en evidencia que este cultivo es el de mayor estabilidad en la rotación agrícola por su uso como suplemento en la alimentación animal, su importancia en la recuperación de la fertilidad y estructura de los suelos, por su alto volumen de rastrojos y su demanda en la agroindustria.

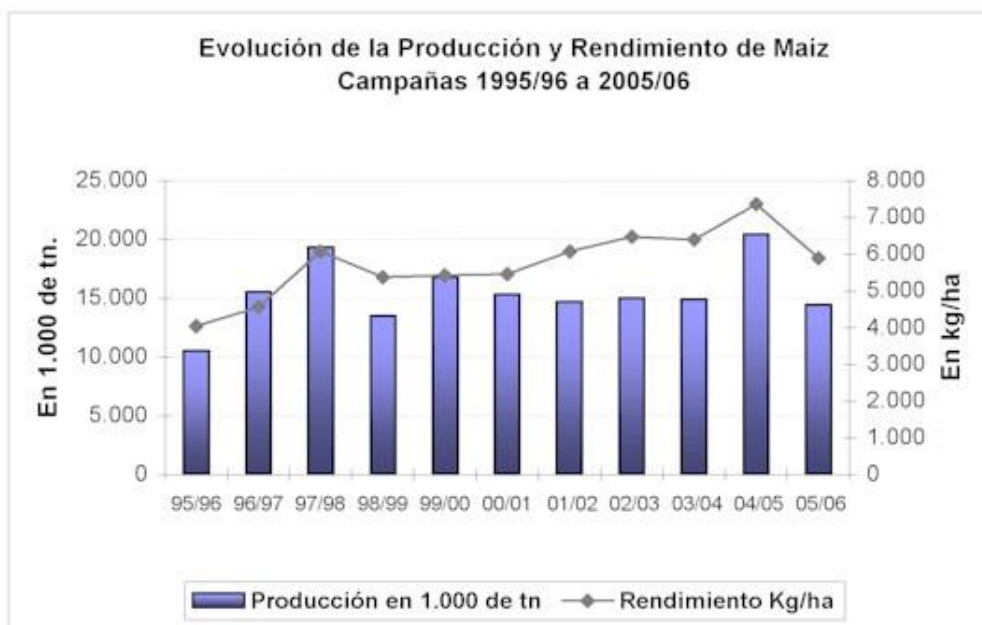


Figura N° 1: Evolución de la producción y rendimiento de maíz para las campañas 1995/96 a 2005/06 (SAGPyA, 2007)

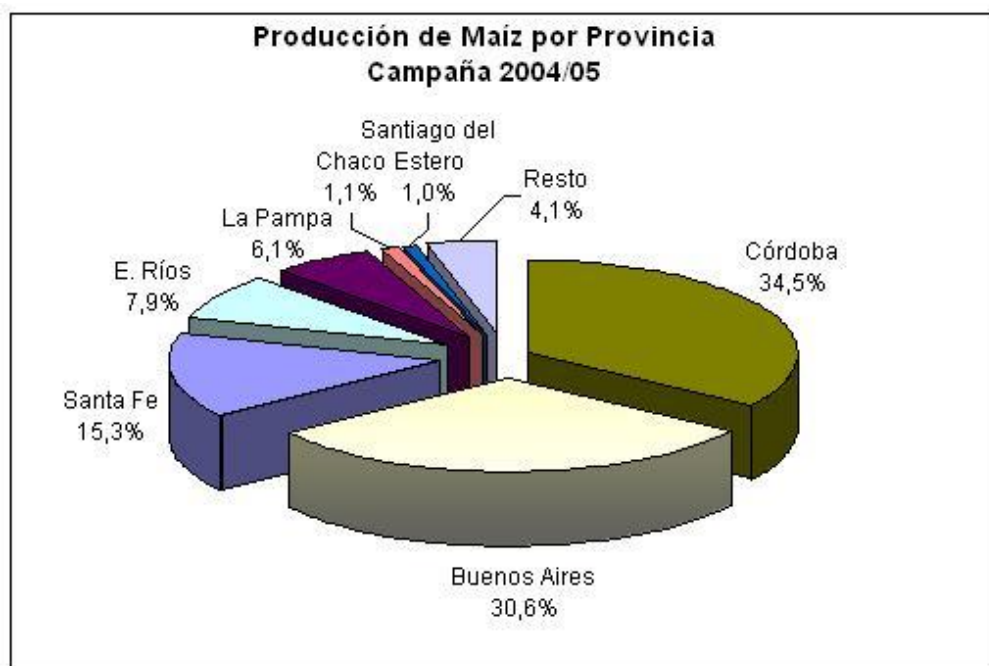


Figura N° 2: Participación de cada provincia en la producción nacional de maíz, campaña 2004-05 (SAGPyA, 2007)

En cuanto a la producción final obtenida por provincia, Córdoba vuelve a posicionarse como la principal provincia productora, alcanzando una producción de aproximadamente siete millones de toneladas, la más alta en la historia de este cultivo.

También se obtuvo un rendimiento final promedio de 82,1 qq/ha, record para la provincia, lográndose los valores más elevados en la región centro-sur de la misma. El resto de las provincias disminuyeron levemente su participación, a excepción de La Pampa que de contribuir con el 4% pasa a aportar el 6,1% en el ciclo en análisis (Figura N° 2).

Durante la campaña 2005/06 la producción nacional de maíz alcanzó, aproximadamente, las 14,5 millones de toneladas, registrándose una disminución del 29% con respecto a la obtenida en la campaña inmediata anterior (Tabla N° 1 en Anexo). Esta importante disminución fue consecuencia, en primer lugar, de la reducción en el rendimiento promedio (20%) y en segundo término, de una menor área sembrada (6%) y cosechada (12%). La mayor caída en la superficie se registró en los partidos del sur de la provincia de Buenos Aires, el oeste de Córdoba, Entre Ríos, el norte de La Pampa y el sur de Santa Fe. En cuanto a la producción final obtenida en cada una de las principales provincias productoras, éstas prácticamente mantienen el porcentaje de participación con respecto a la campaña 04/05, siendo Córdoba, la que contribuye con el mayor porcentaje (Figura N° 3).

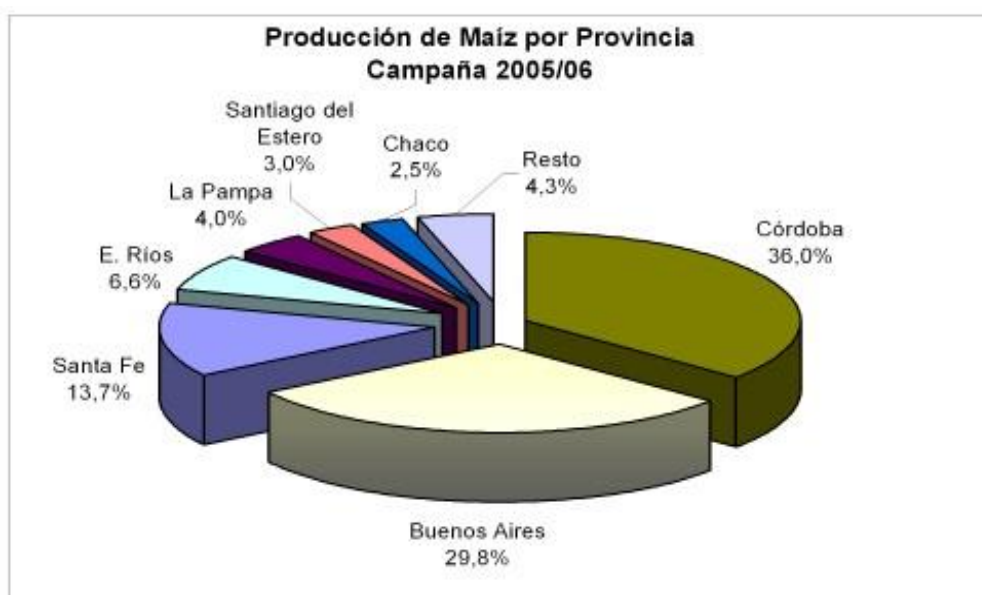


Figura N° 3: Participación de cada provincia en la producción nacional de maíz, campaña 2005-06 (SAGPyA, 2007)

El principal factor climático que condicionó la implantación en la mayor parte de la provincia de Córdoba fue la falta de lluvias adecuadas y oportunas, por lo que las labores se realizaron lentamente y a medida que la condición hídrica de los suelos iba mejorando. Sin embargo, Córdoba fue la principal provincia productora (Tabla N° 1 en Anexo) alcanzando aproximadamente 5,2 millones de toneladas, a pesar del bajo rendimiento promedio obtenido (el más bajo de las últimas cinco campañas), poniendo en evidencia el estrés hídrico sufrido

por el cultivo a lo largo de su ciclo. La mayor superficie sembrada y cosechada, compensó esa menor productividad unitaria e impidió una marcada caída en la producción total (Tabla N° 1). La principal caída en el rendimiento con respecto a la campaña 2004/05, se produjo en la región centro-oeste, en donde se registró una disminución del 30 al 40% (SAGPyA, 2006).

Tabla N° 1: Evolución de la superficie sembrada y cosechada (ha), producción (tn) y rendimiento de maíz (kg/ha) en la provincia de Córdoba

Córdoba	Superficie Sembrada	Superficie Cosechada	Producción	Rendimiento
1996/97	1.029.500	754.755	2.607.100	3.454
1997/98	919.100	875.800	4.422.100	5.049
1998/99	734.050	580.150	2.799.800	4.826
1999/00	855.400	801.920	4.765.800	5.943
2000/01	862.750	737.370	4.201.110	5.697
2001/02	906.950	828.150	5.656.070	6.830
2002/03	923.570	809.550	6.160.140	7.609
2003/04	738.830	608.985	3.941.200	6.470
2004/05	1.027.970	860.270	7.061.800	8.209
2005/06	1.038.180	848.880	5.204.450	6.131

La importancia del cultivo de maíz en la planificación de los subsistemas agrícolas de las empresas predominantes en la región pampeana ha sido destacada en numerosas ocasiones (*e.g.* Pedrol *et al.*, 2004). La rotación de cultivos es la clave tecnológica disponible que tienen los productores para lograr la sustentabilidad ambiental y en ella, el cultivo de maíz cumple un rol central. Como antecesor de otros, permite diversificar los riesgos productivos, inhibiendo la proliferación de patógenos, insectos y malezas, y evitando desequilibrios químicos de importancia. También influye en la condición física del suelo, principalmente en lo que se refiere al estado estructural y distribución de raíces. Con respecto a la estructura, el efecto está dado por la cantidad y calidad del rastrojo que se produce y se devuelve al suelo, siendo el maíz uno de los que más rastrojo produce dependiendo de su crecimiento. En comparación, los rastrojos de maíz poseen una elevada relación C/N, liberando al descomponerse los nutrientes más lentamente que la soja (cultivo que lo ha desplazado en superficie sembrada debido a su mayor rentabilidad económica). Además, el sistema radical del maíz aumenta la proporción de macroporos en el suelo, condición que es favorable para el crecimiento de las raíces de los cultivos que le siguen en la rotación (Pedrol *et al.*, 2004).

## ANTECEDENTES

En maíz, la temperatura es la principal causa de la variación anual de su crecimiento y desarrollo. La relación entre temperatura y desarrollo sustentó la elaboración de los modelos para el cálculo de las sumas térmicas (a través de funciones de ajuste lineales, exponenciales o mediante ecuaciones más complejas) ampliamente usados para predecir el momento de ocurrencia de distintos sucesos fenológicos en maíz, basados en la acumulación de grados-día (Gilmore y Rogers, 1958; Cross y Zuber, 1972; Mederski *et al.*, 1973; Brown, 1978; Tollenaar *et al.*, 1979; Coelho y Dale, 1980; Lozada y Angelocci, 1999). Si bien el tiempo real que transcurre hasta alcanzar una determinada etapa de desarrollo no es una función lineal de la temperatura (Tollenaar *et al.*, 1979; Warrington y Kanemasu, 1983a), la respuesta de la velocidad de desarrollo (inversa a la duración en días de la etapa) es aproximadamente lineal en el rango térmico comprendido entre una temperatura base (temperatura mínima a la cual la tasa de desarrollo es mínima) y una temperatura óptima (a la cual se alcanza la máxima tasa de desarrollo) (Warrington y Kanemasu, 1983b). La temperatura óptima por encima de la cual deja de aumentar en forma lineal el desarrollo, se ubica entre los 30 y 34 °C (*e.g.* Gilmore y Rogers, 1958; Blaclow, 1972).

Es un hecho bien establecido que la temperatura afecta el desarrollo y crecimiento de las hojas. La diferenciación foliar en el meristema apical durante su fase vegetativa, responde lineal y positivamente a la temperatura en el rango térmico comprendido entre sus valores base (8 °C) y óptimos (30-34 °C) (*e.g.* Warrington y Kanemasu, 1983b; Hardacre y Turnbull, 1986). La tasa de aparición de hojas crece linealmente al variar la temperatura a la que crecen las plantas entre 8 y 34 °C. Por encima de 34°C, el filocrono (tasa de aparición de las hojas) cae linealmente hasta anularse nuevamente a los 44°C (Kiniry, 1991). Por otra parte, según Ritchie y NeSmith (1991), la tasa de crecimiento de la superficie de la hoja es máxima entre 22 y 32 °C. Según Wilson *et al.* (1973), el Índice de área foliar (IAF) máximo que puede lograr un cultivo es mayor a temperaturas intermedias (en su experimento a 21 °C), ya que a temperaturas mayores (25 °C) se acorta el periodo de crecimiento vegetativo. En forma coincidente, Hardacre y Turnbull (1986) indican que a 21 °C las plantas de maíz llegan a producir su máxima área foliar. Al expresar la duración de las etapas fenológicas en grados día<sup>-1</sup>, estas diferencias en duración de tiempo desaparecen. Como consecuencia de lo expuesto, la temperatura es un factor que modifica de forma significativa el IAF que establece un cultivo a lo largo de su ciclo de crecimiento y, por lo tanto, modifica la Eficiencia de Intercepción de la Radiación Incidente (ei) por parte del canopeo (Andrade, 1992).

Como la fotosíntesis es función de la temperatura diurna y el desarrollo de las temperaturas diurna y nocturna, entonces lo ideal para el maíz es contar con un ambiente con

gran amplitud térmica. De esta manera, temperaturas diurnas relativamente elevadas permiten altas tasas de fotosíntesis, mientras que bajas temperaturas nocturnas prolongan el período de crecimiento, posibilitando que el cultivo disponga de más días para fotosintetizar entre dos eventos fenológicos dados. El rendimiento en grano correlaciona positivamente con la radiación incidente media diaria y con la amplitud térmica, y negativamente con la temperatura media (Andrade, 1992). A su vez, la disminución en la temperatura mínima (dentro de ciertos valores) aumenta el rendimiento, debido a que promueve un aumento en la duración del ciclo del cultivo (Andrade, 1992). En conclusión, podemos decir que las zonas de mayor producción de biomasa y rendimiento (sin limitantes), son las que reciben alta radiación y presentan una amplitud térmica considerable, con temperaturas diurnas óptimas para la fotosíntesis y la eficiencia de conversión y temperaturas nocturnas bajas para retardar la velocidad de desarrollo (Andrade, 1992).

Un riesgo que esta siempre vigente al momento de la implantación de un cultivo estival, es la ocurrencia de heladas extemporáneas (tempranas o tardías); por ello una adecuada fecha de siembra es una importante estrategia que debe ser tomada en cuenta para disminuir el riesgo. En el caso de maíz, el daño que pueden ocasionar las heladas tardías será bajo si el meristema apical se encuentra por debajo de la superficie. Sin embargo, es probable que ocurra la pérdida de un número variable de plantas y senescencia de las hojas, ocasionando una disminución de los rendimientos. La necesidad de resembrar un cultivo afectado dependerá de la cantidad de plantas y hojas dañadas. La ocurrencia de una helada temprana al final del ciclo del cultivo puede ocasionar su finalización, acortando por lo tanto el período de llenado del grano y disminuyendo su peso final, dependiendo de la intensidad de la misma (Benson, 1990).

Investigaciones recientes han demostrado que los modelos de simulación son una herramienta útil para dilucidar las complejas interacciones que determinan el rendimiento, dado que pueden reproducir el crecimiento diario de las plantas en función del clima, la disponibilidad de agua y nutrientes, el manejo y la variedad utilizada. Una vez calibrados, los modelos pueden ser utilizados con series meteorológicas históricas para evaluar la respuesta del cultivo a una determinada práctica y condición inicial y su impacto económico (Mavromatis *et al.*, 2001). Los modelos de simulación del crecimiento, desarrollo y rendimiento de cultivos también han sido usados para evaluar el impacto del cambio climático y la variabilidad climática sobre la producción agrícola (*e.g.* Mearns *et al.*, 1996, 1997; Vinocur *et al.*, 2000). Como estos modelos requieren datos climáticos diarios, datos del suelo y de la planta para simular el rendimiento del cultivo, pueden ser usados para evaluar riesgos y respuestas de cultivos en determinadas combinaciones de suelo-clima y para asistir en la toma de decisiones de manejo, en beneficio de una disminución del riesgo productivo. Cuando los modelos han sido validados para una región, se convierten en

poderosas herramientas para reemplazar muchos de los ensayos experimentales de prueba y error y reducir costos en la experimentación agropecuaria. De esta forma proveen información a los agricultores, extensionistas y a los que determinan las políticas productivas etc., asistiéndolos en la toma de decisiones para alcanzar las metas propuestas (Ritchie, 1991)

Considerando la importancia del cultivo de maíz para la región, los efectos de cambios en la temperatura sobre el cultivo y la aptitud demostrada por los modelos de simulación en la evaluación de los efectos de la variabilidad climática, las hipótesis y los objetivos de este estudio son:

#### HIPÓTESIS

- Las condiciones térmicas climáticas en la región a lo largo del ciclo de cultivo permitirán alcanzar tasas de desarrollo y crecimiento óptimos.
- Temperaturas del aire que excedan los rangos de temperaturas óptimos para el cultivo de maíz, afectarían su crecimiento, desarrollo y rendimiento, de acuerdo a la etapa en que se produzcan.

