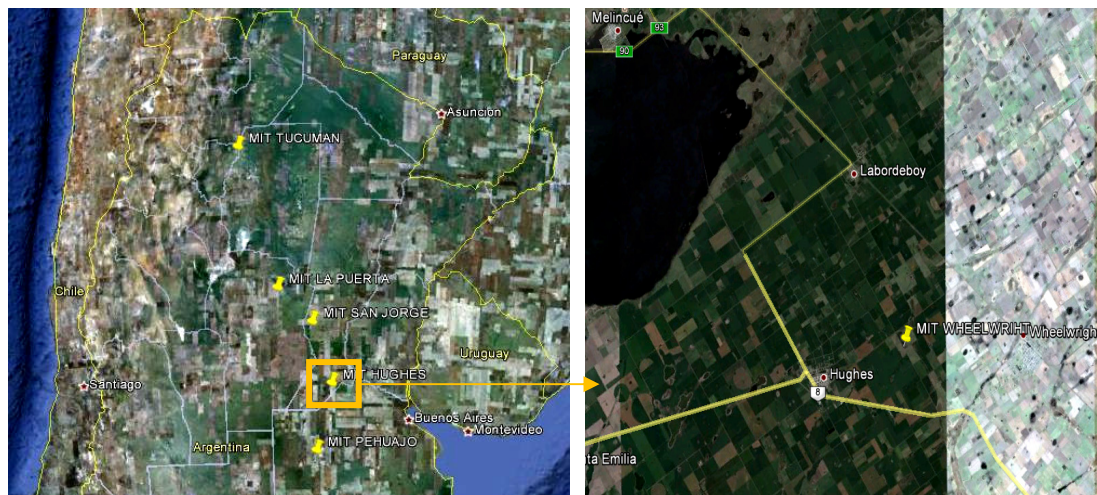


# <sup>1</sup>MIT Wheelwright, Santa Fe

## Ubicación

Coordenadas: 33° 47' 12" Sur, 61° 17' 07" Oeste:



## 1. El ambiente Suelo

Predominan **Argiudoles típicos** de la **serie Hughes** (Hoja 3360-31-1, Carta de Suelos Provincia de Santa Fe). Se trata de suelos de textura franco-limosa, profundos, bien drenados, ubicados generalmente en un paisaje de lomas extendidas, con pendientes que no superan el 1%. Presenta un horizonte argílico Bt de profundidad y espesor variable, aunque generalmente el contenido de arcilla no supera el 35%. La aptitud de estos suelos ha sido catalogada como I-1. La tabla 1 muestra la composición y distribución de los horizontes del perfil representativo de la serie.

**Tabla 1.** Horizontes y composición textural. Serie Hughes. Fuente: Carta de Suelos de la Provincia de Santa Fe. INTA

HORIZONTE	Profundidad muestra	Mat. orgánica	C orgánico	Arcilla < 2μ	Limo 2-50μ	Arena				
						Muy fina 50-100μ	Fina 100-250μ	Media 250-500μ	Gruesa 500-1000μ	Muy gruesa 1-2mm
	cm	%	%	%	%	%	%	%	%	%
A	5-15	3.46	2.01	24.2	63.4	11.6	0.8	0	0	0
BAt	21-33	1.5	0.87	29	56.8	13.2	1.4	0	0	0
Bt1	35-50	0.86	0.5	34.9	52.3	12.4	0.4	0	0	0
Bt2	53-65	0.53	0.5	31.7	52.8	14.9	0.6	0	0	0

<sup>1</sup> Material elaborado por el Ing.Agr. MSC. Rodolfo C. Gil y por el Ing Agr. Guillermo Peralta; enero de 2012

<b>BC</b>	85-95	NA	0.31	26.8	55.6	16.3	1.3	0	0	0
<b>C</b>	145-165	NA	0.1	18.4	62.2	17.7	1.7	0	0	0
<b>Ck</b>	220-240	NA	NA	20.4	51.5	25.7	2.4	0	0	0

Estos suelos presentan una considerable capacidad de almacenaje; el agua útil calculada a partir de las estimaciones de su capacidad de almacenaje (o capacidad de campo) y el punto de marchitamiento alcanza los 160 mm al metro de profundidad (Tabla 4). Por otra parte los contenidos de arcilla del horizonte Bt pueden afectar la conductividad hidráulica en estas capas, aunque las restricciones sean menores a las que presentan otras series de suelo con texturas más finas.

**Tabla 4.** Constantes hídricas y capacidad de almacenaje estimadas para la Serie Hughes. (pcia. de Santa Fe)

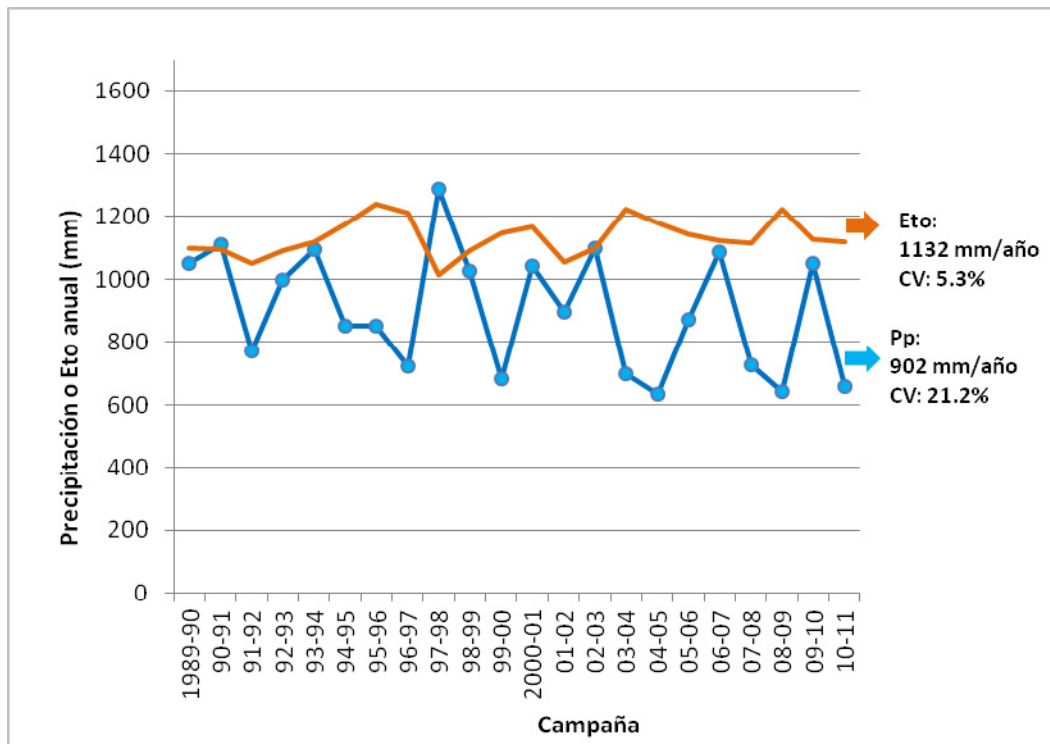
HORIZONTE	Espesor	CC	PMP	AGUA ÚTIL	K sat	K en CC
	cm	(% vol)	(% vol)	mm	mm/h	mm/h
<b>A</b>	0-15	36	17	19	> 23	0.17
<b>BAt</b>	21-33	35	19	16	11	0.12
<b>Bt1</b>	35-50	37	22	15	8	0.08
<b>Bt2</b>	53-65	36	20	16	7	0.11
<b>BC</b>	85-95	33	17	16	7	0.16
<b>C</b>	145-165	29	12	17	10	0.25
<b>Ck</b>	220-240	28	13	15	10	0.26
<b>Agua útil total a 1 metro (mm):</b>				<b>163</b>		
<b>Agua útil total a 1.5 metros (mm):</b>				<b>250</b>		

CC: capacidad de campo; PMP: punto de marchitez permanente, K sat: conductividad hidráulica a saturación, K en CC: conductividad hidráulica insaturada en capacidad de campo.

## El Clima:

### Oferta y demanda de agua

La precipitación media anual ronda los **902 mm**, con un coeficiente de variación interanual del 21% (Fig.1). La “demanda de agua del ambiente”, expresada como evapotranspiración de referencia (FAO-56, Allen et al., 1998), resulta similar a la oferta de agua, con valores que rondan los **1130 mm**, y una variación interanual sensiblemente menor (coeficiente de variación del 5.3%). La oferta de agua en general se mantuvo por debajo de la demanda ambiental en la serie analizada. Para estas estimaciones se consideraron las series climáticas históricas de las campañas agrícolas comprendidas entre 1989 y 2011, a partir de datos de estaciones meteorológicas de la localidad de Venado Tuerto. En casos de datos faltantes de evapotranspiración, se tomaron datos de la localidad de Pergamino (65km).



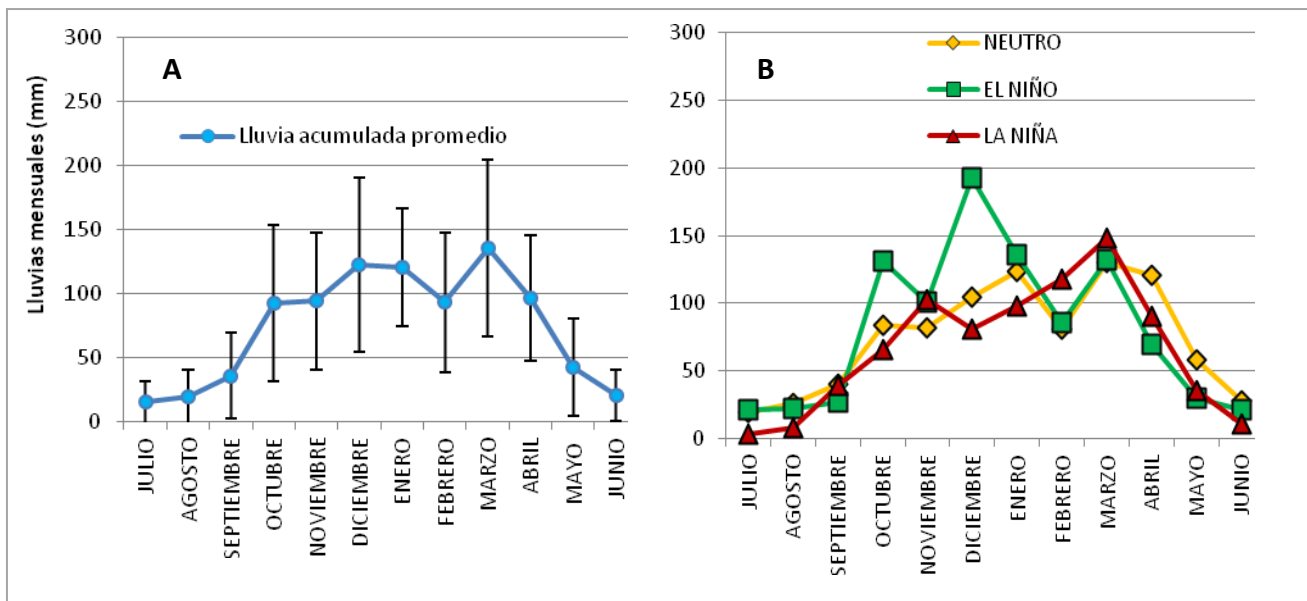
**Fig. 1.** Evolución interanual de las precipitaciones y evapotranspiración de referencia (Eto) para la localidad de Wheelwright, Santa Fe. Valores considerados: julio a junio en cada campaña.