#### OBJETIVOS

- Ajustar y validar un modelo de maíz para Río Cuarto.
- Evaluar los efectos de cambios en la temperatura del aire sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz.

## MATERIALES Y METODOS

### Caracterización climática de la región

El clima de Río Cuarto es templado-mesotermal subhúmedo, con estación seca, con una amplitud térmica anual de 13,9°C, con 23 °C de temperatura media para el mes más cálido (enero) y 9,1°C para el mes más frío (julio). La fecha media de primera helada es el 25 de mayo ( $\pm 14,3$  días) siendo la fecha extrema de primera helada el 29 de abril. La fecha media de última helada es el 12 de septiembre ( $\pm 20,3$  días) correspondiendo como fecha extrema de última helada el 4 de noviembre (Serie 1974-1993, Seiler *et al.*, 1995)

El régimen de precipitaciones es monzónico concentrándose el 80 % de las precipitaciones en el período octubre-abril. Las principales adversidades climáticas son las sequías, las heladas extemporáneas y el granizo (Seiler *et al.*, 1995). La precipitación normal anual es de 801,2 mm, registrándose entre septiembre y marzo (ciclo del cultivo de maíz) 693,4 mm (Serie 1974-1993, Seiler *et al.*, 1995) (Tabla N° 2).

Tabla N° 2: Valores normales de precipitación (mm) correspondientes a la serie 1974/1993 en Río Cuarto (Seiler *et al.*, 1995)

	Precipitaciones Normales							Total Ciclo
	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	
1° Década	10,1	13,6	28,6	37	46,1	29,4	37	
2° Década	9,4	20,4	40,3	44,2	40,6	36,6	32,2	
3° Década	19,8	40,8	45,8	49,6	43,3	34,3	34,3	
<b>Total mensual</b>	<b>39,3</b>	<b>74,8</b>	<b>114,7</b>	<b>130,8</b>	<b>130</b>	<b>100,3</b>	<b>103,5</b>	<b>693,4</b>

Para el año 2005, el total de precipitación anual fue 3 mm inferior al valor normal de la serie registrándose 798,2 mm. En el período septiembre 2005 a marzo 2006, se observaron 528 mm representando 165,4 mm menos que el valor normal correspondiente a dicho período (Tabla N° 3).

Tabla N° 3: Valores de precipitación decádica (mm) observados durante el período septiembre 2005 a marzo 2006 y los desvíos mensuales con respecto a los valores normales.

Precipitación	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Total Ciclo
1° Década	11	3	13	5	19	81	41	
2° Década	0	0	50	35	67	0	11	
3° Década	2	67	29	1	30	22	41	
<b>Total mensual</b>	13	70	92	41	116	103	93	528
Desvío	<b>-26,3</b>	<b>-4,8</b>	<b>-22,7</b>	<b>-89,8</b>	<b>-14</b>	<b>2,7</b>	<b>-10,5</b>	<b>-165,4</b>

Nota: Desvío (mm) = Valor registrado - Valor normal



Como se observa en la Tabla N° 3, únicamente en el mes de febrero la precipitación estuvo por encima de los valores medios normales (desvío positivo), principalmente debido a los 81 mm de precipitación registrados durante la primera década del mes (51,6 mm por encima de los valores normales). Los meses de septiembre, noviembre y diciembre, fueron los más afectados por escasas precipitaciones, con un desvío de -26,3 mm para septiembre (solo llovieron 13 mm), de -22,7 mm para noviembre y -89,8 mm para diciembre. En enero, la menor precipitación ocurrió en la primera década ya que solo llovieron 19 mm en relación al registro normal 46,1 mm. Marzo presentó precipitaciones superiores a las normales en la primera y última décadas mientras que las de la segunda década fueron muy inferiores a los valores esperados (Figura N° 4; Figuras N° 1 y 2 del Anexo).

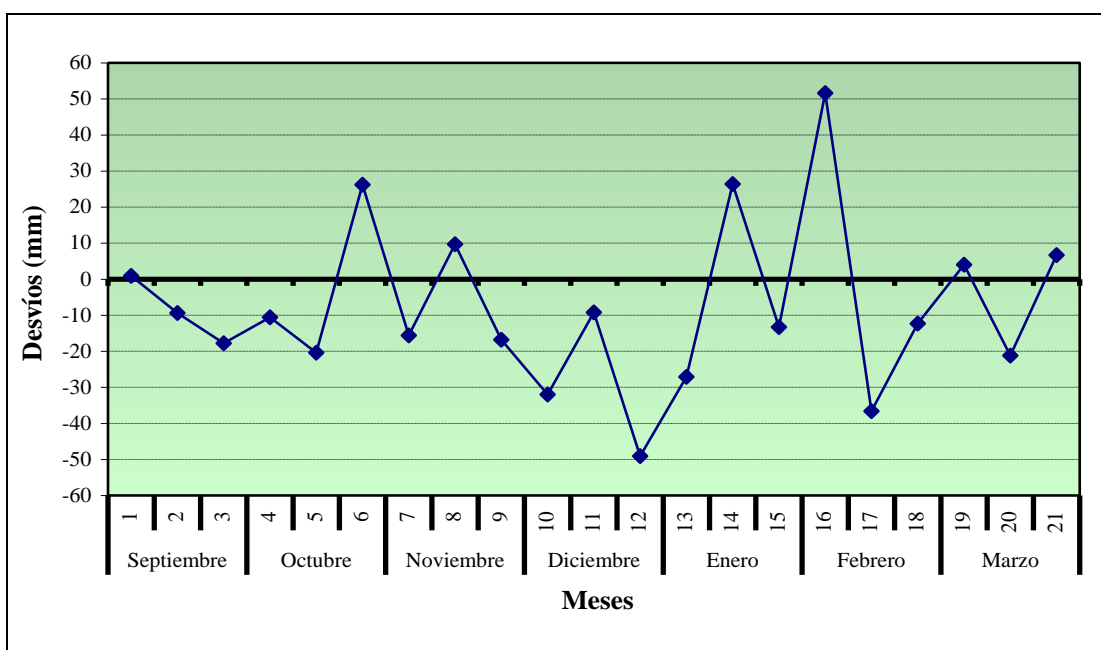


Figura N° 4: Desvíos decádicos correspondientes al período septiembre – marzo de las precipitaciones registradas en la campaña 2005-6 con respecto a los valores normales (Serie 1974-1993)

Los valores de las temperaturas observados durante el ensayo difieren en todos los meses de los valores normales de temperatura correspondientes a la serie 1974-1993. Las temperaturas máximas medias decádicas presentan desvíos positivos con respecto a los valores normales (Tabla N° 4) en todos los meses exceptuando el mes de febrero (Tabla N° 5)

Tabla N° 4: Temperaturas máximas normales y máximas absolutas correspondientes a la serie 1974-1993 (°C) para el período septiembre-marzo (Seiler *et al.*, 1995)

Máximas normales	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
1° Década	20,1	22,1	24,7	27,8	29	28,3	27,3
2° Década	19,4	24,3	25,8	27,5	29,1	27,7	26
3° Década	20,6	24,4	27,2	28,9	29	28,4	24,3
<b>Mes</b>	<b>20,1</b>	<b>23,6</b>	<b>25,9</b>	<b>28,1</b>	<b>29</b>	<b>28,1</b>	<b>25,8</b>
Máxima Absoluta	36,4	39	39	39,6	39,5	37,5	36,5

Los meses de noviembre, diciembre y enero son los que presentaron desvíos más elevados con respecto al valor normal. Durante la primera década del mes de enero, la temperatura máxima absoluta de la serie (39,5 °C) fue superada en dos oportunidades al registrarse temperaturas de 41,5 °C y 41,2 °C (Figura N° 3, Anexo), generando un desvío de 5,9°C (el más alto de la campaña) (Figura N° 5).

Tabla N° 5: Temperaturas máximas medias decádicas observadas durante el ciclo del cultivo (septiembre 2005-marzo 2006) y los correspondientes desvíos mensuales (°C)

	<b>Temperaturas máximas observadas</b>						
	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
1° Década	20,9	25,2	27,8	26,8	34,9	28	28,1
2° Década	20	29,6	29,3	32,1	28,3	31,8	28,6
3° Década	24,1	21,7	29,9	33,2	31,7	24,5	25,7
<b>Mes</b>	<b>21,7</b>	<b>25,5</b>	<b>28,9</b>	<b>30,7</b>	<b>31,6</b>	<b>28,1</b>	<b>27,5</b>
<b>Desvío mensual</b>	<b>1,6</b>	<b>1,9</b>	<b>3,1</b>	<b>2,6</b>	<b>2,6</b>	<b>0</b>	<b>1,7</b>

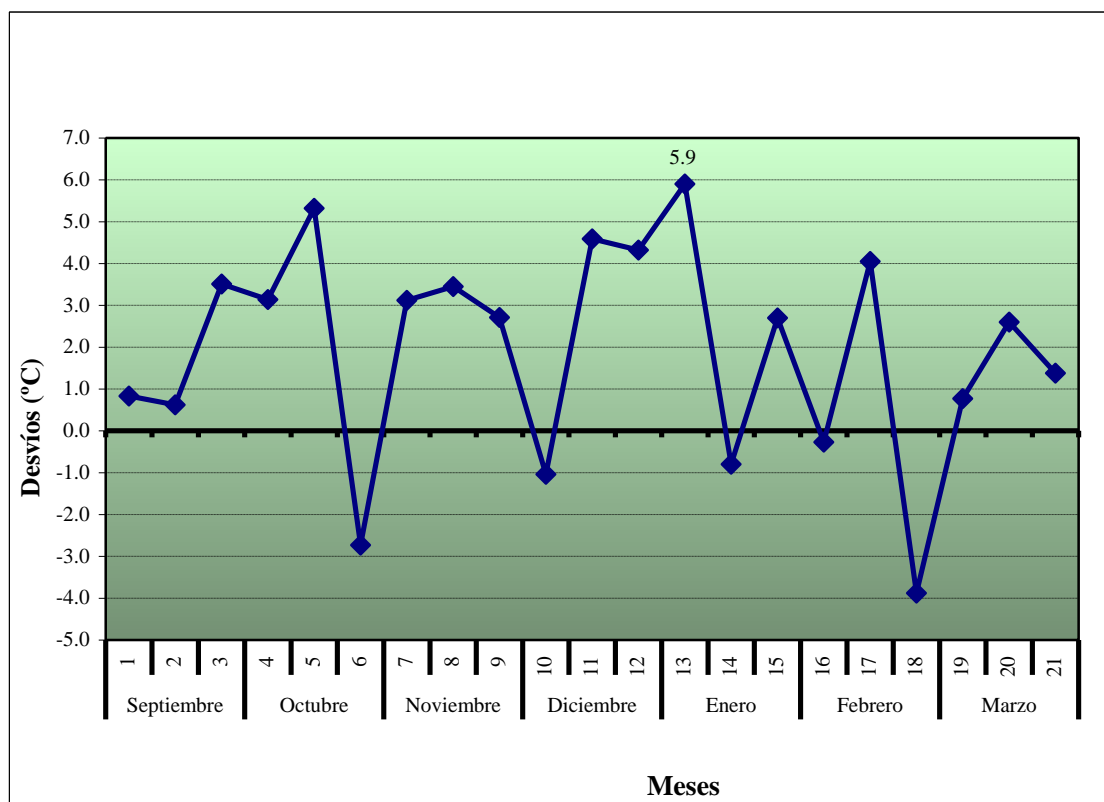


Figura N° 5: Desvíos decádicos correspondientes al período septiembre – marzo de las temperaturas máximas (°C) registradas en la campaña 2005-6 con respecto a los valores normales (Serie 1974-1993)

En relación con las temperaturas mínimas, también se observaron diferencias con respecto a los valores normales (Tabla N° 6), pero estas fueron menos significativas que para las temperaturas máximas. Los mayores desvíos negativos ocurrieron en los meses de septiembre, octubre y marzo, mientras que los meses de noviembre y enero presentan desvíos positivos (Tabla N° 7).

Tabla N° 6: Temperaturas mínimas normales y mínimas absolutas correspondientes a la serie 1974-1993 (°C) para el período septiembre-marzo (Seiler *et al.*, 1995)

Mínimas normales	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
1° Década	5,7	9,4	12,1	15,3	17,1	15,8	15,6
2° Década	6,8	10,7	13,3	15,6	16,8	15,8	14,4
3° Década	8,2	11,9	14,2	16,6	16,9	16,1	13,5
<b>Mes</b>	6,9	10,7	13,2	15,9	16,9	15,9	14,4
<b>Mínima Absoluta</b>	-4,2	-2	-1,5	5	7	6,6	1,3

Tabla N° 7: Temperaturas mínimas medias decádicas observadas durante el ciclo del cultivo (septiembre 2005-marzo 2006) y los correspondientes desvíos mensuales (°C)

	<b>Temperaturas mínimas observadas</b>						
	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
1° Década	3,6	7,5	11,4	11,3	18,7	16,6	13,5
2° Década	2,4	9,9	14,7	16,2	15,0	16,1	11,7
3° Década	8,6	9,2	15,4	17,6	18,0	11,6	11,8
<b>Mes</b>	<b>4,9</b>	<b>8,9</b>	<b>13,8</b>	<b>15,0</b>	<b>17,2</b>	<b>14,8</b>	<b>12,4</b>
<b>Desvío mensual</b>	<b>-2,0</b>	<b>-1,8</b>	<b>0,6</b>	<b>-0,9</b>	<b>0,3</b>	<b>-1,1</b>	<b>-2,1</b>

En septiembre, el desvío negativo es el resultado de temperaturas mínimas promedios, en la primera y segunda décadas, muy inferiores a los valores medios normales. En ese período ocurrieron numerosas heladas. En todas las décadas de octubre, las temperaturas fueron inferiores a las normales. Por otra parte, aunque en diciembre el desvío negativo no fue muy elevado, se registraron temperaturas muy bajas durante la primera década que casi alcanzaron el valor de la mínima absoluta del mes para la serie 1974-1993. En el mes de febrero se registró en un día una temperatura mínima de 5,2 °C, siendo este valor inferior en 1,4 °C al valor absoluto del mes. En el mes de marzo, se observaron temperaturas mínimas inferiores a las normales a lo largo de todo el mes, aunque más acentuadas en la segunda y tercera décadas (Figura N° 6).

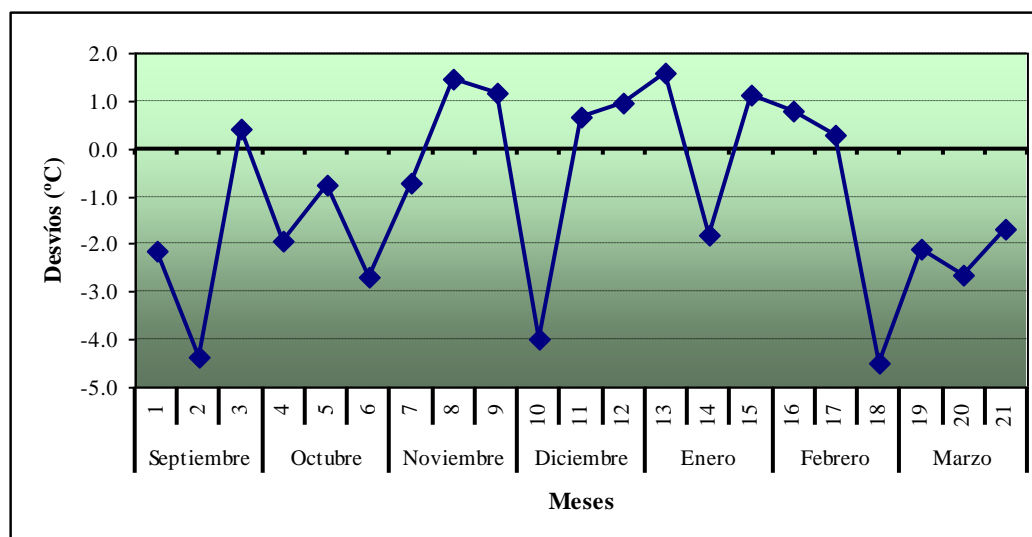


Figura N° 6: Desvíos decádicos correspondientes al período septiembre – marzo de las temperaturas mínimas (°C) registradas en la campaña 2005-6 con respecto a los valores normales (Serie 1974-1993)

Las temperaturas medias también presentaron diferencias de distinta magnitud con respecto a los valores normales en todos los meses (Tabla N° 8 y 9).

Tabla N° 8: Temperaturas medias normales correspondientes a la serie 1974-1993 (°C) para el período septiembre-marzo (Seiler *et al.*, 1995)

Medias Normales	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
1° Década	12,9	15,8	18,4	21,6	23	22	21,4
2° Década	13,1	17,5	19,6	21,6	23	21,7	20,2
3° Década	14,4	18,1	20,7	22,7	23	22,3	18,9
<b>Mes</b>	<b>13,5</b>	<b>17,2</b>	<b>19,6</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>22</b>	<b>20,1</b>

En los meses de septiembre y octubre, el comportamiento de las temperaturas medias estuvo regido por las bajas temperaturas, observándose un desvío negativo en ambos meses. El desvío negativo de febrero fue el resultado de temperaturas máximas y mínimas inferiores a los valores normales durante la tercera década de ese mes (Figura N° 5 y 6). Por el contrario, los desvíos fueron positivos en los meses de noviembre, diciembre y enero siendo noviembre el que presentó el desvío más elevado como resultado de las altas temperaturas máximas registradas durante ese mes. El desvío positivo de enero estuvo en su mayor parte determinado por las temperaturas ocurridas durante la primera década, las cuales sobrepasaron en dos oportunidades a las temperaturas máximas absolutas para ese mes (Tabla N° 9 y Figura N° 7).