La distribución de lluvias a lo largo del año muestra en el promedio de los años un incremento en las precipitaciones desde el invierno hacia diciembre (Fig. 2a), aumentando nuevamente en marzo. Sin embargo, se observa una importante variación entre años en la distribución de lluvias (barras de error estándar en la Figura 2a). Parte de esta variabilidad puede ser explicada a partir de las diferencias observadas en la oferta y distribución de lluvias entre años “Neutros”, años “Niño”, y años “Niña” (Fig. 2b).

El fenómeno ENSO (El Niño-Oscilación del Sur) es una de las principales fuentes de variabilidad interanual conocidas hasta el momento. Se refiere a cambios en la temperatura sobre la superficie del mar en

la zona este del Pacífico ecuatorial, y está asociado con cambios en los gradientes de presión barométrica y patrones del viento en el Pacífico tropical. Según los cambios en estas variables, pueden presentarse campañas Niña (menores temperaturas del Océano), Niño (temperaturas más cálidas), o Neutro. Estos cambios generan modificaciones en los patrones de lluvias de acuerdo a la región que se estudie. Para el análisis de este fenómeno se consideraron las condiciones del ONI (Oceanic Niño Index) entre los meses de julio y junio de cada campaña, a partir de la base del NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration).

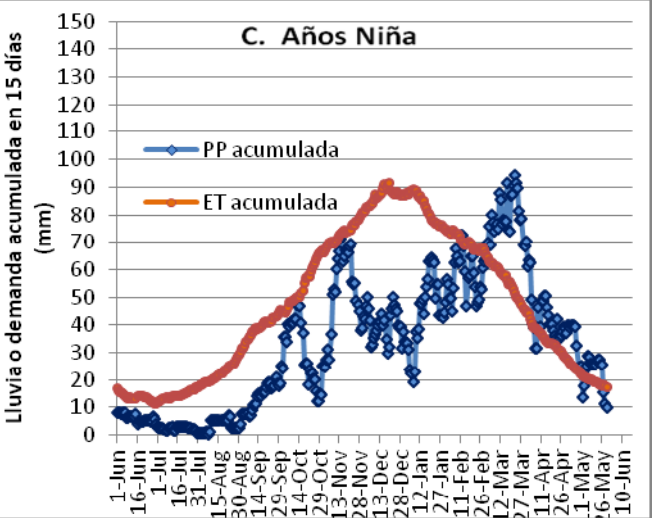
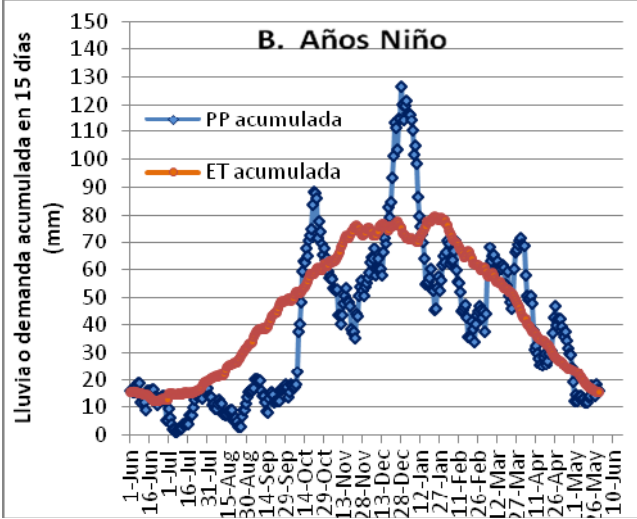
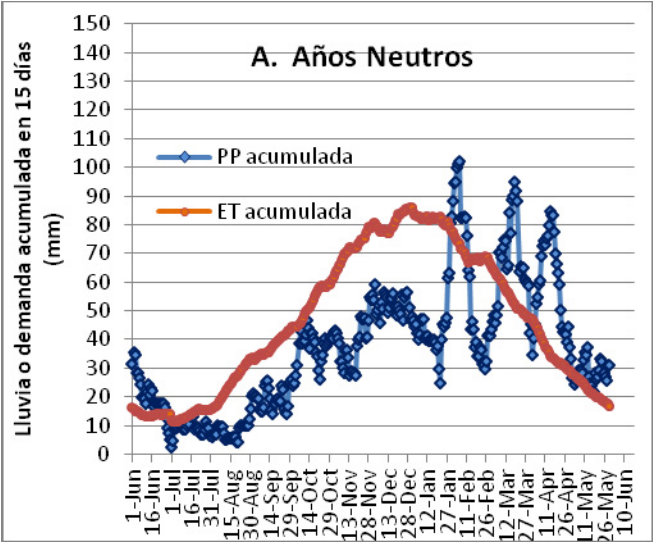
En el caso de Wheelwright, en los años “Niño” las lluvias se “adelantan”, observándose valores por encima del promedio en los meses de octubre y especialmente en diciembre (Fig. 2b.) Los años “Niña” tienden a concentrar las precipitaciones en febrero y marzo, presentando valores por debajo del promedio especialmente en los meses de diciembre y enero, y en menor medida en la recarga otoñal de abril y mayo.



**Fig. 2. A:** Evolución anual promedio de las precipitaciones mensuales para la serie 1989-2011. Las barras muestran el desvío estándar para el período considerado. **2. B:** Evolución anual de las precipitaciones mensuales de acuerdo a las condiciones del fenómeno ENSO. Valores considerados: julio a junio. Wheelwright, Santa Fe.

En una primera aproximación, la relación entre la oferta y demanda de agua a lo largo del año puede ser expresada como la sumatoria de las lluvias o la demanda acumulada en los 15 días anteriores (Fig.3), de modo de poder determinar los momentos en el año de mayor o menor magnitud de déficit hídrico, y analizar luego si es posible “atenuar” estas situaciones de déficit a partir del agua que almacene el suelo. Esta relación entre oferta y demanda de agua varía también de acuerdo a las condiciones del año. En años “Neutros”, desde mediados de octubre la demanda supera a la oferta, hasta fines de enero. Los mayores déficits se registran en las primeras semanas de enero. Posteriormente la oferta hídrica supera a la demanda hasta el invierno, aunque se puede observar cierto déficit a fines de febrero. En años “Niño”, la oferta de lluvias se adelanta, superando a la oferta hacia fines de octubre y principios de noviembre. Durante el mes de diciembre se observa una relación oferta-demanda claramente favorable, y posteriormente la oferta de lluvias acompaña la demanda ambiental. En años “Niña”, se observa un importante déficit estival, desde mediados de noviembre

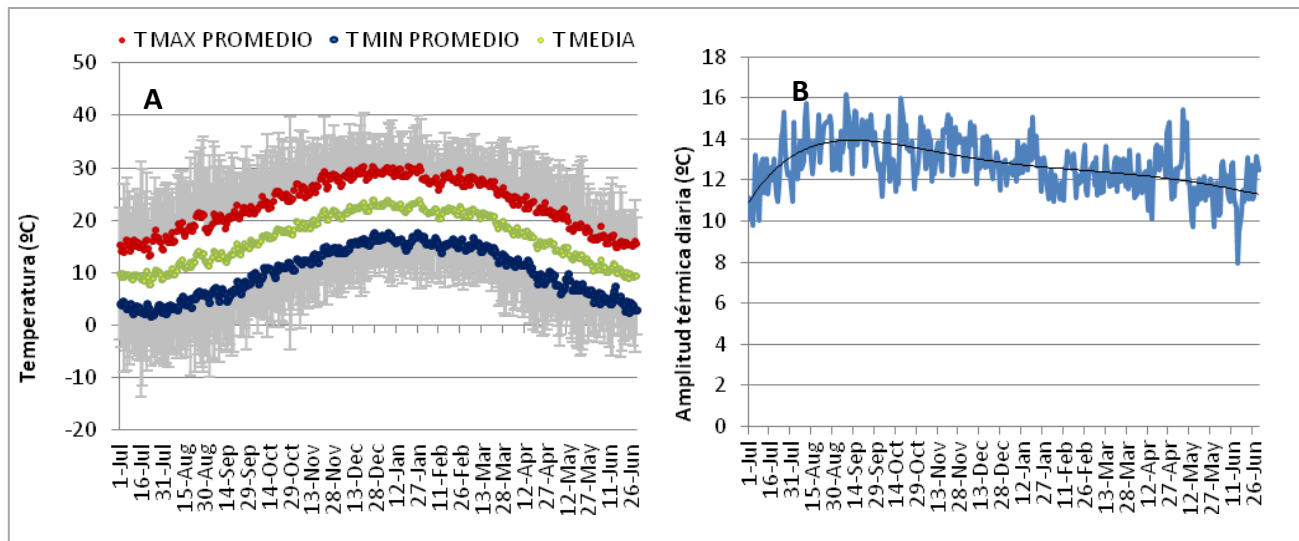
hasta mediados de febrero. Las lluvias se concentran a fines de febrero y marzo, superando ampliamente la demanda.



**Fig. 3.** Relación entre la oferta (precipitaciones) y demanda de agua (Eto) a lo largo del año. Para cada día del año, promedio de los valores acumulados en los 15 días anteriores, para la serie histórica 1989-2011. En condiciones de años Neutros (A), Niño (B) y Niña (C). Wheelwright, Santa Fe.