Tabla N° 9: Temperaturas medias decádicas observadas durante el ciclo del cultivo y los correspondientes desvíos mensuales (°C)

	<b>Temperaturas medias observadas</b>						
	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
1° Década	11,5	16	19,3	18,5	26	21,3	20,8
2° Década	10,8	19,6	21,5	23,6	21,5	23,7	20,2
3° Década	16	14,7	22,5	24,9	24,3	17,1	18,8
<b>Mes</b>	<b>12,8</b>	<b>16,8</b>	<b>211</b>	<b>22,3</b>	<b>23,9</b>	<b>20,7</b>	<b>19,9</b>
<b>Desvío mensual</b>	<b>-0,7</b>	<b>-0,5</b>	<b>1,5</b>	<b>0,3</b>	<b>0,9</b>	<b>-1,3</b>	<b>-0,2</b>

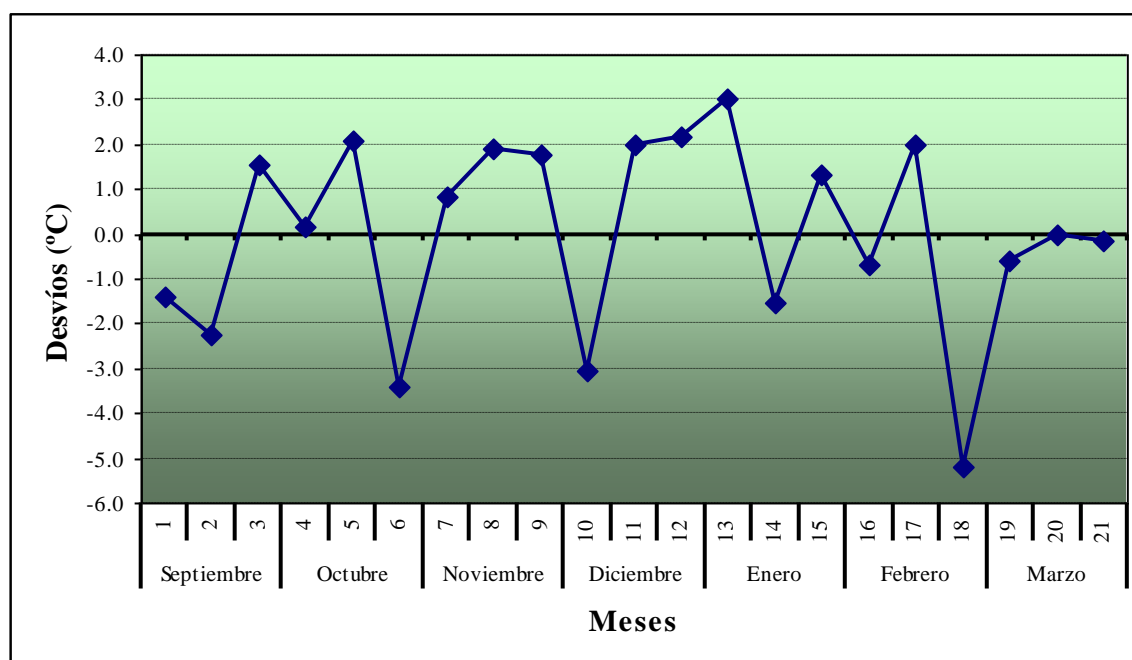


Figura N° 7: Desvíos decádicos correspondientes al período septiembre – marzo de las temperaturas medias (°C) registradas en la campaña 2005-6 con respecto a los valores normales (Serie 1974-1993)

En el Anexo (Tablas N° 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8), se presentan las temperaturas máximas, mínimas y medias, las precipitaciones y la radiación solar ocurridas durante el ensayo.

### **Caracterización de los suelos del área de estudio y perfil típico del ensayo**

El lugar en estudio se encuentra ubicado en el centro-sur de la provincia, en una de sus cinco subregiones y dentro de la unidad ambiental denominada Llanura Subhúmeda Bien Drenada. Presenta un relieve normal, plano con pendientes inferiores al 1% (Cantero *et al.*, 1998). Los materiales afluentes son, en general, sedimentos eólicos loésicos. Estos suelos tienen un alto potencial edáfico pero son susceptibles a procesos de degradación física (compactaciones), química (agotamiento de nutrientes) y a la erosión hídrica y eólica (Degioanni, 1998).

Los suelos son Hapludoles típicos, con textura en general franco arenosa, y no presentan problemas de drenaje externo o interno (Cantero *et al.*, 1998).

#### Descripción de los horizontes en el lugar de estudio

El suelo del ensayo es un Hapludol típico, con 6 horizontes desarrollados (Ap, Ad, Bw1, Bw2, BC y C) y con una densidad aparente (DAP) en promedio de 1,28 gr /cm<sup>3</sup>. El

perfil fue analizado hasta los 100 cm de profundidad describiéndose a continuación sus características físicas y químicas:

#### Horizonte Ap (0-5 cm)

Este horizonte superficial presenta una profundidad de 5 cm; tiene una buena provisión de materia orgánica (MO) y nutrientes, notándose una muy leve deficiencia de azufre (S), presentando reacción de pH neutra.

#### Horizonte Ad (5-21 cm)

El segundo horizonte tiene un espesor de 16 cm y se lo encuentra a partir de los 5 cm y hasta los 21 cm de profundidad. Es un horizonte más denso que el anterior, con una muy buena provisión de MO, algo deficiente en S y con buena cantidad de Fósforo (P) y Nitrógeno (N). Tiene una reacción de pH levemente ácida.

#### Horizonte Bw1 (21-36 cm)

Este horizonte, se halla entre los 21 y los 36 cm de profundidad. Es el horizonte más denso del perfil. Posee una cantidad aceptable de MO, es ligeramente deficiente en S, pero bien provisto de P y N. La reacción de pH es la más ácida del perfil, con un valor de 6.

#### Horizonte Bw2 (36-60 cm)

El mismo presenta un espesor de 24 cm y se encuentra a partir de los 36 cm de profundidad. Es un horizonte de baja DAP, mal provisto de MO y con una provisión de nutrientes algo insuficiente. La reacción de pH es ácida.

#### Horizonte BC (60-81 cm)

Es un horizonte transicional, que muestra un espesor de 21 cm, desarrollándose el mismo a partir de los 60 cm de profundidad en el perfil. Al igual que el horizonte anterior, no presenta problemas de densificación. Esta medianamente bien provisto de nutrientes y tiene una limitada cantidad de MO (la menor de todo el perfil). El pH es levemente ácido.

#### Horizonte C (81-100 cm)

Este horizonte parte de los 81 cm hasta los 100 cm de profundidad. Presenta igual DAP que los últimos dos horizontes ya descriptos. Con respecto a la provisión de nutrientes, es algo insuficiente en P y medianamente bien dotado de N y S. La cantidad de MO es limitada. A diferencia de los anteriores es débilmente alcalino.

En las Tabla N° 10 y 11 se presentan las características físicas y químicas del suelo en el cual se realizó el ensayo

Tabla N° 10: Propiedades físicas del suelo.

Horizonte	Profundidad (cm)	DAP (g cm <sup>-3</sup> )	Lámina de agua en PMP (mm)	Lámina de agua a CC (mm)
Ap	0-5	1,23	8,49	20,72
Ad	5-20	1,32	10,86	21,72
Bw1	20-36	1,36	10,38	22,19
Bw2	36-60	1,26	9,09	19,61
BC	60-81	1,26	8,09	17,89
C	81-99	1,26	7,93	18,52
Ck	99-120	1,26	7,93	18,52
K	120-150	1,26	7,93	18,52

Nota: DAP: densidad aparente, CC: capacidad de campo, PMP: punto de marchitez permanente. Fuente: Puiatti *et al.*, (2006).

Tabla N° 11: Propiedades químicas del suelo (Fecha de extracción de muestras: 15/09/2005)

Horizonte	Ap	Ad	Bw1	Bw2	BC	C
Profundidad (cm.)	0-5	5-21	21-36	36-60	60-81	81-100
Reacción de pH	6,70	6,10	6,00	6,10	6,30	7,20
Materia Orgánica (%)	2,48	3,01	2,02	1,09	0,89	0,98
N-NO <sub>3</sub> (ppm)	24,00	32,20	18,00	9,40	9,60	9,00
P extractable (ppm)	35,86	22,82	18,74	22,00	14,67	7,33
S-SO <sub>4</sub> (ppm)	21,18	18,45	14,45	15,55	18,57	21,41
Ca (meq/100 g)	5,88	5,17	4,81	4,79	5,15	5,76
Mg (meq/100 g)	4,06	4,00	3,95	3,73	3,89	4,16
K (meq/100 g)	1,116	1,093	1,232	1,204	1,104	1,140
Na (meq/100 g)	0,1497	0,0499	0,0499	0,0499	0,0998	0,1497
CIC (meq/100 g)	11,35	12,91	17,04	10,17	10,24	-----
DAP (gr /cm <sup>3</sup> )	1,23	1,32	1,36	1,26	1,26	1,26

CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico; DAP (densidad aparente)

En conclusión, el perfil presenta leves limitaciones físicas, como la alta densificación del tercer horizonte, provocando ligeros problemas de drenaje interno y de espacio físico para el desarrollo de las raíces. Está bien dotado de MO en los horizontes superficiales, lo



que permitió el adecuado establecimiento de los cultivos y desde el punto de vista nutricional no poseía limitaciones a lo largo del perfil con excepción de S.

### **Caracterización del ensayo de campo**

Para poder utilizar el modelo como herramienta de decisión para la región, es necesario realizar un ajuste del mismo, el que se logra con una calibración y una posterior validación del modelo.

Para la calibración y validación del modelo se utilizaron los datos de ensayos experimentales realizados en el Campo Experimental de la Universidad Nacional de Río Cuarto ( $33^{\circ} 07' S$ ,  $64^{\circ} 14' W$ , 421 m s n m) durante la campaña agrícola 2005/2006 utilizando un híbrido simple de maíz de última generación (Nidera AX 884), con dos épocas de siembra y en condiciones de riego y seco. La primera siembra se realizó el 22 de septiembre, mientras que la segunda se llevó a cabo el 2 de noviembre, utilizando una densidad de siembra de 80.000 plantas por hectárea en todos los ensayos.

Se utilizó un diseño experimental en bloques al azar con cuatro repeticiones mientras que los cuatro tratamientos surgen de una combinación factorial entre dos fechas de siembra y riego o seco.

El ensayo se efectuó sobre un lote de 80 m de largo por 37,44 m de ancho, el cual contenía 72 hileras de plantas con un espaciamiento de 0,52 m entre las mismas, abarcando una superficie de 2995,2 m<sup>2</sup>. El lote fue dividido en cuatro parcelas de 748,8 m<sup>2</sup> cada una, con las siguientes dimensiones: 80 m de largo por 9,36 m de ancho conteniendo 18 hileras. Además cada parcela fue dividida en cuatro subparcelas de 187,2 m<sup>2</sup> (consideradas unidades experimentales-UE), de 40 m de largo por 4,68 m de ancho y con 9 hileras. (Figura N° 8).

Para el riego se utilizó un equipo de riego por aspersión de avance lateral, compuesto de dos torres de 43,8 m cada uno con un voladizo de 10 m. El agua de buena calidad, clasificada según U.S. Salinity Laboratory como C2-S1 de acuerdo al análisis realizado por el Departamento de Geología de la UNRC (1996), fue provista por una electrobomba sumergible (caudal: 65.000 l/h) y conducida por una tubería enterrada hasta los hidrantes, los cuales se conectan al equipo por medio de una tubería flexible (Figura N° 9). El riego fue aplicado cada vez que el contenido hídrico del suelo era inferior al 60% del correspondiente a capacidad de campo. Las cantidades de riego aplicadas y las fechas de las aplicaciones se especifican en Tabla N° 10 del Anexo.

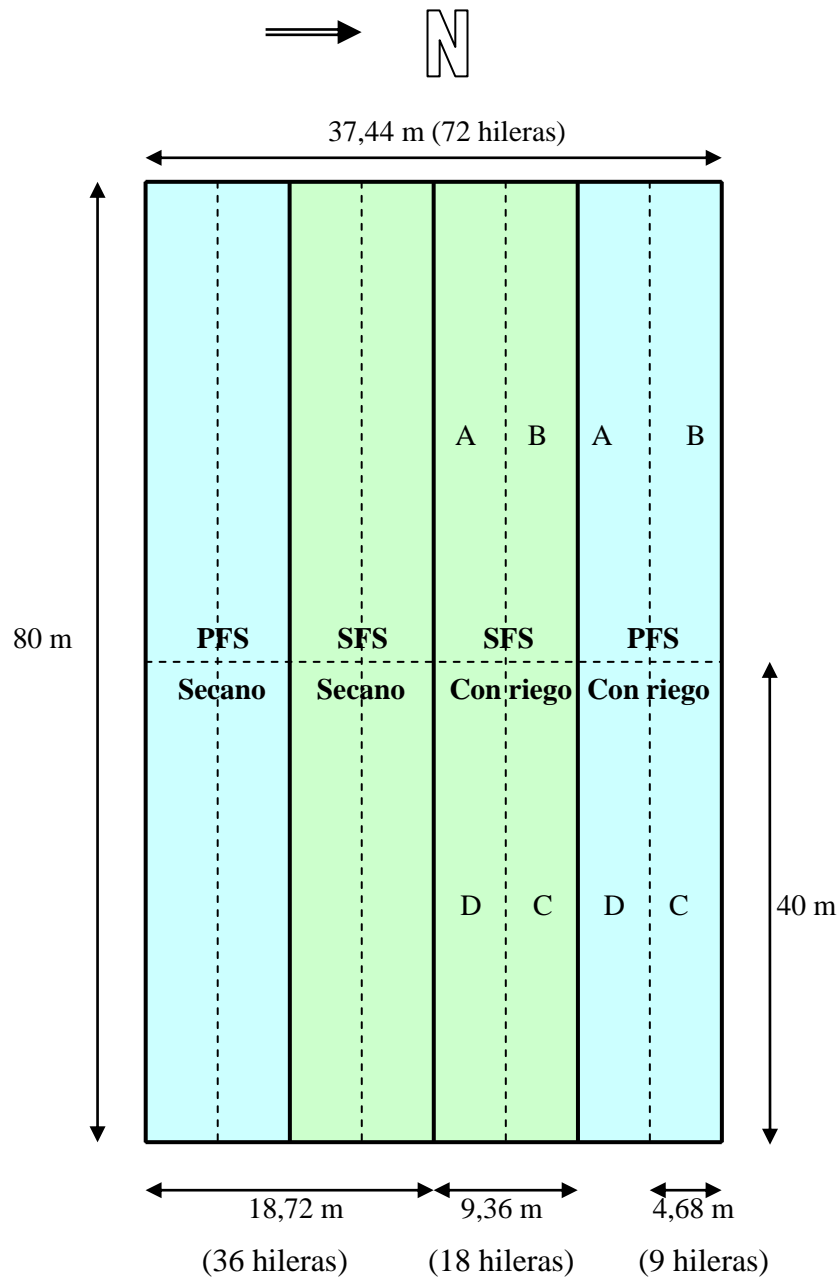


Figura N° 8: Esquema del ensayo experimental

Nota: Primera Fecha de Siembra (PFS), parcelas en secano y con riego en los extremos y Segunda Fecha de Siembra (SFS), parcelas en secano (sin riego) y con riego en el centro. Subparcelas (UE): A, B, C y D.



Figura N° 9: Equipo de riego del Campo Experimental de la Universidad Nacional de Río Cuarto

Para la evaluación del modelo se utilizaron los valores diarios de las variables meteorológicas temperaturas máximas y mínimas del aire (°C), precipitaciones (mm) y radiación solar ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ ) obtenidos de la Estación Agrometeorológica de la UNRC ubicada en el mismo campo experimental y en la vecindad de las parcelas experimentales. En Tabla N° 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 en el Anexo se presentan los datos diarios registrados durante el ensayo.

Las observaciones fenológicas siguieron los estadios de desarrollo determinados por Ritchie y Hanway (1997). Los estadios de crecimiento vegetativo del cultivo fueron observados semanalmente durante el ciclo mientras que los estadios reproductivos, al ser más importantes en la asignación de materia seca, se observaron con mayor frecuencia, aproximadamente cada 2 o 3 días. Las observaciones se realizaron sobre 10 plantas seleccionadas en cada UE al inicio del cultivo (Tabla N° 12).

Tabla N° 12: Fenología del cultivo de maíz.

Fases	1ra. Fecha de siembra (22/09/05)		2da. Fecha de siembra (02/11/05)	
	<b>Riego</b>	<b>Secano</b>	<b>Riego</b>	<b>Secano</b>
<b>Ve</b>	02/10/05	02/10/05	10/11/05	10/11/05
<b>V6</b>	11/11/05	11/11/05	01/12/05	05/12/05
<b>R1</b>	22/12/05	20/12/05	09/01/06	13/01/06
<b>R4</b>	18/01/06	19/01/06	09/02/06	13/02/06
<b>R6</b>	12/02/06	12/02/06	07/03/06	09/03/06

Ve: emergencia del cultivo, V6: seis hojas desplegadas, R1: emergencia de estigmas, R4: grano pastoso, R6: madurez fisiológica.