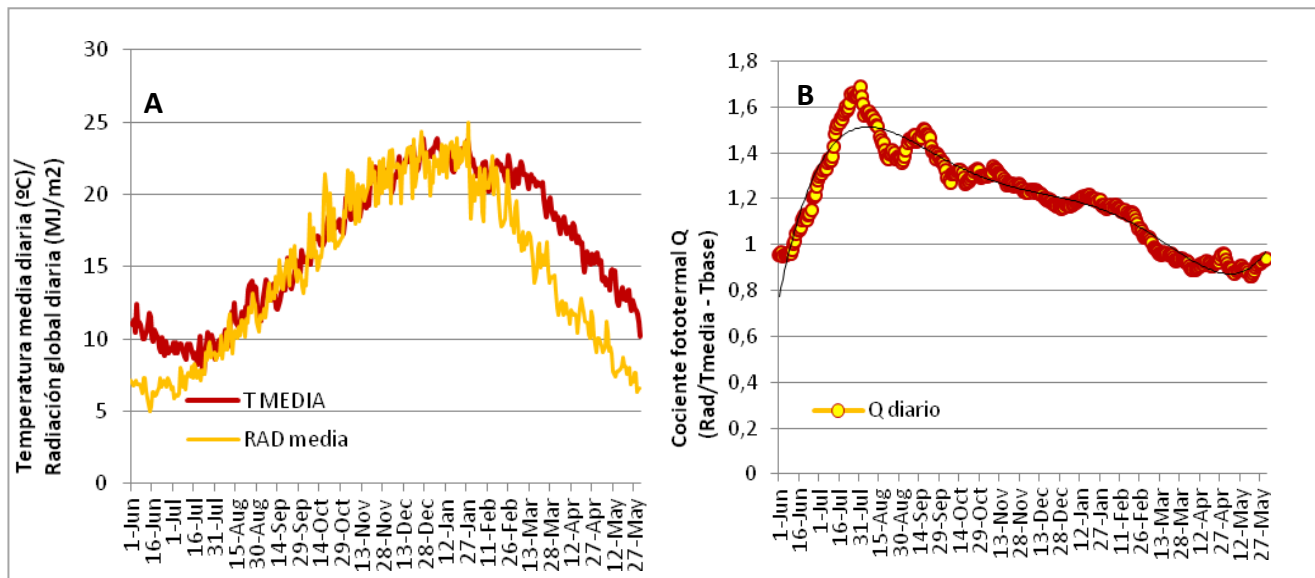
**Temperatura y Radiación**

Los promedios diarios de temperatura (media, máxima y mínima) se encuentran a lo largo del año dentro del rango óptimo de crecimiento de los principales cultivos extensivos (trigo, soja, maíz). La figura 4 a. resume la evolución anual de los valores promedio diarios de temperatura para la serie 1989-2011. La amplitud de temperatura entre el día (máximas) y la noche (mínimas) se mantiene relativamente estable a lo largo del año, aunque se observan mayores amplitudes desde mediados de agosto a mediados de septiembre. Una mayor amplitud térmica resulta favorable para el crecimiento de determinados cultivos. La amplitud térmica diaria anual ronda los 12.7°C. (Fig. 4b).



**Fig. 4. A:** Evolución de las temperaturas media, mínima y máximas diarias, promedio de la serie 1980-2011. Las barras muestran los valores máximos o mínimos registrados en la serie. **B:** Evolución anual de la amplitud térmica diaria (temperatura máxima – temperatura mínima), promedio serie 1989-2011. Wheelwright, Santa Fe

La figura 5 A muestra la evolución anual de la radiación global diaria y la temperatura media. Se observa un desfase entre las curvas de radiación y temperatura a lo largo del año. Este desfase típico entre los picos y mínimos anuales de temperatura y radiación origina una variación entre la relación Radiación/Temperatura a lo largo del año (Fig. 5B). Una relación radiación/temperatura o cociente fototermal Q más elevado resulta favorable para el crecimiento de los cultivos y fijación de granos (Fischer, 1985; Magrin et al., 1993). Los mayores valores de Q se a finales de julio y principios de agosto. Posteriormente, el cociente Q desciende abruptamente hasta alcanzar los menores valores a fines de abril y principios de mayo.

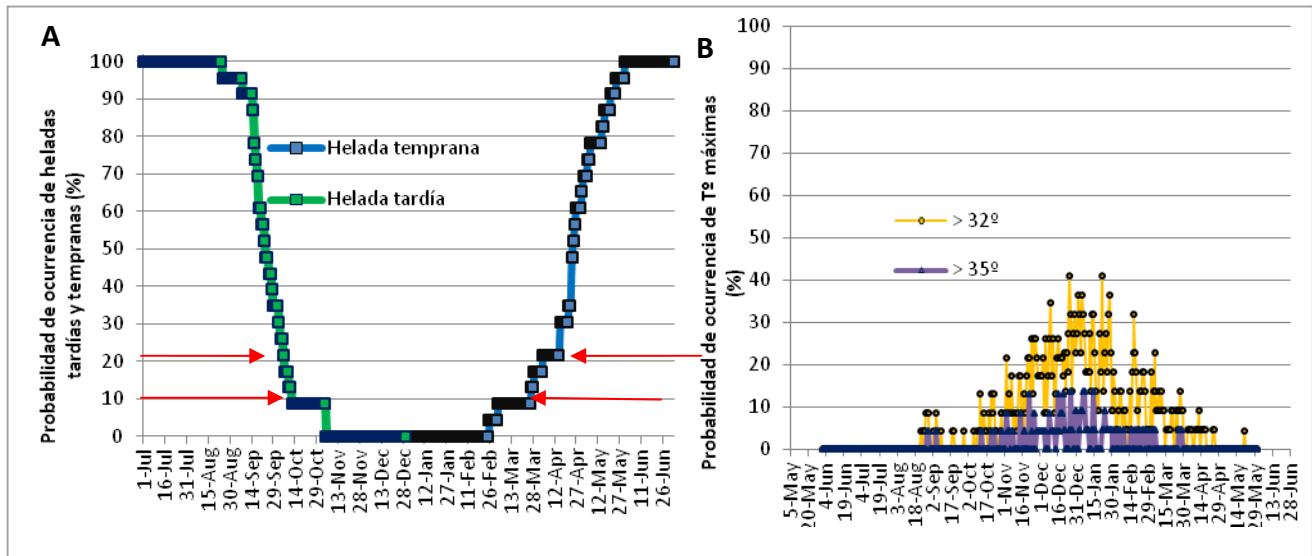


**Fig. 5. A:** Evolución de la temperatura media y radiación global diarias, promedio serie 1980-2011. **B:** Evolución anual del cociente fototermal Q. Promedio serie 1989-2011. Para este coeficiente se consideró una temperatura base de 4°C, y se promediaron los valores de los 10 días anteriores y 10 días posteriores para cada día. Wheelwright, Santa Fe.

### Temperaturas extremas: heladas y golpes de calor

La ocurrencia de temperaturas extremas limita la posible estación de crecimiento de los cultivos a lo largo del año. Esta estación dependerá del riesgo a asumir de probabilidad de ocurrencia de temperaturas sub y supraóptimas, del cultivo, y de los valores de temperaturas fijados. Para los daños por heladas, se consideraron los valores diarios de temperatura mínima a 5cm del suelo menores a 0°C. En casos de datos faltantes, estos valores se estimaron a través de funciones empíricas a partir de la temperatura mínima tomada a 2 metros del suelo. Se estimaron así las fechas de ocurrencia de primera y última helada de cada año de la serie 1980-2011 y se estimaron las probabilidades de ocurrencia de temperaturas menores a 0°C antes o después de una determinada fecha (Fig. 6A). Tomando un riesgo del 10%, la estación de crecimiento o período libre de heladas puede establecerse entre el **11 de octubre y 27 de marzo** (167 días, con riesgo en 1 de cada 10 años,  $P \leq 10\%$ ). Tomando un riesgo mayor (daños 1 de cada 5 años,  $P \leq 20\%$ ) este período puede estimarse entre el 07 de octubre y 04 de abril (179 días).

Para el caso de daños por “golpe de calor” se desarrolló una metodología similar a la publicada por Purcell (2003), considerando la probabilidad de ocurrencia diaria de eventos con temperaturas máximas superiores a los 32 ó 35°C, que pudieran interrumpir el llenado de granos de cultivos invernales como trigo o afectar la floración y cuaje de granos de cultivos estivales como maíz, respectivamente (Fig. 6B). Con un riesgo de hasta el 20 %, la ocurrencia de temperaturas sobre 32°C (que pudieran interrumpir el llenado de grano en trigo por ejemplo) se observa a partir del 21 de noviembre, con picos pronunciados a partir del 10 de diciembre. Las temperaturas superiores a 35°C presentan baja probabilidad de ocurrencia en general, aunque con mayor probabilidad en la segunda quincena de diciembre. Estos períodos resultan entonces riesgosos para el llenado y períodos críticos de los cultivos por altas temperaturas.



**Fig. 6. A y B.** **A:** Probabilidad de ocurrencia de temperaturas menores a 0°C a 5cm del suelo: después de una determinada fecha (heladas tardías) o antes de una determinada fecha (heladas tempranas), para la serie 1989-2011 (Frecuencias acumuladas). **B:** Probabilidad diaria de ocurrencia de temperaturas iguales o superiores a 32 y 35°C (Metodología basada en Purcell, 2003). Wheelwright, Santa Fe.

## 2. Interacción clima-suelo-cultivo:

### Probabilidad de stress hídrico

A partir de la información climática histórica y la información edáfica, se aplicó la metodología analítica desarrollada por Purcell et al. (2003), para estimar la probabilidad de que un cultivo en cobertura completa del suelo atravesase un período de déficit hídrico a lo largo de la posible estación de crecimiento. De acuerdo a esta metodología, los cultivos comienzan a estresarse cuando se ha consumido una determinada proporción del agua útil total del suelo. Esta proporción es variable (Ritchie, 1981; Sadras y Milroy, 1996; Ray y Sinclair, 1998) y depende entre otros factores de la especie, el cultivar, la demanda ambiental y la textura de suelo. Sin embargo, un valor general de 0.5 puede ser aplicado a una gran variedad de cultivos y situaciones (Allen et al., 1998). Es posible entonces estimar el umbral crítico de agua en el suelo (UC, mm), a partir del cual los cultivos comienzan a estresarse, como:

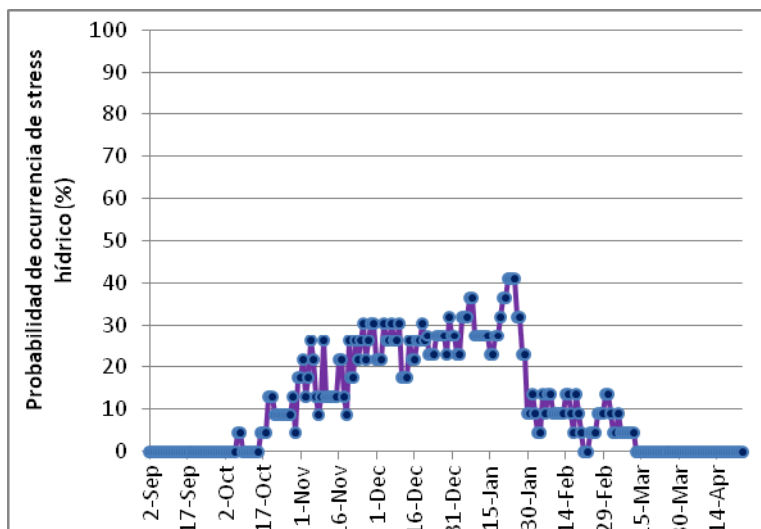
$$UC = AUT \times 0.5$$

[1]



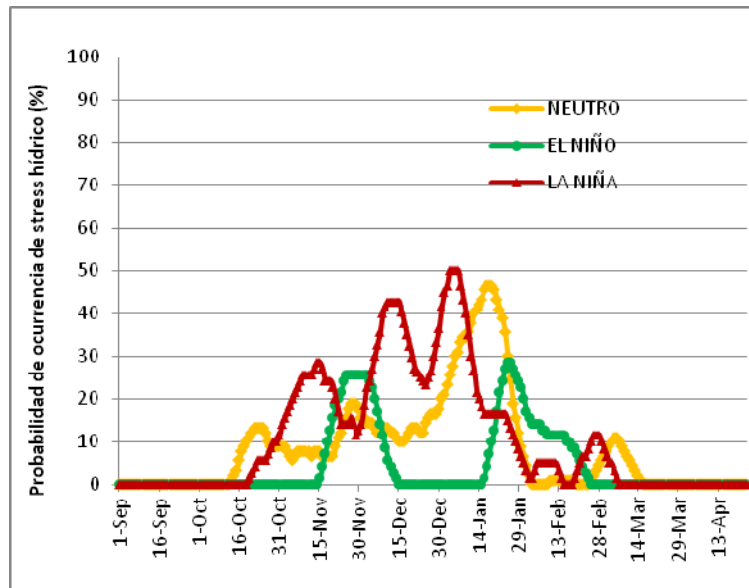
Para cada día del año, es posible entonces calcular la probabilidad de ocurrencia de stress hídrico, a partir del balance entre las lluvias y la evapotranspiración potencial del cultivo acumuladas en los 7, 15 ó 21 días anteriores en cada año de la serie histórica. Cuando el déficit (mm) excede ese UC, se considera que los cultivos comienzan a experimentar stress por falta de agua. De acuerdo a lo propuesto por Purcell et al. (2003), la estación de crecimiento puede dividirse en porciones con  $P \leq 0.20$  ó  $P > 0.20$  (1 de cada 5 años) de que el déficit exceda el UC, de modo de identificar “ventanas” de riesgo para ubicar los períodos críticos de los cultivos. Estos valores dependerán del riesgo que se quiera considerar para la toma de decisiones. La determinación de los valores de P se realizó utilizando funciones de distribución acumulada (Anderson, 1974), generando valores de P acumulados del déficit en 7, 15 y 21 días para cada día del año. Para estimar el ingreso de agua de lluvias, los valores de precipitación diaria fueron transformados en lluvia efectiva a partir de ecuaciones desarrolladas para texturas limosas y franco-limosas (R. Gil, no publicado). El coeficiente de máximo consumo ( $K_c$  cobertura completa) fue homogeneizado entre cultivos, tomando como máximo un  $K_c$  de 1.2 (Andriani, 1997). Los valores de AUT se correspondieron con los expresados en la Tabla 2 (163 mm al metro de profundidad).

La figura 7 muestra la probabilidad de ocurrencia de stress hídrico en suelos de la serie Hughes en Wheelwright, Santa Fe. En líneas generales se observan probabilidades relativamente bajas con respecto a los ambientes de los otros MITS, gracias a la elevada capacidad de almacenaje de los suelos, la oferta hídrica relativamente estable y demanda ambiental moderada. La mayor probabilidad de stress se da en la segunda quincena de enero. Posteriormente los niveles son cercanos al 10% (1 cada 10 años).



**Fig. 7.** Probabilidad de ocurrencia de stress hídrico en suelos serie Hughes, de acuerdo a metodología de Purcell (2003). Balances diarios considerando los 15 días anteriores. Wheelwright, Santa Fe.