La producción de materia seca se determinó en 3 momentos del desarrollo del cultivo: [V6, R1, R4; Ritchie y Hanway (1997)] tomándose dos muestras de 1 m<sup>2</sup> en cada UE. De cada muestra de 1 m<sup>2</sup> se extrajeron 3 plantas representativas y se determinó área de láminas [usando un medidor electrónico de área foliar LI-COR (LI-3000A Portable Area Meter)], peso de láminas (fotosintéticamente activa y no fotosintéticamente activa), peso de vainas, peso de espigas, peso de chalas, peso de marlos, peso de granos, peso medio de 100 granos (promedio de dos muestras), número de granos/ espiga, número de espigas / planta, número de hileras por espiga y número de granos por hilera. Las muestras y submuestras del material cosechado se secaron en estufa a 80°C hasta lograr peso constante para determinar el peso seco total y el de cada uno de los componentes mencionados. Las muestras para rendimiento final se extrajeron cuando el cultivo se encontraba en R6 [50% de las plantas con capa negra (capa de abscisión en la base de cada grano), madurez fisiológica] a partir de una muestra de 10 m<sup>2</sup> de cada UE las que fueron procesadas siguiendo la metodología propuesta por Ogoshi *et al.* (1999). Para la producción de materia seca y el área de láminas, se extrajo una muestra de 1 m<sup>2</sup>, siguiendo el procedimiento utilizado en V6, R1 y R4.

La evolución del contenido de agua en el suelo se llevó a cabo mediante determinaciones semanales de humedad de suelo por el método gravimétrico realizadas en las UE A y C de cada parcela (Figura N° 8), tomándose muestras en cada horizonte del perfil del suelo y hasta una profundidad de 100 cm. Las muestras de suelo se pesaron en húmedo y luego se colocaron en estufa a 105 °C hasta lograr peso constante.

Los nutrientes disponibles en el suelo limitan la producción de maíz, por lo cual es necesario conocer los requerimientos del cultivo y la oferta del suelo para determinar las necesidades de fertilización. Considerando el nitrógeno y el fósforo como los macronutrientes más limitantes para la producción maicera y en función de los análisis químicos correspondientes para ambas fechas de siembra (Tabla N° 11) y para lograr la expresión del potencial genético del híbrido, se fertilizó a la siembra con 100 kg ha<sup>-1</sup> de fosfato diamónico y se complementó con una segunda fertilización nitrogenada al voleo de 200 kg ha<sup>-1</sup> de urea granulada cuando el cultivo se encontraba en V5/V6.

### **Modelo de cultivo**

En este trabajo se utilizó el modelo de cultivos CERES V3.5 (Jones y Kiniry, 1986, Kiniry, 1991; Ritchie *et al.*, 1998) desarrollado para trigo, maíz, arroz, cebada, sorgo y mijo. CERES V3.5 es un modelo orientado a procesos que simula el desarrollo del cultivo, el balance de agua y de nitrógeno del suelo y el balance de carbono y de nitrógeno del cultivo. El modelo utiliza un código Fortran común para todas las especies mencionadas mientras que la información sobre características específicas de cada una de ellas se encuentran en archivos de especies, ecotipos y cultivares. Las variables climáticas de entrada requeridas

por el modelo son la radiación solar ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ ), temperaturas máximas y mínimas del aire ( $^{\circ}\text{C}$ ) y precipitación (mm). Otros datos de entrada necesarios son las características del suelo y del cultivar como así también el manejo aplicado (*e.g.*, densidad de siembra, espacio entre plantas en la hilera y distancia entre hileras, dosis y momento de aplicación de riego y fertilizantes, etc.). En la simulación del balance de agua y nitrógeno en el suelo, el modelo tiene la capacidad de modelar los efectos de la deficiencia del nitrógeno y del déficit del agua del suelo sobre la fotosíntesis y distribución de los carbohidratos en el cultivo.

#### *Desarrollo del cultivo*

Los procesos simulados incluyen el desarrollo fenológico, el crecimiento vegetativo de la planta y de la parte reproductiva, la elongación de hojas y de tallos, la senescencia de las hojas, la producción de la biomasa y la partición de los carbohidratos en la planta, y la dinámica del sistema radicular. La variable primaria que influencia la tasa de desarrollo es la temperatura. El tiempo térmico para cada fase es modificado por los coeficientes que caracterizan la respuesta de los diferentes genotipos. La sincronización de las etapas fenológicas del cultivo puede ser calibrada modificándose coeficientes que caracterizan la duración de la fase juvenil (P1), la sensibilidad al fotoperíodo (P2), y la duración de la fase reproductiva (P5).

#### *Producción de la materia seca*

La producción potencial de materia seca es una función lineal de la radiación fotosintéticamente activa interceptada (PAR). El porcentaje de la PAR interceptado por la canopia es función exponencial del Índice de Área Foliar (IAF). La asignación de la materia seca se determina a partir de los coeficientes de partición que dependen de la fase fenológica en que se encuentre y del grado de estrés por agua que tenga el cultivo. La producción final del grano es el producto de la población de plantas, de los granos por planta y del peso del grano. El número de granos por planta es función lineal del peso del tallo en anthesis y de los coeficientes genéticos, y eso explica la variación entre los genotipos en el número potencial de granos (G2) y en la tasa de crecimiento del grano (G3).

#### *Balance del agua*

La precipitación es una entrada diaria, mientras que como salidas se tienen el escurrimiento que es función del tipo del suelo, de la humedad del suelo y de la precipitación; la infiltración que se calcula como la precipitación menos escurrimiento y el drenaje subterráneo que ocurre cuando la humedad del suelo supera la capacidad de campo del mismo. La evapotranspiración potencial es calculada por la relación de Priestley-Taylor o Penman – Monteith (dependiendo de la disponibilidad de datos meteorológicos). La

transpiración real es modificada por el IAF, la evaporación del suelo y el déficit del agua del suelo. La evaporación real es una función de la evaporación potencial, del IAF y del tiempo como lo describió Ritchie (1972). El cambio diario en la humedad del suelo se calcula como precipitación menos la evaporación menos el escurrimiento menos el drenaje.

#### *Sensibilidad al dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)*

El modelo CERES-Maize ha sido modificado para simular cambios en la fotosíntesis y en la evapotranspiración causados por niveles más altos de CO<sub>2</sub>. Estas modificaciones se han basado en resultados de ensayos experimentales en cámaras climáticas y a campo llevados a cabo por distintos investigadores (*e.g.* Rosenzweig e Iglesias, 1994).

El modelo CERES V3.5 requiere para su funcionamiento de información organizada en archivos de entrada específicos:

- Archivos de datos climáticos (UNRC7501.WTH): Contiene los datos diarios que deben estar disponibles durante la estación de crecimiento, comenzando el día de la siembra y terminando con la madurez del cultivo.
- Archivo de datos del suelo SOIL.SOL (IBMZ950015): Contiene datos sobre las propiedades del perfil del suelo, obtenidos en el lugar específico del experimento. Éstos son: tasa de drenaje (fracción/día), curva número de escurrimiento, profundidad de cada horizonte, contenido de agua en PMP, CC y saturación (cm<sup>3</sup>/ cm<sup>3</sup>), DAP (g/cm<sup>3</sup>), etc.
- Archivos del experimento:
  - UNRC7501.MZX: Documenta las características del experimento que va a ser simulado, por ej: densidad de siembra, fecha de emergencia, aplicación de agua de riego, fertilización, etc.
  - UNRC7501.MZA: Contiene datos de observaciones a campo. Estos datos son: fecha de floración, fecha de madurez fisiológica, componentes del rendimiento, IAF máximo, etc.
  - UNRC7501.MZT: Almacena información de IAF, agua extraíble (mm), peso seco de tallos (kg/ha), peso seco de granos (kg/ha), peso seco de las hojas (kg/ha), peso de toda la parte aérea de la planta (kg/ha) e índice de cosecha observada durante el ciclo del cultivo.
- Archivos de datos del genotipo (MZCER980.SPE; MZCER980.ECO y MZCER980.CUL): Proveen coeficientes genéticos que explican cómo responde el ciclo del cultivo al ambiente. Incluye coeficientes fenológicos y otros. Describen el crecimiento del grano, los días fototérmicos que transcurren entre

emergencia y floración, entre R1 y MF, la duración del periodo de llenado de granos en condiciones de crecimiento estándar, etc.

El comportamiento del modelo se evaluó calculando el Error Medio Absoluto (EMA), la Raíz Cuadrada del Cuadrado Medio del Error (RCME) (Willmott, 1982) y la diferencia entre los valores de las variables observadas y simuladas (Dif) utilizando las siguientes fórmulas:

$$EMA = N^{-1} \sum_{i=1}^N | \hat{Y}_i - Y_i |$$

$$RCME = [N^{-1} \sum_{i=1}^N (\hat{Y}_i - Y_i)^2]^{0.5}$$

Donde  $\hat{Y}_i$  es el valor simulado en el  $i^{\text{th}}$  ensayo e  $Y_i$  es el valor observado en el  $i^{\text{th}}$ ;  $i = 1, \dots, N$ .

*Dif.* = Diferencia = (Valor Simulado - Valor Observado), en días, para estadios R1 y R6; *Dif* = Diferencia = [(Valor Simulado.- Valor Observado)/Valor Observado]\*100, para el resto de las variables.

### **Variabilidad climática - Generador estocástico de series climáticas**

Además de considerar las variaciones térmicas ocurridas durante las dos épocas de siembra, se utilizaron series generadas de datos climáticos diarios que incluyen cambios en la variabilidad de la temperatura (Vinocur, M.G., comunicación personal; Vinocur *et al.*, 2000, 2001). Las series de datos diarios de temperaturas máximas y mínimas, radiación solar y lluvia de 99 años de longitud para Río Cuarto fueron generadas usando WGEN, un generador estocástico de datos climáticos (Richardson y Wright, 1984). Los parámetros requeridos por WGEN fueron estimados a partir de una serie de 25 años de datos observados de Río Cuarto (1974-1998). Para WGEN, la ocurrencia diaria de lluvia es generada en forma independiente y representada por un modelo de cadena de Markov de primer orden con dos estados: seco y lluvioso. La cantidad de lluvia en los días lluviosos es obtenida a partir de la distribución Gamma. Los valores de temperaturas máximas y mínimas y de radiación solar son determinados dependiendo si un día lluvioso o seco fue generado por el modelo. Características de los datos climáticos reales como la dependencia temporal de las distintas variables, la correlación entre ellas y sus patrones estacionales, son preservados por el modelo para cada localidad (Richardson, 1985). La relación entre la variabilidad diaria y anual fue descrita por Mearns *et al.* (1996) mientras que el método para realizar cambios en la variabilidad de las series climáticas generadas fue desarrollada por Mearns (1989) y explicado en forma más detallada por Wilks (1992). En las series climáticas generadas, la

Varianza de la Temperatura (CVar) fue cambiada utilizando factores que varían entre la mitad (CVar= 0,5) hasta el doble (CVar= 2,0) de la varianza observada (CVar=1, sin cambios en la varianza), en incrementos de 0,5.

También se utilizaron en este trabajo escenarios sintéticos, obtenidos al modificar el escenario que no presenta ni cambios en la varianza de la temperatura ni tampoco cambios en la media de la temperatura ( $T_{\text{Media}}$ ) a través de incrementos en la temperatura media del aire en 1,5 °C ( $T_{\text{Media}} + 1,5 \text{ °C}$ ) y en 3,5°C ( $T_{\text{Media}} + 3,5 \text{ °C}$ ) por medio de la opción Análisis de Sensibilidad presente en la rutina del modelo.

Las series climáticas modificadas en la variabilidad de la temperatura y en el valor medio de la temperatura fueron incorporadas en el modelo CERES V3.5. En este análisis el híbrido de maíz NIDERA 884 se supone sembrado en Río Cuarto, en un suelo Hapludol típico de textura franco arenoso y en la misma fecha cada año (Octubre 1). La densidad de siembra utilizada fue de 8 plantas  $\text{m}^{-2}$  en hileras separadas 0,52 m. Las simulaciones son realizadas para secano y riego (riego automático, se inicia cuando el agua disponible es menor al 50% en los primeros 0,3 m del perfil y finaliza al alcanzar capacidad de campo), sin estrés de nitrógeno y con el mismo contenido inicial de agua en el suelo a la siembra cada año equivalente a un 70% del correspondiente a capacidad de campo. Aplicadas las series modificadas, el análisis de los resultados incluyó la media, la desviación estándar (DS) y el coeficiente de variación (CV) de los rendimientos del cultivo en los distintos escenarios climáticos.



## RESULTADOS Y DISCUSION

### Ajuste del modelo

La calibración del modelo se llevó a cabo a partir de la información del ensayo con riego de la segunda fecha de siembra ya que el mismo no presentó estrés hídrico a lo largo del ciclo, mientras que la validación se realizó con el ensayo con riego de la primer fecha de siembra y con los ensayos sin riego de ambas fechas de siembra. Se ajustaron primero las variables fenológicas del cultivo, el balance de agua y luego se procedió a la evaluación de las variables fenométricas (rendimiento y sus componentes, biomasa, etc.) siguiendo la metodología propuesta por Boote (1999).

El ajuste del modelo de maíz para cada fecha de siembra y para cada condición (riego y secano), permitió obtener los valores de los coeficientes genéticos del modelo (Tabla N° 13) correspondientes a la mejor relación entre los resultados fenológicos y fenométricos observados o medidos, con respecto a los simulados por el modelo.

Tabla N°13: Coeficientes genéticos para maíz, su descripción en CERES-Maize y los valores correspondientes para el híbrido NIDERA AX 884

Coeficientes	Significado del coeficiente	Valor del coeficiente
P1	Tiempo térmico desde emergencia hasta el fin de la fase juvenil (expresado en grados días sobre la temperatura base para maíz de 8°C), durante el cual la planta no responde a cambios en el fotoperíodo.	310
P2	Alargamiento del día por el cual el desarrollo del maíz se retrasa por cada hora de incremento en el fotoperíodo por encima del fotoperíodo en el cual el desarrollo ocurre a la tasa máxima (12,5 hs)	0
P5	Tiempo térmico desde aparición de los estigmas a madurez fisiológica (expresado en grados días sobre la temperatura base para el maíz de 8 °C)	900
G2	Número potencial de granos por espiga	760
G3	Tasa de llenado del grano durante la fase lineal de llenado y bajo óptimas condiciones	9
PHINT	Filocrono: intervalo en tiempo térmico (grados día) entre la aparición sucesiva de la punta de las hojas	41

Para evaluar el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz se analizaron las siguientes variables fenológicas y fenométricas (Tabla N° 14).

Tabla N° 14. Variables fenológicas y fenométricas

<b>Variables Fenológicas</b>	
Días desde la siembra a aparición de estigmas (R1)	R1
Días desde la siembra a madurez fisiológica (R6)	R6
<b>Variables Fenométricas</b>	
Rendimiento (kg/ha)	Rend.
Biomasa total a cosecha (kg/ha)	Biom.Tot.
Granos por espiga	NG
Granos por metro cuadrado	gr/m <sup>2</sup>
Peso del grano (g)	PG
Índice de Área Foliar Máximo	I.A.F max.

En la Tabla N° 15 se presentan los resultados de la simulación de los estadios fenológicos y de los componentes del rendimiento para maíz en Río Cuarto.

Tabla N° 15: Resultados de la simulación mediante el modelo CERES-Maize y comparación con los valores observados, en condiciones de riego y secano (sin riego) para cada fecha de siembra.

	<i>CON RIEGO</i>						<i>SECANO</i>					
	Primera Fecha de Siembra (PFS)		Dif.	Segunda Fecha de Siembra (SFS)		Dif.	Primera Fecha de Siembra (PFS)		Dif.	Segunda Fecha de Siembra (SFS)		Dif.
	Sim.	Obs.		Sim.	Obs.		Sim.	Obs.		Sim.	Obs.	
Variables fenológicas												
R1	86	89	<b>-3</b>	68	68	<b>0</b>	86	89	<b>-3</b>	68	72	<b>-4</b>
R6	143	143	<b>0</b>	131	127	<b>4</b>	143	143	<b>0</b>	131	127	<b>4</b>
Variables fenométricas												
Rend	10669	13975	<b>-23,7</b>	13568	13611	<b>-0,3</b>	5712	5235	<b>9,1</b>	6846	5429	<b>26,1</b>
PG	0,324	0,367	<b>-11,5</b>	0,381	0,323	<b>18</b>	0,288	0,277	<b>4,0</b>	0,342	0,277	<b>23,7</b>
NG	469,4	544	<b>-13,7</b>	508,6	602	<b>-15,5</b>	291,5	280	<b>4,1</b>	285,6	280	<b>2</b>
gr/m <sup>2</sup>	3286	3808	<b>-13,7</b>	3560	4214	<b>-15,5</b>	1982	1890	<b>4,9</b>	1999	1960	<b>2</b>
Biom. Tot	20621	24642	<b>-16,3</b>	26051	24346	<b>7</b>	11843	11874	<b>-0,3</b>	12586	12479	<b>0,9</b>
I.A.F. Max.	4,33	4,2	<b>3,1</b>	5,38	5,4	<b>-0,4</b>	2,37	3,2	<b>-25,9</b>	1,85	3,5	<b>-47,1</b>

Nota: El significado y unidades en que se expresan las variables fenológicas y fenométricas se presenta en la Tabla N° 14; Sim.: Simulado; Obs.: Observado; Dif.: Diferencia = (Sim.-Obs.), en días, para estados R1 y R6; Diferencia = [(Sim.-Obs.)/Obs.]\*100, para el resto de las variables.

El modelo presenta una simulación de la fenología (Tabla N° 15) que se corresponde en general con los valores observados en los ensayos. Se observó un adelanto en la fecha de floración en los ensayos sin riego y en el ensayo con riego de la primera fecha de siembra y también un atraso en la fecha de madurez fisiológica en ambos experimentos en la segunda fecha de siembra.