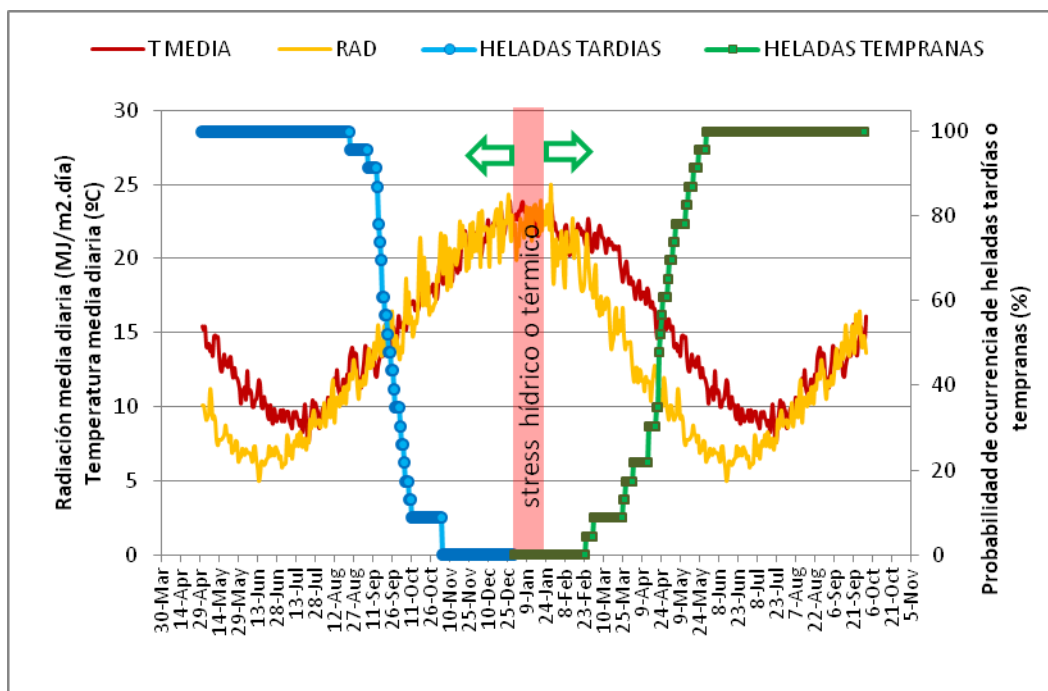
Puede realizarse un análisis similar, pero separando la serie histórica en años “Neutros”, años “Niño” y años “Niña”, y calculando las probabilidades para cada situación del fenómeno ENSO (Fig. 8). El patrón de probabilidad de ocurrencia de stress a lo largo de la estación de crecimiento varía de acuerdo a la fase ENSO. En años “Niño”, las probabilidades de ocurrencia de stress hídrico son relativamente bajas, con mayores probabilidades a fines de noviembre y primera semana de diciembre, y posteriormente a finales de enero. Años neutros presentan mayores probabilidades, concentradas durante el mes de enero (especialmente a mediados de mes). Años “Niña” muestran probabilidades más altas, con picos en la primer quincena de diciembre y primeras semanas de enero.



**Fig. 8.** Probabilidad de ocurrencia de stress hídrico en suelos serie Hughes, de acuerdo a metodología de Purcell (2003), para años Niño, Niña o Neutros. Balances diarios considerando los 15 días anteriores. Wheelwright, Santa Fe.

### Ventanas críticas

Dentro de la estación de crecimiento delimitada por la ocurrencia de heladas, se delimitaron “ventanas” con altas probabilidades de ocurrencia de “golpes” de calor y ventanas con altas probabilidades de ocurrencia de stress hídrico, considerando tanto años neutros como años “Niño” o “Niña”. La ubicación del período crítico para la generación del rendimiento de los cultivos de grano debiera por tanto buscar evitar estos momentos del año (Fig. 9), buscando maximizar las condiciones favorables de radiación y temperatura. Para situaciones particulares de años Niño o Niña, podrán hacerse los ajustes pertinentes, considerando los momentos del año con mayor probabilidad de ocurrencia de stress en cada situación.



**Fig. 9.** Ventanas de riesgo para la ubicación de períodos críticos en suelos serie Hughes, en Wheelwright, Santa Fe

## Bibliografía

- Allen, R., L. Pereira, D. Raes & M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. Rome, Italy.
- Allen, R., L. Pereira, D. Raes, and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. 300 p. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. FAO, Rome, Italy.
- Andriani, J. 1997. Uso del agua y del riego. En: El cultivo de la soja en Argentina. Ed: L. Giorda y H. Baigorri. Córdoba pp 143-150.
- Bianchi, R. A.; Cravero, S.A. Atlas climático digital de la República Argentina. Salta: Ediciones INTA, 2010. 84 p.:il. ISBN 978-987-1623-95-2
- Fischer R.A. 1985. Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. In: J. Agric. Sci., Camb. 105, 447 – 461.
- Magrin G.O., Hall A.J., Baldy CH., Grondona M.O. 1993. Spatial and interannual variations in the photothermal quotient: implications for the potential kernel number of wheat crops in Argentina. Agricultural and Forest Meteorology (67), 29-41.
- Purcell, L.C., T.R. Sinclair, and R.W. McNew. 2003. Drought avoidance assessment for summer annual crops using long-term weather data. Agron. J. 95:1566–1576.

Ray JD, Sinclair TR. The effect of pot size on growth and transpiration of maize and soybean during water deficit stress. *Journal of Experimental Botany*. 1998;49:1381–1386.

Ritchie J.T. 1981. Water dynamics in the soil-plant-atmosphere system. *Plant Soil* 58:81-96

Sadras, V.O., y S.P. Milroy. 1996. Soil-water thresholds for the responses of leaf expansion and gas exchange. *Field Crops Res.* 47: 253-266.

Saxton, K.E. and Rawls, W.J. (2006). Soil water characteristic estimates by texture and organic matter for hydrologic solutions. *Soil Science Society of America Journal*, 70, 1569-1578.