Con respecto a la simulación de las variables fenométricas, en los **Ensayos Con Riego** el ajuste para rendimiento fue muy bueno para la segunda fecha de siembra (Dif = -0,3%, Tabla N° 15) aunque ocurre una sobrestimación del peso del grano (Dif = 18%) y una subestimación en el número de granos por espiga (Dif = 15,5%) y por lo tanto, también en el número de granos por metro cuadrado (Dif = 15,5%). Para el ensayo con riego de la primera fecha de siembra, el rendimiento y todos sus componentes son subestimados así como también la biomasa total aunque en distintas magnitudes debido a la ocurrencia de un severo estrés hídrico durante el período crítico del cultivo (15 días antes a 21 días después de la floración) (Figura N° 10). En la Tabla N° 9 del Anexo se presentan los valores de los coeficientes de estrés hídrico para todo el ciclo del cultivo. El IAF máximo fue correctamente simulado en ambos casos.

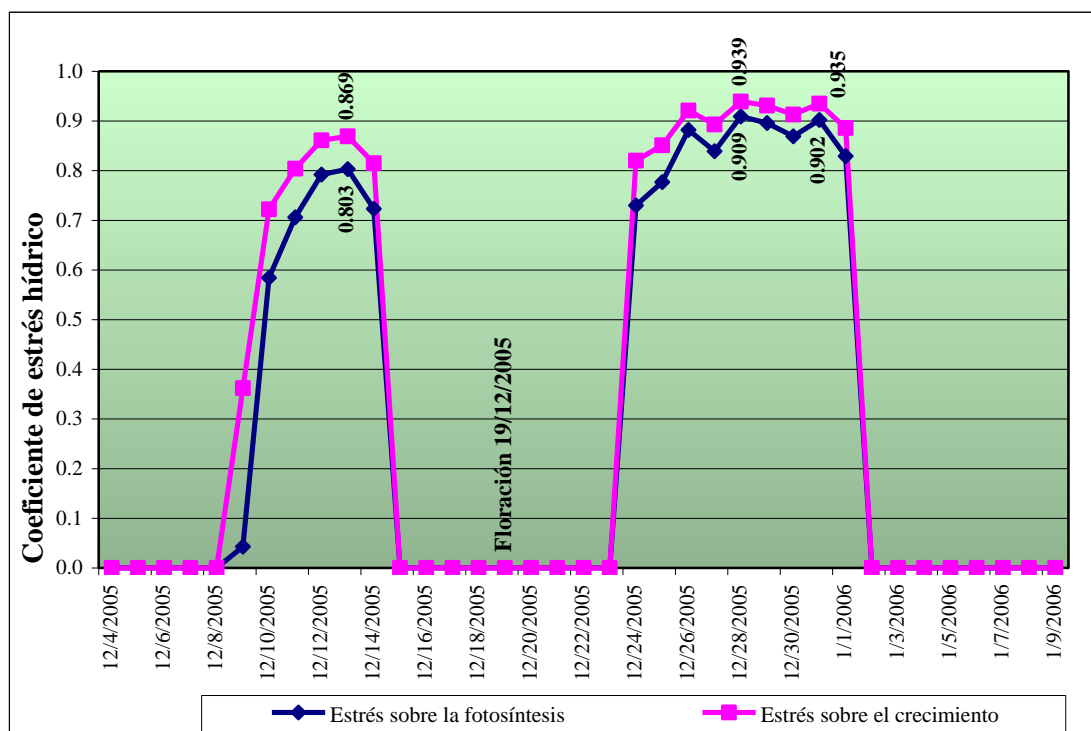


Figura N° 10: Coeficientes de estrés hídrico sobre la fotosíntesis y sobre el crecimiento durante el período crítico del cultivo de maíz para el ensayo con riego de la primera fecha de siembra. Valor del coeficiente = 0 indica sin estrés, valor del coeficiente = 1 indica estrés máximo.

En los **Ensayos Sin Riego**, el modelo sobreestima el rendimiento y sus componentes en ambos casos aunque con menor magnitud en la PFS (Tabla N° 15). La cantidad de biomasa total a cosecha es simulada adecuadamente por el modelo observándose una diferencia de -0,3% para la primer fecha y de 0,9% para la segunda fecha de siembra. Durante el mes de enero ocurrieron temperaturas elevadas, muy por encima del rango de temperaturas óptimas para el cultivo. Este estrés térmico exacerbó el estrés hídrico determinando una disminución de los fotoasimilados disponibles para la espiga debido al aumento en la respiración de mantenimiento y por lo tanto, reduciendo el rendimiento en los ensayos sin riego. Como el modelo responde a las condiciones ambientales, los rendimientos y sus componentes como así también la acumulación de materia seca simulados presentan valores inferiores en los ensayos sin riego.

Los resultados de la evaluación del comportamiento del modelo para las distintas variables fenométricas se muestran en la Tabla N° 16. En la estimación del rendimiento en grano en los **Ensayos Con Riego**, el EMA fue de -1674,5 kg/ha y el RCME de 2337,89 kg/ha, representando el RCME un 16,9 % de error respecto al promedio de los rendimientos observados. Para la biomasa total, el EMA fue de -1158 kg/ha, y el RCME de 3088,32 kg/ha equivalente a un error del 12,6% con relación al promedio de los valores observados. En los **Ensayos Sin Riego** la estimación del rendimiento en grano presenta un EMA de 947 kg/ha y un RCME es de 1057,22 kg/ha, equivalente a un 19,8% de error respecto a los valores medios observados. El EMA y RCME de la estimación de la biomasa total a cosecha para la PFS y la SFS en los ensayos sin riego fue de 38 y 78,7 kg/ha representando el RCME un 0,6% de error con respecto al promedio de los valores observados.

Considerando los resultados de los indicadores del comportamiento del modelo, se evidencia una adecuada representación de los valores observados por parte del modelo ajustado.

Tabla N° 16: Comportamiento del modelo evaluado a través de las diferentes variables fenométricas en los ensayos con riego y sin riego (secano) de ambas fechas de siembra (PFS = primera fecha de siembra, SFS = segunda fecha de siembra)

Con riego	PFS		SFS		Media Obs	EMA	RCME	% Error
	Simulado	Observado	Simulado	Observado				
Rend.	10669	13975	13568	13611	13793	-1674,5	2337,9	16,9
gr/m2	3286	3808	3560	4214	4011	-588	591,7	14,7
PG	0,3247	0,367	0,3811	0,323	0,345	0,01	0,05	14,7
NG	469,4	544	508,6	602	573	-84	84,5	14,7
Biom. Tot	20621	24642	26051	24346	24494	-1158	3088,3	12,6
IAF Max	4,33	4,2	5,38	5,4	4,8	0,05	0,09	1,9
<b>SECANO</b>								
SECANO	PFS		SFS		Media OBS	EMA	RCME	% Error
	Simulado	Observado	Simulado	Observado				
Rend.	5712	5235	6846	5429	5332	947	1057,2	19,8
gr/m2	1982	1890	1999	1960	1925	65,5	70,7	3,6
PG	0,2882	0,277	0,3425	0,277	0,277	0,04	0,05	16,9
NG	291,5	280	285,6	280	280	8,55	9,04	3,2
Biom. Tot.	11843	11874	12586	12479	12176,5	38	78,8	0,6
IAF Max	2,37	3,2	1,85	3,5	3,35	-1,24	1,31	38,9

Nota: Rend.: Rendimiento (kg/ha); Biom.Tot.: Biomasa Total (kg/ha); gr/m2: Granos por metro cuadrado; PG: Peso del Grano (g); NG: Número de granos a cosecha por espiga; IAF Max: Índice de Área Foliar Máximo; Media Obs: Promedio de los valores observados de cada variable; EMA: Error Medio Absoluto (kg/ha); RCME: Raíz Cuadrada del Cuadrado Medio del Error (kg/ha); % Error: Porcentaje de error con respecto a los valores observados = (RCME/Media Obs.)\* 100.

### **Influencia de cambios en el valor medio de la temperatura ( $T_{Media} + 1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $T_{Media} + 3,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) y en la varianza de la temperatura sobre el rendimiento y sus componentes**

En la Tabla N° 17 se muestran los rendimientos simulados en las distintas condiciones (riego y secano), utilizando las series de datos meteorológicos observadas y generadas (con cambios en la temperatura media y en la varianza de la temperatura), para alguno de los escenarios posibles para Río Cuarto.

Tabla N°17: Rendimientos promedio simulados (kg/ha) obtenidos con series de datos meteorológicos observados y series de datos generados que incluyen cambios en la temperatura media y en la varianza de la temperatura (CVar), en condiciones de riego y secano (sin riego) en Río Cuarto.

Con Riego		Cambios en la Varianza (CVar)			Obser
		0,5	1	2	
T <sub>Media</sub>	Media	15524,2	<b>15121,4</b>	13751,4	15068,2
	DS	1494,4	1529,4	3593,4	1248,8
	CV	9,6	10,1	26,1	8,3
T <sub>Media</sub> + 1,5 °C	Media	14043,4	13585,5	12863,5	
	DS	1246,0	1484,5	1757,9	
	CV	8,9	10,9	13,7	
T <sub>Media</sub> + 3,5° C	Media	12002,1	11642,2	11038,2	
	DS	1291,0	1400,7	1854,5	
	CV	10,8	12,0	16,8	
Secano		Cambios en la Varianza (CVar)			Obser
		0,5	1	2	
T <sub>Media</sub>	Media	9533,6	<b>9207,9</b>	8171,9	9263,8
	DS	5136,4	4992,2	5008,1	5733,0
	CV	53,9	54,2	61,3	61,9
T <sub>Media</sub> + 1,5° C	Media	9190,2	8759,1	8044,8	
	DS	4322,9	4204,1	4017,6	
	CV	47,0	48,0	49,9	
T <sub>Media</sub> + 3,5° C	Media	7688,8	7294,3	6672,0	
	DS	3706,5	3601,9	3482,3	
	CV	48,2	49,4	52,2	

CVar=1: sin cambio en la varianza; T<sub>Media</sub>: sin cambio en la temperatura media; T<sub>Media</sub> + 1.5°C y T<sub>Media</sub> + 3.5°C: aumento de 1,5°C y 3,5°C en las temperaturas máximas y mínimas respectivamente; Media y DS (desvío estándar) (kg ha<sup>-1</sup>) y CV (coeficiente de variación) (%). Obser = rendimientos simulados con la serie de datos meteorológicos observados (25 años) de Río Cuarto

Los rendimientos simulados por la serie generada sin cambios en la variancia de la temperatura (CVar=1), son muy similares a los rendimientos simulados con la serie de datos meteorológicos observados (Obser) tanto en riego como en secano. Diferencias se observan en los valores de DS y CV ya que los mismos son superiores a los correspondientes a CVar=1 en secano e inferiores a dichos valores bajo riego.

Al analizar los resultados de las corridas de los modelos realizadas con los datos meteorológicos generados, se observa que los incrementos en la variabilidad de la temperatura, desde CVar=1 (sin cambio en la varianza) hacia el doble de la variancia (CVar=2), reducen los rendimientos tanto en condiciones de secano como bajo riego (eg. 15121,4 vs. 13751,4 kg ha<sup>-1</sup>), siendo mayores las reducciones en secano (e.g. 11,3% en secano entre CVar=2 y CVar=1 vs 9,1% en riego) (Tabla N°17). También esos incrementos en la varianza de la temperatura producen aumentos en la variabilidad de los rendimientos en ambas situaciones al observarse valores crecientes de la desviación estándar (DS) y del coeficiente de variación (CV). Estos valores son mucho más elevados en secano que bajo riego señalando la mayor variabilidad en los rendimientos que se observa generalmente en esas situaciones.

Los aumentos en la temperatura media producen siempre disminuciones en los rendimientos siendo estos mayores para el escenario  $T_{\text{Media}} + 3,5^{\circ} \text{C}$ . Cuando se combina el aumento en la temperatura media con el incremento en la variabilidad de la temperatura se observan reducciones aún mayores en los rendimientos ocurriendo las más elevadas (alrededor del 27% en ambas situaciones) en  $T_{\text{Media}} + 3,5^{\circ} \text{C}$  y CVar=2 (e.g. 15121,4 para CVar=1 y  $T_{\text{Media}}$  y 11038,2 kg ha<sup>-1</sup> para CVar=2 y  $T_{\text{Media}} + 3,5^{\circ} \text{C}$ ). Esta disminución en los rendimientos podría estar ligada a que los aumentos en la variabilidad de la temperatura exponen al cultivo a mayores fluctuaciones térmicas aumentando la probabilidad de temperaturas extremas por fuera de los rangos térmicos óptimos para el crecimiento y desarrollo de la planta. La fotosíntesis y la polinización de las plantas son inhibidas e incluso inactivadas por altas temperaturas (Rincón-Tuexi *et al.*, 2006). Además, estas ocasionan un alto número de granos abortados, como lo han demostrado otras investigaciones (Crafts-Brandner y Salvucci, 2002; Jiang y Huang, 2000; Jull *et al.*, 1999; Savin y Nicolas, 1999).

Por otra parte, el incremento en la variabilidad de la temperatura ocasiona una reducción en el peso del grano (PG) y en el número de granos por espiga (NG) en todos los escenarios analizados observándose nuevamente las mayores disminuciones con respecto a CVar=1 y  $T_{\text{Media}}$  cuando la varianza de la temperatura es duplicada (CVar=2) y la temperatura media incrementada en 3,5° C ( $T_{\text{Media}} + 3,5^{\circ} \text{C}$ ) (e.g. 384,5 mg grano<sup>-1</sup> en CVar=1 y  $T_{\text{Media}}$  vs 311,3 mg grano<sup>-1</sup> en CVar=2 y  $T_{\text{Media}} + 3,5^{\circ} \text{C}$ , 19%; 491 vs 443 granos, 9,8% en riego). En secano y para las mismas comparaciones, estas disminuciones son del 16,4% para PG y 14,6% para NG respectivamente (Figuras N° 11 y 12).

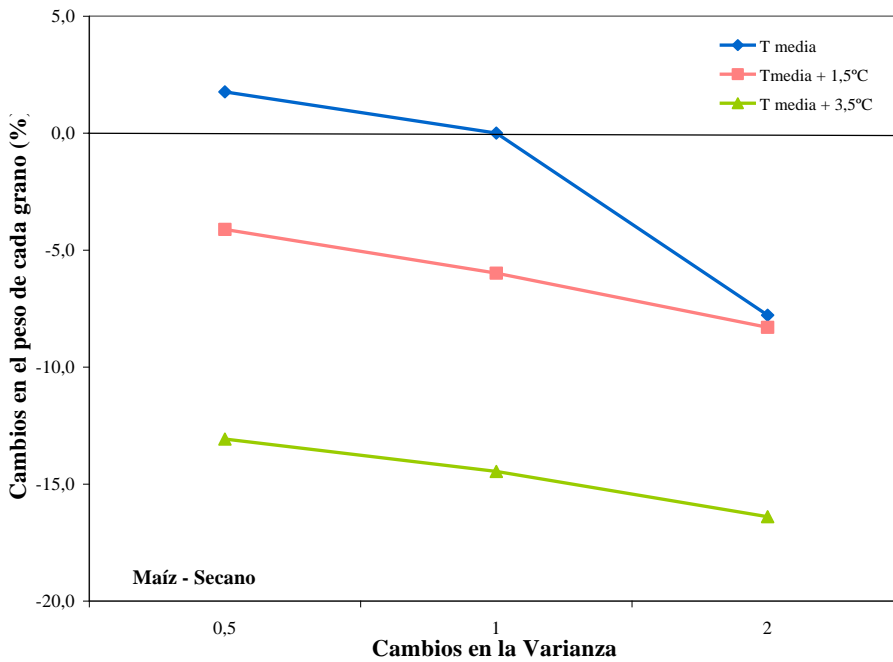
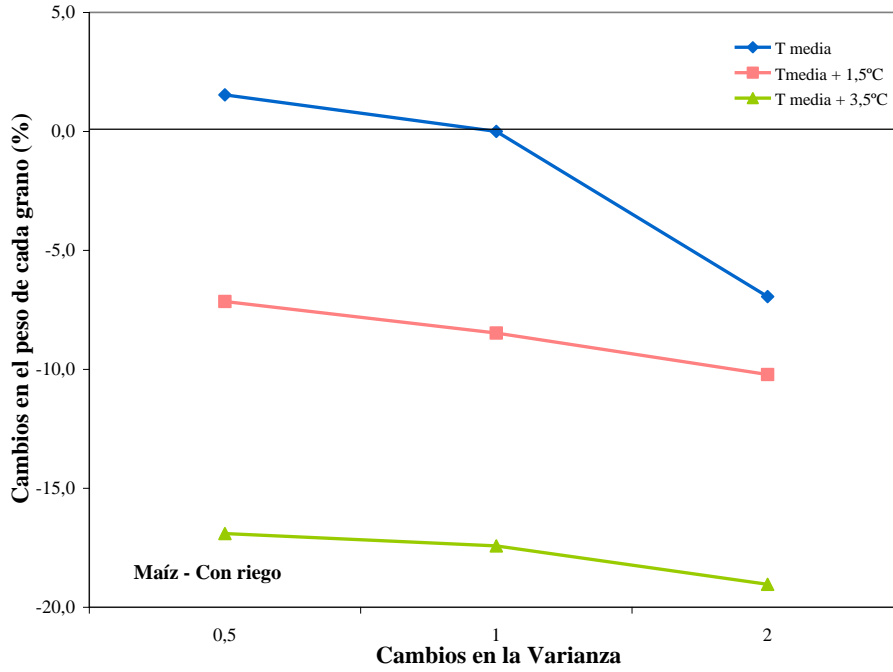


Figura N° 11: Cambios porcentuales simulados en el peso promedio de cada grano (PG) en Río Cuarto, bajo condiciones de riego y de secano y según los distintos escenarios que incluyen cambios en la varianza de la temperatura y en el valor medio de la temperatura



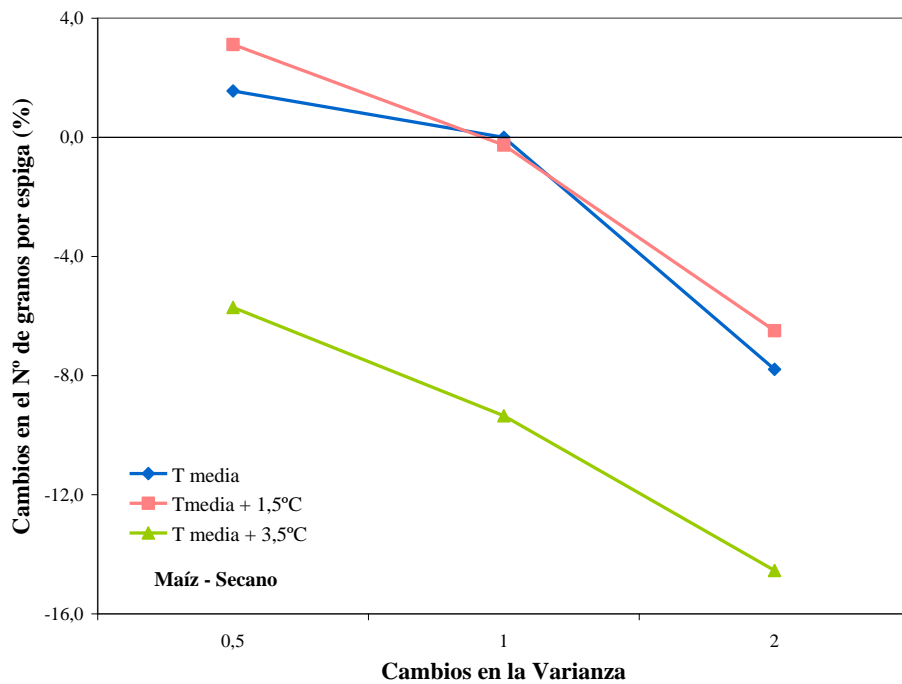
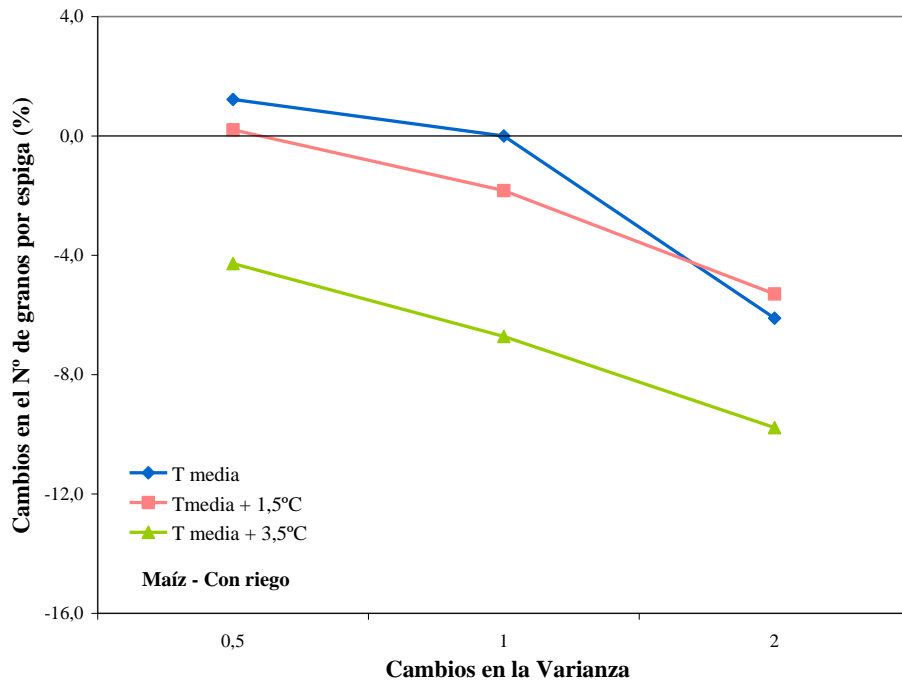


Figura N° 12: Cambios porcentuales simulados en el número promedio de granos por espiga (NG) en Río Cuarto, bajo condiciones de riego y de secano y según los distintos escenarios que incluyen cambios en la varianza de la temperatura y en el valor medio de la temperatura.

Los resultados obtenidos en los rendimientos y en sus componentes al aplicar estos escenarios coinciden con las respuestas de los cultivos los que en general al aumentar la temperatura reaccionan acortando su ciclo de vida. Se observan reducciones de 15 días en la fecha media de aparición de estigmas (**R1**) al pasar de  $T_{Media}$  a  $T_{Media} + 3,5^{\circ}C$  independientemente de los cambios en la varianza (Tabla N°18).

Tabla N°18. Fechas promedio simuladas de la aparición de estigmas (**R1**) (día juliano) obtenidas con series de datos meteorológicos generados que incluyen cambios en el valor medio de la temperatura y en la varianza de la temperatura (CVar), en condiciones de riego y secano en Río Cuarto

		<b>Cambios en la Variancia (CVar)</b>		
		<b>Secano y Riego</b>		
		<b>0,5</b>	<b>1,0</b>	<b>2,0</b>
$T_{Media}$	<b>Media</b>	360	360	360
	<b>DS</b>	4	5	7
$T_{Media} + 1,5^{\circ}C$	<b>Media</b>	352	353	353
	<b>DS</b>	4	5	6
$T_{Media} + 3,5^{\circ}C$	<b>Media</b>	345	346	346
	<b>DS</b>	3	4	6

CVar=1: sin cambio en la varianza;  $T_{Media}$ : sin cambio en la temperatura media;  $T_{Media} + 1,5^{\circ}C$  y  $T_{Media} + 3,5^{\circ}C$ : aumento de  $1,5^{\circ}C$  y  $3,5^{\circ}C$  en las temperaturas máximas y mínimas respectivamente; Media y DS (desvío estándar) ( $kg\ ha^{-1}$ ).

Acortamientos de 26 días en el subperíodo de floración a madurez fisiológica se presentan al comparar la fecha media de madurez fisiológica (**R6**) en CVar=1 y  $T_{Media}$  con respecto a la correspondiente a CVar=2 y  $T_{Media} + 3,5^{\circ}C$  para el ensayo con riego mientras que la reducción para el ensayo en secano es de 21 días (Tabla N°19).

Tabla N°19. Fechas promedio simuladas de madurez fisiológica (**R6**) (día Juliano) obtenidas con series de datos meteorológicos generados que incluyen cambios en el valor medio de la temperatura y en la varianza de la temperatura (CVar), en condiciones de riego y seco en Río Cuarto

**Cambios en la Variancia (CVar)**

		Riego			Secano		
		0,5	1,0	2,0	0,5	1,0	2,0
$T_{Media}$	Media	57	57	55	49	48	47
	DS	5	7	13	16	17	19
$T_{Media} + 1,5^{\circ}C$	Media	43	44	45	37	37	39
	DS	4	6	8	12	13	14
$T_{Media} + 3,5^{\circ}C$	Media	29	30	31	25	26	27
	DS	3	5	8	10	10	11

CVar=1: sin cambio en la varianza;  $T_{Media}$ : sin cambio en la temperatura media;  $T_{Media} + 1,5^{\circ}C$  y  $T_{Media} + 3,5^{\circ}C$ : aumento de  $1,5^{\circ}C$  y  $3,5^{\circ}C$  en las temperaturas máximas y mínimas respectivamente; Media y DS (desvío estándar) ( $kg\ ha^{-1}$ )

Estas reducciones en el ciclo de vida de la planta permiten explicar las diferencias encontradas en el **PG** y en el **NG** al aumentar la temperatura media, pero no alcanzan por sí solos para explicar las disminuciones en los rendimientos que se observan al aumentar la varianza de la temperatura. Los menores rendimientos encontrados en esos casos, son el resultado de la combinación de una menor duración del ciclo del cultivo y de una mayor frecuencia de temperaturas por fuera de los rangos normales para el crecimiento y el desarrollo. Esto afecta también la producción de biomasa aérea, causando pérdida en la cantidad producida, como ha ocurrido en otras investigaciones sobre cebada y pastos (Commuri y Jones, 2001; Jiang y Huang, 2000; Savin y Nicolas, 1999), disminuyendo así la capacidad de producción de fotoasimilados. Además, otra posibilidad de explicación de los bajos rendimientos y la mayor variabilidad de los mismos es la evidencia de que el cultivo en condiciones de seco, se halla más expuesto a un mayor estrés hídrico, causado por temperaturas más elevadas que se presentan con mayor frecuencia que lo normal en el período crítico del cultivo, condición que afecta la polinización, la fecundación y el

desarrollo del grano. Esto es consecuencia de la desecación de los estigmas y/o de los granos de polen y la reducción de la tasa y/o duración del período de llenado, que afectan el número y peso individual de los mismos (Bassetti y Westgate, 1993; Suzuki *et al.*, 2001; Wilhem *et al.*, 1999). La combinación de altas temperaturas y la sequía causan una mayor reducción de la fotosíntesis y en consecuencia de la producción del cultivo que los efectos de ambos estreses por separado (Rincón-Tuexi *et al.*, 2006)

La disminución de la varianza de la temperatura ocasiona un aumento en los rendimientos en todos los casos como resultado de un mayor PG y NG, no observándose cambios en la longitud del ciclo del cultivo (Tablas N° 17, 18 y 19 y Figuras N° 11 y 12 ). La combinación de varianzas decrecientes y aumentos de la temperatura, produjo reducciones de los rendimientos en ambos casos siendo estos mayores en el experimento con riego (*e.g.* Tabla N° 17, 15121,4 kg ha<sup>-1</sup> para CVar=1 y T<sub>Media</sub> y 12002,1 kg ha<sup>-1</sup> para CVar=0,5 y T<sub>Media</sub> + 3,5°C, disminución del 20,6% con riego vs 9207,9 kg ha<sup>-1</sup> para CVar=1 y T<sub>Media</sub> y 7688,8 kg ha<sup>-1</sup> para CVar=0,5 y T<sub>Media</sub> + 3,5°C, disminución del 16,5% en seco). Estas disminuciones están relacionados a menores PG y NG (Figuras N° 11 y 12) y al acortamiento del ciclo del cultivo (Tablas N° 18 y 19). Sin embargo estas reducciones son menores a las ocasionadas por el aumento de la varianza y el aumento de la temperatura en ambos experimentos.

## CONCLUSIONES

En este trabajo se evaluó la sensibilidad del cultivo de maíz a cambios en los valores de la temperatura media del aire y de la variabilidad utilizando el modelo de simulación CERES V3.5. Para la calibración y validación del modelo se utilizaron datos meteorológicos, fenológicos y fenométricos obtenidos de ensayos a campo realizados durante la campaña 2005-2006 en el Campo Experimental de la Universidad Nacional de Río Cuarto (33° 07' S, 64° 14' W, 421 m s n m) utilizando un híbrido simple de maíz de última generación (Nidera AX 884), con dos épocas de siembra y en condiciones de riego y secano.

Con respecto a las condiciones que se presentaron a lo largo de la campaña 2005/2006, las mismas no fueron las óptimas para el crecimiento y desarrollo del cultivo ya que se observaron temperaturas que excedieron los valores máximos normales y absolutos en momentos críticos del cultivo, las que impidieron que alcanzara tasas adecuadas de crecimiento y desarrollo. Estas elevadas temperaturas tampoco permitieron el normal desarrollo del área foliar, afectando negativamente la eficiencia de interceptación de la radiación, reduciendo notablemente la cantidad de fotoasimilados disponibles para la espiga (por aumento también de la respiración de mantenimiento) y la producción final del cultivo, tanto de grano como de materia seca. Estos efectos de las elevadas temperaturas fueron todavía más negativos en el ensayo en secano, en donde se sumaron bajas precipitaciones a lo largo de toda la campaña, sometiendo al cultivo a condiciones de estrés aún mayores, que produjeron grandes reducciones en el rendimiento.

Se observaron respuestas significativas del cultivo en cuanto a reducción en los rendimientos y un aumento en la variabilidad interanual de los mismos ante los distintos escenarios, que incluyeron cambios en la varianza y en el valor medio de la temperatura. Estos efectos fueron de mayor magnitud en secano cuando los aumentos en las temperaturas fueron mayores (*e.g.*  $T_{\text{Media}} + 3,5^{\circ}\text{C}$ ) y la variabilidad de las mismas fue duplicada. Estos cambios en la temperatura media y en su variabilidad produjeron un acortamiento del ciclo del cultivo, la disminución del número de granos por espiga (NG) y del peso del grano (PG).

Considerando los resultados de los indicadores del comportamiento del modelo (EMA, RCME y Dif) se demuestra una buena representación de los diferentes estados fenológicos, rendimiento y sus componentes, constituyendo por lo tanto esta metodología una herramienta muy útil al momento de predecir el comportamiento de cultivos tanto en situaciones reales como en distintos escenarios climáticos y diferentes prácticas de manejo históricas o futuras.

## BIBLIOGRAFÍA

- ANDRADE F.H. 1992. Radiación y temperatura determinan los rendimientos máximos de maíz. **Boletín Técnico 106**. Estación Experimental Agropecuaria Balcarce (INTA). Balcarce, Buenos Aires, Argentina.
- BASSETTI P. and M.E. WESTGATE. 1993. Water deficit affects receptivity of maize silks. *Crop Science*, 33: 279-282.
- BENSON, G. O. 1990. Corn replant decisions: a review. *J. of Prod. Agric.* 3:180-184.
- BLACLOW, W. M. 1972. Influence of temperature on germination and elongation of the radicle and shoot of corn (*Zea Mays L.*). *Crop Science*, 12:647-650.
- BOOTE, K.J. 1999. Concepts of calibrating crop growth models. En G. Hoogenboom, P.W. Wilkens, and G.Y. Tsuji (eds.). 1999. DSSAT v3, volume 4. University of Hawaii, Honolulu, Hawaii. Vol. 4.6, Cap. 3: 185-192.
- BROWN, D. M.. 1978. Heat units for corn in Southern Ontario, Ontario: Ministry of Agriculture and Food, Canada (Fact sheet AGDEX 111/31, Order N° 75-077).
- CRAFTS-BRANDNER S. J. and M.E. SALVUCCI. 2002. Sensitivity of photosynthesis in a C4 plant, maize, to heat stress. *Plant Physiol* 129: 1773-1780.
- CANTERO, A., M. P. CANTÚ, J. M. CISNEROS, J. J. CANTERO, M. BLARASIN, V. BECERRA, J. GONZÁLEZ, A. DEGIOANNI, H. GIL, J. DE PRADA, S. DEGIOANNI, C. CHOLAKY, M. VILLEGAS, A. CABRERA, y C. ERIC. 1998. **Tierras y aguas del sur de Córdoba: propuesta de manejo sustentable**. UNRC. 119 pp.
- COELHO, D. and R. DALE. 1980. An energy-crop growth variable and temperature function for predicting corn growth and development-planting to silking. *Agronomy Journal*, 72 (3): 503-510.
- COMMURI P. D. and R. J. JONES. 2001. High temperatures during endosperm cell division in maize. A genotypic comparison under in vitro and field conditions. *Crop Science*, 41: 1122-1130.
- CROSS, H. Z. and M. S. ZUBER. 1972. Prediction of flowering dates in maize based on different methods of estimating thermal units. *Agronomy Journal*, 64(4): 351-355.
- DEGIOANNI, A.J. 1998 **Organización territorial de la producción agraria en la región de Río Cuarto. Argentina**. Tesis Doctoral. Universidad de Alcalá de Henares. España. 282 pp.
- GILMORE, E. and J. S. ROGERS. 1958. Heat unit as a method of measuring maturity in corn. *Agronomy Journal*, 50:611-615.
- HARDACRE, A. K. and H. L. TURNBULL. 1986. The growth and development of maize (*Zea mays L.*) at five temperatures. *Annals of Botany*, 58:779-787

- JIANG Y. and B. HUANG. 2000. Effects on drought or heat stress alone and in combination on Kentucky bluegrass. *Crop Science*, 40: 1358-1362
- JONES, C.A. and J.R. KINIRY. 1986. **CERES-Maize: A simulation model for maize growth and development**. College Station, Texas A&M Press.
- JULL L.G., T.G. RANNEY, and F.A. BLAZICH. 1999. Heat tolerance of selected provenances of Atlantic White Cedar. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 124: 492-497.
- KINIRY, J. R. 1991. Maize phasic development. In Hanks, J and J.T. Ritchie (eds) *Modeling plant and soil systems*. ASA Agronomy Monographs n°31, Madison, WI, USA.
- LOZADA, B. y L. ANGELOCCI. 1999. Determinação da temperatura base e de grausdia para estimativa da duração do subperíodo da semeadura à floração de um híbrido de milho (*Zea mays*). *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria. 7 (1): 31-36.
- MAVROMATIS, T., K. J. BOOTE, J. W. JONES, A. IRMAK, D. SHINDE, G. HOOGENBOOM. 2001. Developing genetic coefficients for crop simulation models with data from crop performance trials. *Crop Science*, 41 (1): 40-51.
- MEARNS L.O. 1989. Climate variability. En: *The Potential effects of global climate change on the United States*. Smith, J., and Tirpak, D., (eds.).US EPA. Report to Congress N°.230-05-61-050, Washington, DC, pp. 29-54.
- MEARNS, L.O., C. ROSENZWEIG, and R. GOLDBERG. 1992. The effect of changes in interannual climatic variability on CERES-Wheat yields: sensitivity and 2xCO<sub>2</sub> studies. *Agricultural and Forest Meteorology*, 62: 159 –189
- MEARNS, L.O., C. ROSENZWEIG and R. GOLDBERG. 1996. The effect of changes in daily and inter- annual climatic variability on CERES-Wheat: a sensitivity study. *Climatic Change* 32: 257-292
- MEARNS, L.O., C. ROSENZWEIG, and R. GOLDBERG. 1997. Mean and variance change in climate scenarios: methods, agricultural applications, and measures of uncertainty. *Climatic Change* 35:367-396.
- MEDERSKI, J., M. MILLER, and C.WEAVER. 1973. Accumulated heat units for classifying corn hybrid maturity. *Agronomy Journal*, 65 (7): 743- 747
- OGOSHI, R.M., B.G. CAGAUAN, and G.Y. TSUJI. 1999. Field and Laboratory Methods for the collection of the minimum data set. *En G. Hoogenboom et al., (eds.) DSSAT version 3*, Volume 4-8, University of Hawaii, Honolulu, Hawaii.
- PEDROL H., J. CASTELLARIN y F. SALVAGIOTTI. 2004. Importancia del maíz en la rotación de cultivos. *Sustentabilidad y diversificación de riesgos productivos*. IDIA, 21 (6):141-146
- PUIATTI, J. M. P., A.R. RIVETTI y J. H. SCHMALZ. 2006. Riego complementario en maíz (*Zea mays* L.) en la región de Río Cuarto empleando el pronóstico climático

- extendido de 72 hs. III Jornadas de actualización en riego y fertirriego. 10 y 11 de agosto de 2006-Mendoza, Argentina.
- RICHARDSON, C.W. 1985. Weather simulation for crop management models. Transactions of the ASAE: 1602-1606.
- RICHARDSON, C.W., and D. A. WRIGHT. 1984. WGEN: a model for generating daily weather variables. USDA-ARS ARS-8. 80 pp.
- RINCÓN-TUEXI J. A., S. CASTRO-NAVA, J.A. LOPEZ-SANTILLAN, A.J. HUERTA, C. TREJO LOPEZ, y F. BRIONES ENCINIA. 2006. Temperatura alta y estrés hídrico durante la floración en poblaciones de maíz tropical. *PHYTON (Inter. J. Exp. Bot.)* 75: 31-40.
- RITCHIE, J.T. 1972. Model for predicting evaporation from a row crop with incomplete cover. *Water Resources Research*, 8: 1204-1213.
- RITCHIE, J.T. 1991. Specification of the ideal model for predicting crops yields.p.97-122. In R.C. Muchow and J.A. Bellamy (eds.) *Climatic risk in crop production: Models and management for the semi-arid tropics and subtropics*. Proc. Intl. Symposium, St. Lucia, Brisbane, Queensland, Australia. July 2-6, 1990. C.A.B. International, Wallingford, U.K.
- RITCHIE, J. T. and D. S. NESMITH. 1991. Temperature and crop development. En: J. Hanks y Ritchie J.T.(eds.). *Modeling plant and soil systems*. ASA-CSSA-SSSA. Madison, Wisconsin. *Agronomy Monograph*, 31:5-29
- RITCHIE, J. T., U. SINGH, D. C. GODWIN, and W. T. BOWEN. 1998. Cereal growth, development and yield.p.79-98. *In* G.Y. Tsuji et al., (eds.) *Understanding options for agricultural production, Systems approaches for sustainable agricultural development* Volume 7, Kluwer Academic Publishers, Great Britain.
- RITCHIE, S. W., and J. J. HANWAY. 1997. How a corn plant develops. Special Report N° 48, Iowa State University of Science and Technology, Cooperative Extension Service, Ames, Iowa.
- ROSENZWEIG, C. and A. IGLESIAS. 1994. Implications of climate change for international agriculture: Crop modeling study. U.S. Environmental Protection Agency. Washington DC.
- S.A.G.P. y A. 2006. Estimaciones agrícolas – Cereales – Maíz. En: [www.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-0/agricultura/otros/estimaciones/maiz/maiz.php](http://www.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-0/agricultura/otros/estimaciones/maiz/maiz.php). Consultado: 15-12-2007
- S.A.G.P.y A. 2007. Estimaciones agrícolas – Cereales – Maíz. En: [www.sagpya.mecon.gov.ar/agricultura/estimaciones/infomaiz.php](http://www.sagpya.mecon.gov.ar/agricultura/estimaciones/infomaiz.php). Consultado: 20-05-2007
- SAVIN, R., and M.E. NICOLAS. 1999. Effect of timing of heat stress and drought on growth and quality of barley grains. *Aust. J. Agric.Res.* 50: 357-364.



- SEILER R.A., R.A. FABRICIUS, V.H. ROTONDO y M.G. VINOCUR. 1995. Agroclimatología de Río Cuarto-1974/93. Volumen 1. FAV. UNRC. Río Cuarto. Córdoba. Argentina.
- SUZUKI K., T. TSUKAGUCHI, H. TAKEDA, and Y. EGAWA. 2001. Decrease of pollen stainability of green vean at high temperatures and relationship to heat tolerance. *J. Am. Soc. Hort. Sci* 126: 571-574
- TOLLENAAR, M., T. DAYNARD, and R. HUNTER. 1979. Effect of temperature on rate of leaf appearance and flowering date in maize. *Crop Science*, 19 (1): 363-366.
- VINOCUR, M. G., R. A. SEILER, y L. O. MEARNNS. 2000. Predicting maize yield responses to climate variability in Córdoba, Argentina. International Scientific Meeting on Detection and Modeling of Recent Climate Change and its Effects on a Regional Scale: 137. Tarragona, España.
- VINOCUR, M.G, R. A. SEILER., y L.O. MEARNNS. 2001. Respuestas del cultivo de maní a distintos escenarios climáticos. *Rev.Arg.de Agrometeorología*, 1(2): 71-76
- WARRINGTON, I. J. and E.T., KANAMESU. 1983a. Corn growth response to temperature and photoperiod. I. Seedling emergence, tassel initiation, and anthesis. *Agronomy Journal*, 75:749-754.
- WARRINGTON, I. J. and E. T.. KANAMESU. 1983b. Corn growth response to temperature and photoperiod.II. Leaf-initiation and leaf appearance rates. *Agronomy Journal*, 75: 755-761
- WILHELM E.P, R.E. MULLEN, P.L. KEELING, and G.W. SINGLETARY. 1999. Heat stress during grain filling in maize. Effects on kernel growth and metabolism. *Crop Science*, 39: 1733-1741.
- WILKS, D.S. 1992. Adapting stochastic weather generation algorithms for climate change studies. *Climatic Change*, 22: 67-84.
- WILLMOTT, C.J. 1982. Some comments on evaluation of model performance. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 63:1309-1313.
- WILSON, J. H., M. S. J.CLOWES, and J. C. S ALLISON. 1973. Growth and yield of maize at different altitudes in Rhodesia. *Annals of Applied Biology*, 73: 77-84.
-

**ANEXO**

**Tabla N° 1:** Evolución de la producción, rendimiento y superficie sembrada del cultivo de maíz en Argentina

**MAIZ - EVOLUCION DE LA PRODUCCION EN LAS PRINCIPALES PROVINCIAS PRODUCTORAS**

Provincias	Producción (en toneladas)				Variación Porcentual (%) 2005/06 vs. (1), (2) y (3)		
	2005/06	(1) 2004/05	(2) Prom00/01- 04/05	(3) Prom.95/9 6-04/05	(1)	(2)	(3)
Buenos Aires	4.304.450	6.266.880	5.021.272	5.914.110	-31,31	-14,28	-27,22
Córdoba	5.204.450	7.061.800	5.404.064	4.364.302	-26,3	-3,69	19,25
Santa Fe	1.984.720	3.006.660	2.417.860	2.492.086	-33,99	-17,91	-20,36
Entre Ríos	951.190	1.625.600	1.289.334	1.074.517	-41,49	-26,23	-11,48
Resto	2.000.730	2.521.630	1.977.341	1.779.977	-20,66	1,18	12,4
<b>Total</b>	<b>14.445.540</b>	<b>20.482.570</b>	<b>16.109.871</b>	<b>15.624.992</b>	<b>-29,47</b>	<b>-10,33</b>	<b>-7,55</b>

MAIZ - EVOLUCION DEL AREA SEMBRADA				MAIZ - EVOLUCION DE LOS RENDIMIENTOS			
Campañas Agrícolas	Superficie Sembrada	Variación 05/06 vs.(1), (2), (3) y (4)		Campañas Agrícolas	Rend.	Variación 05/06 vs.(1), (2) y (3)	
	(en hectáreas)	Val. Absolutos (ha)	Val. Relativos (%)		(en kg/ha)	Val. Absolutos (kg/ha)	Val. Relativos (%)
2005/06 final	3.190.440			2005/06	5.903		
(1) 2005/06 intención	3.100.000	90.440	2,92	(1) 2004/05	7.359	-1456	-19,79
(2) 2004/05	3.403.840	-213.400	-6,27	(2) Prom. 00/01-04/05	6.352	-449	-7,07
(3) Prom. 00/01-04/05	3.206.554	-16.114	-0,5	(3) Prom. 95/96-04/05	5.685	218	3,83
(4) Prom. 95/96-04/05	3.427.450	-237.010	-6,92				
(1) Intención del mes de Agosto '05							

Nota: Fuente: SAGPyA, 2006

Tabla N° 2: Precipitaciones y Temperaturas Máximas, Medias, Mínimas diarias y Radiación solar, por década y por mes en Septiembre de 2005.

FECHA	TEM_MAXIMA	TEM_MINIMA	TEM_MEDIA	Radiación solar	PRECIPITACIÓN
01/09/2005	15,2	-0,7	6,1	17,87	0
02/09/2005	16,0	-3,2	6,2	16,91	0
03/09/2005	15,8	1,4	7,9	13,6	0
04/09/2005	20,3	0,4	10,4	17,09	0
05/09/2005	20	5,4	11,9	16,23	0
06/09/2005	26,0	2,8	13,8	18,77	0
07/09/2005	27,6	7,9	17,1	16,87	0
08/09/2005	26,8	9,9	17,7	18,61	0
09/09/2005	29,1	7,3	15,8	17,41	4
10/09/2005	12,4	4,6	7,9	16,7	7
Promedio de la Década	20,9	3,6	11,5		∑ de la Década = 11
11/09/2005	12,9	-0,5	5,4	17,04	0
12/09/2005	15,5	-2,4	5,5	21,66	0
13/09/2005	17,4	-2,8	7,5	21,01	0
14/09/2005	12,0	2,2	7,2	9,86	0
15/09/2005	21,6	-1,6	9,6	21,7	0
16/09/2005	23,1	4,0	13,3	20,31	0
17/09/2005	21,9	3,8	12,7	21,7	0
18/09/2005	23,9	3,7	13,5	21,55	0
19/09/2005	25,1	7,6	15,6	22,19	0
20/09/2005	26,7	10,2	17,8	19,9	0
Promedio de la Década	20,0	2,4	10,8		∑ de la Década = 0
21/09/2005	28,9	12	19,3	21,57	0
22/09/2005	30,3	13,2	20,5	20,65	0
23/09/2005	18,1	10,9	14,8	5,22	2
24/09/2005	22,6	8,3	14,6	22,54	0
25/09/2005	22,3	4,7	13,3	23,82	0
26/09/2005	25,4	6,5	16,1	23,72	0
27/09/2005	25,9	10	17,3	23,47	0
28/09/2005	28,1	10,6	18,6	22,86	0
29/09/2005	17,7	7,5	13,1	12,5	0
30/09/2005	21,9	2,1	11,9	24,75	0
Promedio de la Década	24,1	8,6	15,9		∑ de la Década = 2
Promedio Mensual	21,7	4,9	12,8		∑ mensual = 13,00

Nota: TEM = Temperatura (°C); PRECIPITACIÓN (mm), Radiación solar (MJ m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>)

Tabla N° 3: Precipitaciones y Temperaturas Máximas, Medias, Mínimas diarias y Radiación solar, por década y por mes en Octubre de 2005.

FECHA	TEM_MAXIMA	TEM_MINIMA	TEM_MEDIA	Radiación Solar	PRECIPITACIÓN
01/10/2005	26,8	6,6	16,3	21	0
02/10/2005	23,6	11,7	15,9	12,81	0
03/10/2005	17,4	8,4	13,2	5,59	1
04/10/2005	14,0	2,4	7,6	10,29	2
05/10/2005	22,3	1,9	11,6	24,86	0
06/10/2005	24,9	4,1	14,7	24,19	0
07/10/2005	28,3	8,6	17,5	24,49	0
08/10/2005	28,7	9,2	18,6	25,65	0
09/10/2005	32,8	9	21,3	25,77	0
10/10/2005	33,5	12,7	22,9	25,92	0
Promedio de la Década	25,2	7,4	16		$\Sigma$ de la Década = 3
11/10/2005	37,3	14	24,7	26,23	0
12/10/2005	24,7	10,8	18,5	25,12	0
13/10/2005	25,3	6,7	15,8	22,94	0
14/10/2005	26,5	5,8	16,4	27,68	0
15/10/2005	23,8	12,2	16,5	22,7	0
16/10/2005	24,4	7,8	15,4	23,38	0
17/10/2005	29,0	3,6	15,8	27,03	0
18/10/2005	33,1	10,7	21,7	23,96	0
19/10/2005	35,3	11,7	25	27,92	0
20/10/2005	36,9	16	26	27,7	0
Promedio de la Década	29,6	9,9	19,6		$\Sigma$ de la Década = 0
21/10/2005	37,4	16,9	26,8	25,61	0
22/10/2005	23,1	10,2	16,7	26,13	1
23/10/2005	19,4	9,1	11,9	11,29	2
24/10/2005	14,5	8,2	10,6	5,85	20
25/10/2005	24,3	8,3	15,3	26,47	0
26/10/2005	23,2	10,9	15,8	18,16	8
27/10/2005	17,7	10,0	13,5	8,56	25
28/10/2005	14,3	8,2	11,1	6,52	8
29/10/2005	18,1	7,8	11,1	11,24	3
30/10/2005	20,1	4,7	11,7	20,89	0
31/10/2005	26,5	7,1	16,9	29,72	0
Promedio de la Década	21,7	9,2	14,7		$\Sigma$ de la Década = 67
Promedio Mensual	25,4	8,8	16,7		$\Sigma$ mensual = 70,00

Nota: TEM = Temperatura (°C); PRECIPITACIÓN (mm), Radiación solar (MJ m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>)

Tabla N° 4: Precipitaciones y Temperaturas Máximas, Medias, Mínimas diarias y Radiación solar, por década y por mes en Noviembre de 2005.

FECHA	TEM_MAXIMA	TEM_MINIMA	TEM_MEDIA	Radiación Solar	PRECIPITACIÓN
01/11/2005	29,6	11,4	20,6	29,37	0
02/11/2005	30,5	14,7	22,5	28,71	0
03/11/2005	34,3	14,1	23,7	27,1	0
04/11/2005	20,3	6,8	15,0	30,83	0
05/11/2005	24,3	5,2	14,7	21,83	0
06/11/2005	26,2	7,7	17,3	27,37	0
07/11/2005	26,5	12,2	18,9	30,26	0
08/11/2005	27,9	13,9	20,1	29,47	0
09/11/2005	28,7	13,2	20,9	29,79	0
10/11/2005	30	14,9	18,8	17,41	13
Promedio de la Década	27,8	11,4	19,3		∑ de la Década = 13
11/11/2005	30,1	11,2	21,0	30,81	0
12/11/2005	32,3	15,7	24,1	30,54	0
13/11/2005	27,7	15,8	20,6	22,97	36
14/11/2005	32,7	16,5	22,7	28,58	0
15/11/2005	27,4	14,8	20,7	30,01	0
16/11/2005	21,0	15,9	18,0	8,78	8
17/11/2005	28,9	12,9	18,9	19,78	6
18/11/2005	29	10,4	20,5	31,93	0
19/11/2005	29,9	17,3	23,1	31,33	0
20/11/2005	33,5	16,8	25,4	31,18	0
Promedio de la Década	29,3	14,743	21,5		∑ de la Década = 50
21/11/2005	31,3	19,4	24,7	29,06	0
22/11/2005	35,1	18,4	26,1	28,24	1
23/11/2005	22,5	10,4	17,3	20,27	7
24/11/2005	27,6	7	18,3	31,98	0
25/11/2005	33,8	13,7	24,6	32,63	0
26/11/2005	37,2	17,1	28,0	32,31	0
27/11/2005	36,1	21,1	27,6	30,15	0
28/11/2005	27,9	16,8	21,5	22,68	2
29/11/2005	25,2	15,5	19,1	13,29	12
30/11/2005	22,5	14,4	17,2	15	7
Promedio de la Década	29,9	15,4	22,5		∑ de la Década = 29
Promedio Mensual	29	13,8	21,0		∑ mensual = 92,00

Nota: TEM = Temperatura (°C); PRECIPITACIÓN (mm), Radiación solar (MJ m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>)

Tabla N° 5: Precipitaciones y Temperaturas Máximas, Medias, Mínimas diarias y Radiación solar, por década y por mes en Diciembre de 2005.

FECHA	TEM_MAXIMA	TEM_MINIMA	TEM_MEDIA	Radiación Solar	PRECIPITACIÓN
01/12/2005	20,6	14,7	17	17,11	1
02/12/2005	23,5	12,0	17,3	18,07	0
03/12/2005	31,2	15,0	20,4	28,1	0
04/12/2005	29,1	12,3	17,9	23,5	4
05/12/2005	21,5	7,9	15,6	27,2	0
06/12/2005	24,1	5,3	14,8	33,68	0
07/12/2005	31,8	10,0	21	30,72	0
08/12/2005	29	13,2	21,0	29,67	0
09/12/2005	29,9	13,4	21,5	29,95	0
10/12/2005	26,9	9,1	18,9	33,23	0
Promedio de la Década	26,8	11,3	18,5		$\sum$ de la Década = 5
11/12/2005	32,8	12,6	22,3	33,54	0
12/12/2005	35,1	17,2	25,8	33,55	0
13/12/2005	34,2	17,6	25	31,03	0
14/12/2005	33,3	17,5	24,4	23,15	1
15/12/2005	35,7	18,9	27,1	32,35	0
16/12/2005	27,3	17,1	20,7	14,25	22
17/12/2005	32,8	15,4	23,9	32,28	0
18/12/2005	30,6	17,5	22,9	28,04	12
19/12/2005	25,9	15,3	19,6	29	0
20/12/2005	33,1	13,3	23,9	32,98	0
Promedio de la Década	32,1	16,2	23,6		$\sum$ de la Década = 35
21/12/2005	35,2	18,4	26	29,19	0
22/12/2005	34,1	18,1	25,1	23,33	0
23/12/2005	31,5	17,3	24,1	33,12	0
24/12/2005	30,3	14,3	22,1	32,3	0
25/12/2005	31,4	15,5	23,2	33,05	0
26/12/2005	33,8	19,2	25,6	32,63	0
27/12/2005	33,4	20	26,1	30,4	0
28/12/2005	32	18,3	24,6	31,12	0
29/12/2005	37,1	17,5	27,0	29,42	0
30/12/2005	31	17,5	23,5	16,4	1
31/12/2005	35,6	16,9	25,9	30,76	0
Promedio de la Década	33,2	17,6	24,9		$\sum$ de la Década = 1
Promedio Mensual	30,8	15,1	22,4		$\sum$ mensual = 41,00

Nota: TEM = Temperatura (°C); PRECIPITACIÓN (mm), Radiación solar (MJ m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>)

Tabla N° 6: Precipitaciones y Temperaturas Máximas, Medias, Mínimas diarias y Radiación solar, por década y por mes en Enero de 2006.

FECHA	TEM_MÁXIMA	TEM_MINIMA	TEM_MEDIA	Radiación Solar	PRECIPITACIÓN
01/01/2006	34,9	17,6	25,2	28,26	3
02/01/2006	30,4	16,2	21,1	21,34	11
03/01/2006	32,3	16,9	24,1	31,68	0
04/01/2006	34,4	17,9	25,2	29,7	0
05/01/2006	36,8	20,5	28,2	31,82	0
06/01/2006	38,2	19,6	29,3	32,24	0
07/01/2006	41,5	22,1	30,5	30,56	0
08/01/2006	30,3	18,7	23,7	26,63	5
09/01/2006	41,2	20,3	30,2	30,78	0
10/01/2006	29,1	17	22,6	23,92	0
Promedio de la Década	34,9	18,7	26,0		∑ de la Década = 19
11/01/2006	33,7	14,2	24	28,64	0
12/01/2006	25	15,3	19,5	3,01	65
13/01/2006	24,1	15,3	19,6	12,88	0
14/01/2006	30,5	19,4	24,5	24,74	0
15/01/2006	29	18,6	23,7	15,48	0
16/01/2006	26,1	11,9	19,0	31,03	2
17/01/2006	27,0	10,5	18,8	29,91	0
18/01/2006	26,6	12,8	19,7	30,28	0
19/01/2006	30,8	13,2	22,5	29,41	0
20/01/2006	30,3	18,7	23,3	17,48	0
Promedio de la Década	28,3	15	21,5		∑ de la Década = 67
21/01/2006	26,7	17	20,8	26,26	0
22/01/2006	27,7	17,3	21,7	15,74	0
23/01/2006	31	18,8	23,4	20,58	0
24/01/2006	26,5	17,5	20,9	15,5	30
25/01/2006	31,6	14,9	23,5	31,47	0
26/01/2006	32,3	17,8	25	30,85	0
27/01/2006	34,5	18,7	26,5	30,98	0
28/01/2006	36,4	17,4	27,5	31,08	0
29/01/2006	38,3	20,2	28,8	28,98	0
30/01/2006	30,9	19,7	24,9	24,6	0
31/01/2006	32,7	18,8	24,6	25,87	0
Promedio de la Década	31,7	18,0	24,		∑ de la Década = 30
Promedio Mensual	31,6	17,3	23,9		∑ mensual = 116,00

Nota: TEM = Temperatura (°C); PRECIPITACIÓN (mm), Radiación solar (MJ m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>)

Tabla N° 7: Precipitaciones y Temperaturas Máximas, Medias, Mínimas diarias y Radiación solar, por década y por mes en Febrero de 2006.

FECHA	TEM_MÁXIMA	TEM_MINIMA	TEM_MEDIA	Radiación Solar	PRECIPITACIÓN
01/02/2006	29,0	18,3	22,3	21,05	35
02/02/2006	27,2	19,4	21,2	5,84	2
03/02/2006	25,5	17,7	20,8	8,87	39
04/02/2006	30,9	19,5	23,8	24,58	1
05/02/2006	28,3	16,6	22,4	24,84	1
06/02/2006	31	15,7	23,0	30,24	0
07/02/2006	27,3	17,3	21,1	19,53	3
08/02/2006	30,7	14,7	21,7	26,18	0
09/02/2006	24	14,4	17,7	13,87	0
10/02/2006	26,4	12	19,2	29,55	0
<b>Promedio de la Década</b>	<b>28,0</b>	<b>16,6</b>	<b>21,3</b>		<b>∑ de la Década = 81</b>
11/02/2006	27,1	13,2	20	29,52	0
12/02/2006	28,4	14,7	20,7	25,65	0
13/02/2006	30,0	14,2	21,8	28,99	0
14/02/2006	30,4	14,6	22,4	29,57	0
15/02/2006	32,2	14,9	23,4	29,18	0
16/02/2006	32,9	15,7	24,4	27,94	0
17/02/2006	33,5	16,3	25,0	28,16	0
18/02/2006	33,9	18,8	25,9	27,8	0
19/02/2006	34,5	18,6	26,5	27,66	0
20/02/2006	34,6	19,9	26,8	25,96	0
<b>Promedio de la Década</b>	<b>31,8</b>	<b>16,1</b>	<b>23,7</b>		<b>∑ de la Década = 0</b>
21/02/2006	35,1	19,3	25,1	21,73	6
23/02/2006	20,9	12	15,0	20,75	3
24/02/2006	17,1	8,6	12,9	14,31	5
25/02/2006	25,2	5,2	15,4	28,28	0
26/02/2006	28,7	12,2	20,2	27,7	0
27/02/2006	22,1	11,6	15,0	15,53	8
28/02/2006	22,5	12,5	16,1	14,27	0
<b>Promedio de la Década</b>	<b>24,5</b>	<b>11,6</b>	<b>17,1</b>		<b>∑ de la Década = 22</b>
<b>Promedio Mensual</b>	<b>28,5</b>	<b>15,1</b>	<b>21,1</b>		<b>∑ mensual = 103,00</b>

Nota: TEM = Temperatura (°C); PRECIPITACIÓN (mm), Radiación solar (MJ m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>)



Tabla N° 8: Precipitaciones y Temperaturas Máximas, Medias, Mínimas diarias y Radiación solar, por década y por mes en Marzo de 2006.

FECHA	TEM_MÁXIMA	TEM_MINIMA	TEM_MEDIA	Radiación Solar	PRECIPITACIÓN
01/03/2006	20,0	13,7	16,9	5,4	15,0
02/03/2006	27	14,6	20,8	16,8	18,0
03/03/2006	24,1	12,4	18,2	23,1	0,0
04/03/2006	29,7	9,4	19,5	27,4	0,0
05/03/2006	30,3	12,9	21,6	26,9	0,0
06/03/2006	32,0	16,3	24,2	25,8	0,0
07/03/2006	32,1	16,7	24,4	22,1	7,0
08/03/2006	31,3	14,2	22,7	25,7	1,0
09/03/2006	27,6	13,3	20,4	26,5	0,0
10/03/2006	26,6	11,4	19,0	25,2	0,0
Promedio de la Década	28,1	13,5	20,8		∑ de la Década = 41,00
11/03/2006	29,3	14,3	21,8	18,7	0,0
12/03/2006	31,3	9,8	20,6	26,0	0,0
13/03/2006	32,9	15,9	24,4	23,9	2,0
14/03/2006	26,6	16,0	21,3	17,0	8,0
15/03/2006	27,8	12,9	20,4	23,3	0,0
16/03/2006	24,5	12,2	18,3	22,9	1,0
17/03/2006	26,3	9,9	18,1	20,4	0,0
18/03/2006	25,7	5,9	15,8	24,9	0,0
19/03/2006	31,4	10,3	20,9	24,7	0,0
20/03/2006	30,2	9,9	20,0	24,1	0,0
Promedio de la Década	28,6	11,7	20,2		∑ de la Década = 11,00
21/03/2006	27,7	15,2	21,4	15,9	1,0
22/03/2006	28,3	16,1	22,2	19,6	40,0
23/03/2006	32,8	14,3	23,5	23,2	0,0
24/03/2006	20,3	10,9	15,6	11,2	0,0
25/03/2006	23	9,7	16,3	21,5	0,0
26/03/2006	23,9	11,4	17,7	14,4	0,0
27/03/2006	25,9	12,5	19,2	16,0	0,0
28/03/2006	22,5	8,1	15,4	22,3	0,0
29/03/2006	25	6,9	15,9	22,3	0,0
30/03/2006	28	10,0	19,0	21,6	0,0
31/03/2006	25,1	14,8	19,9	12,6	0,0
Promedio de la Década	25,7	11,8	18,8		∑ de la Década = 41,0
Promedio Mensual	27,5	12,4	19,9		∑ mensual = 93,0

Nota: TEM = Temperatura (°C); PRECIPITACIÓN (mm), Radiación solar (MJ m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>)

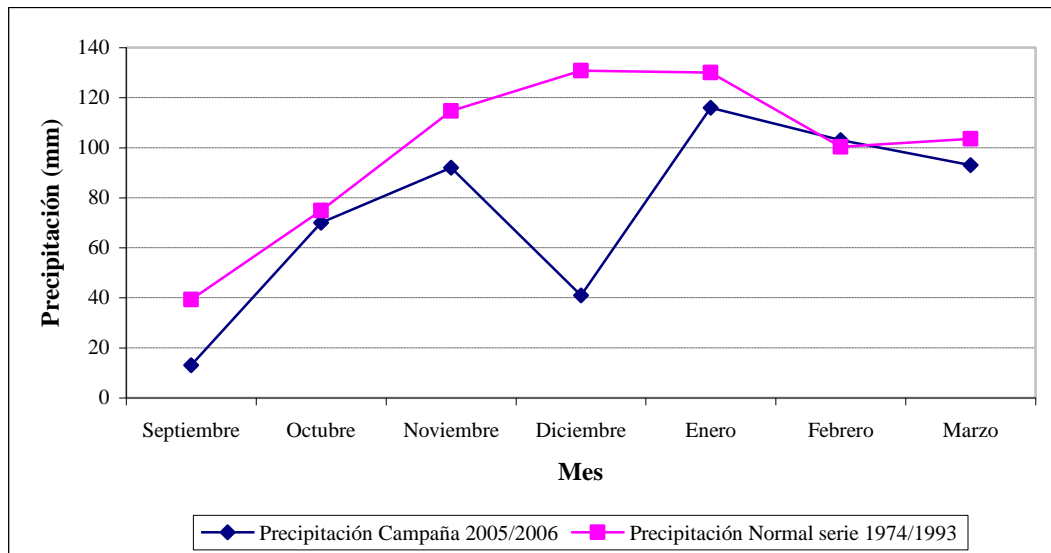


Figura N° 1: Comparación entre precipitaciones observadas durante la Campaña 2005/2006 vs. Precipitaciones Normales de la serie 1974/1993

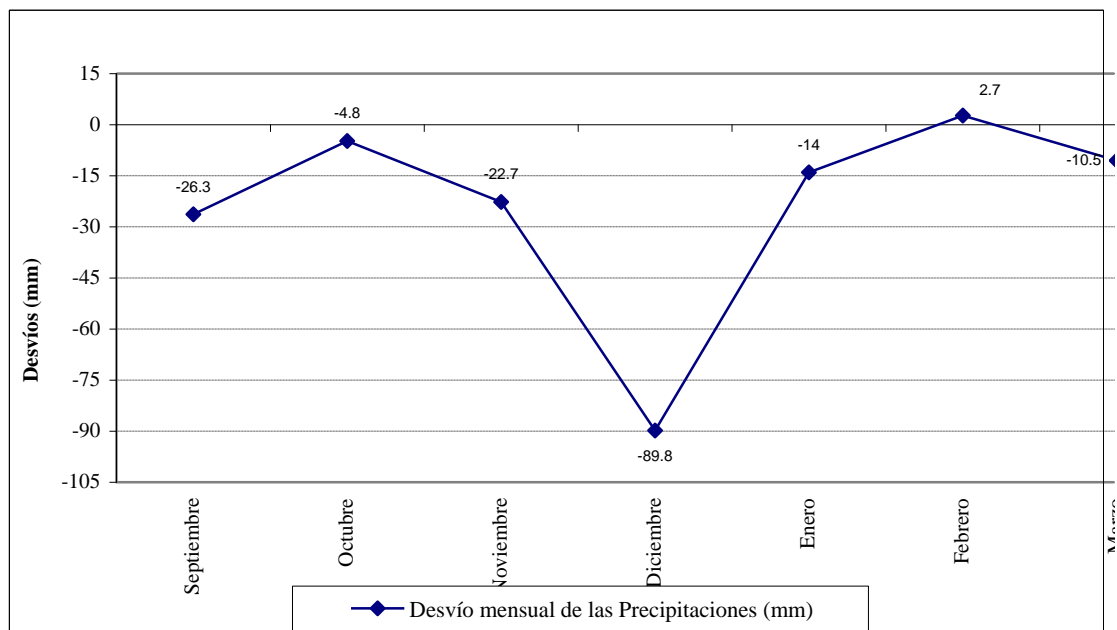


Figura N° 2: Desvío mensuales de la Precipitación (mm)

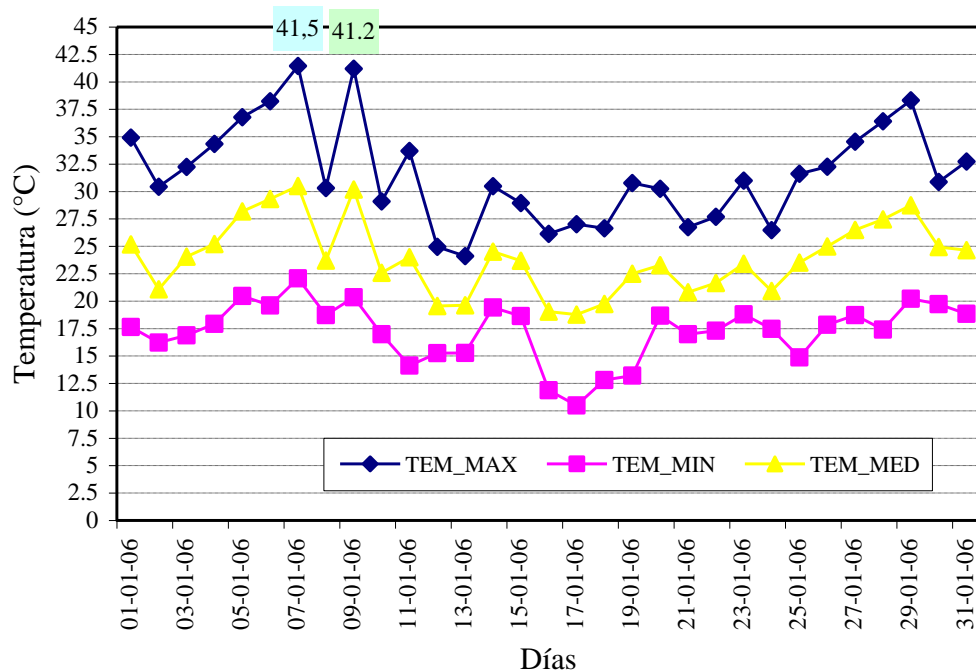


Figura N° 3: Temperaturas Máximas, Medias y Mínimas del mes de Enero de 2006.

Tabla N° 9: Coeficientes de estrés hídrico promedio sobre la fotosíntesis y sobre el crecimiento a lo largo del ciclo del cultivo para cada fecha de siembra y condición hídrica

	Primera Fecha de Siembra		Segunda Fecha de Siembra	
	Secano	Con Riego	Secano	Con Riego
Estrés hídrico sobre la/el				
<b><i>Fotosíntesis</i></b>				
Emergencia-Fin Fase juvenil	0,573	0	0	0
Fin Fase juvenil-Iniciación Floral	0,38	0	0	0
Iniciación Floral-Fin crecimiento Foliar	0,259	0,085	0,394	0
Fin crecimiento Foliar -Comienzo de Llen.	0,542	0,293	0,228	0
Fase Llenado de Granos	0,303	0,105	0,182	0
<b><i>Crecimiento</i></b>				
Emergencia-Fin Fase juvenil	0,601	0	0	0
Fin Fase juvenil-Iniciación Floral	0,181	0	0	0
Iniciación Floral- Fin crecimiento Foliar	0,291	0,11	0,434	0
Fin crecimiento Foliar -Comienzo de Llen.	0,574	0,317	0,235	0
Fase Llenado de Granos	0,321	0,11	0,218	0

Nota: 0,0 = Mínimo Estrés;

1,0 = Máximo Estrés

Tabla N° 10: Fechas y láminas de riego

1ra. Fecha de siembra		2da. Fecha de siembra	
Fecha del riego	Lámina aplicada (mm)	Fecha del riego	Lámina aplicada (mm)
21/09/05	10	16/11/05	20
28/9/05	25	30/11/05	30
18/10/05	30	04/12/05	5
8/11/05	10	15/12/05	30
16/11/05	20	03/01/06	30
30/11/05	30	05/01/06	30
15/12/05	30	11/01/06	30
03/01/06	30	16/01/06	30
05/01/06	30	25/01/06	30
11/01/06	30	01/02/06	30
17/01/06	30	07/02/06	30
		15/02/06	30
		22/02/06	30