

REFERENCIA:

CRUZ, V.M., GARCIA, L.A.M.,

MANGANDA, R.F. (2009)

XII CONGRESO INTERNACIONAL DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

SIMPOSIUM EN AGRICULTURA SUSTENTABLE

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA E

INSTITUTO DE CIENCIAS AGRÍCOLAS.

RESPUESTA DE LA PRODUCCIÓN DE TRIGO A LAS HORAS FRÍO EN ÁREAS AGRÍCOLAS DEL ESTADO DE SONORA.

Pedro Félix-Valencia¹, J. Eliseo Ortiz-Enríquez¹, José Guadalupe Quitana-Quiróz¹ y Guillermo Fuentes-Dávila¹. ¹Campo Experimental Valle del Yaqui. Norman E. Borlaug Km 12, A. Postal 515, Cd. Obregón, Sonora. Tel. (644)414553. felix.pedro@inifap.gob.mx

Palabras clave: Índice Bioclimáticos, Temperatura del Aire, Sumas Térmicas.

RESUMEN

Se encontró un alto grado de correlación entre el rendimiento y las horas frío (HF), lo cual permite predecir la producción con una confianza del 89%. La relación muestra como base un acumulado de 340 HF para obtener un rendimiento de 4.63 ton/ha, y por cada incremento de 100 HF de este nivel, el rendimiento se incrementa en 330 kilogramos. Especial atención debe ponerse a las fechas de siembra posteriores al 15 de diciembre y para los ciclos donde se prevé baja presencia de horas frío. El pronóstico del rendimiento antes de iniciar siembras, es una buena medida para tratar de aminorar el efecto de las altas temperaturas, aplicando mayor precisión en la tecnología de producción.

ABSTRACT

A high level of correlation was found between grain yield and cold units (CU), which allows predicting yield within a confidence interval of 89%. The relationship shows an accumulated base of 340 CU in order to obtain 4.63 ton/ha, and yield increase is in the order of 330 kg for each 100 CU. Especial attention must focus on planting dates after December 15 and for crop seasons where a low number of cold units is anticipated. Grain yield forecast before sowing is a good measure to try to minimize the effect of high temperatures; this applies precision to the production technology.

INTRODUCCIÓN

Por su posición geográfica, el estado de Sonora muestra un gradiente de sur a norte de condiciones extremas en temperatura y ocurrencia de precipitación, que lo caracteriza como seco y cálido en la mayor parte del año. La oscilación de la temperatura en los meses de otoño e invierno es de -1° a 31°C y de 20° a 42°C durante los meses de verano, de manera que para su agricultura, la temperatura es el factor climatológico mas relacionado con la productividad anual del trigo.

Las variedades de trigo que se cultivan en Sonora, muestran una expresión favorable entre la acumulación bien distribuida de horas frío durante el ciclo de cultivo y el rendimiento de grano. Su respuesta varía con la localización geográfica y el efecto dominante del fenómeno climático anual, el cual es conocido como “La Niña” y “El Niño” o condición fría, neutra o caliente de la temperatura, relacionados históricamente con las variaciones anuales de los rendimientos promedios de trigo en cada distrito de riego. La base de datos disponible del rendimiento y de la temperatura, proporciona la oportunidad de predecir ambos para fines específicos, destacando que su utilidad en la agricultura puede servir para proponer ajustes en el manejo agronómico previo a la siembra en cada nuevo ciclo agrícola.

Existen varias metodologías para valorar la importancia de la temperatura del aire y poder explicar el comportamiento fenológico de los cultivos, entre los que destacan las sumas térmicas (horas calor, horas frío) como índices bioclimáticos, que permiten relacionar el desarrollo de la planta con períodos extremos del clima. Esta metodología simplista de sumas térmicas (Confalone y Navarro, 1999) puede explicar la variabilidad en el desarrollo de la planta hasta en 98% como lo señala Arnold (1959).

El objetivo del estudio por lo tanto es, medir la relación que existe entre la condición fría de la temperatura del aire con la producción media comercial de trigo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó para las localidades agrícolas de los valles del Mayo, Yaqui, Guaymas, costa de Hermosillo y para el área agrícola de San Luis Río Colorado, en el estado de Sonora, México. Se utilizó para el análisis los rendimientos medios comerciales de cada localidad a partir de los ciclos cosechados

del 2004 a 2009, que fueron reportados anualmente por la Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable de Sonora (OEIDRUS) y la información de horas frío que reporta diariamente la red estatal de estaciones climáticas automatizadas de INIFAP-PIEAES-COFUPRO, que puede consultarse en la página www.agroson.org.mx. Se utilizó un diseño en bloques completos al azar considerando las localidades como bloque, utilizando el procedimiento GLM (SAS, 2004). Para cotejar la metodología de cálculo de horas frío se consultaron varias metodologías para valorar la importancia de la temperatura del aire y poder explicar el comportamiento fenológico de los cultivos, entre los que destacan las sumas térmicas (horas calor, horas frío) como índices bioclimáticos, que permiten relacionar el desarrollo de la planta con períodos del clima. Esta metodología simplista de sumas térmicas puede explicar la variabilidad en el desarrollo de la planta hasta en 98% como lo señala en maíz, Arnold (1959). Para este estudio se utilizó el umbral térmico igual o menor a 10°C que registra la estación climatológica durante una hora. La memoria digital de cada estación meteorológica registra lecturas cada 10 minutos y proporciona el dato integrado por hora y por día. Para calcular las horas frío faltantes de la información histórica, se calculó del dato horario de la temperatura mínima y máxima, aplicando la fórmula: $T_{min} > T_b$; $HF=0$ y cuando la $T_{min} < T_b$; $HF = 1 + (T_b - T_{min})$, donde T_b = Temperatura base del cultivo (mínima vital) y T_{min} = temperatura mínima horario.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se muestra un gradiente de horas frío en los meses del año, mientras que en el Cuadro 2 se observan las tendencias anuales del frío en cada ciclo de crecimiento por localidad. Esta información de horas frío presentada en los Cuadros 1 y 2, fue utilizada para cotejar la relación existente con la producción promedio de trigo de los últimos seis años de cada distrito de riego en el estado de Sonora, la cual se muestra en el Cuadro 3.

Cuadro 1. Registro promedio mensual de horas frío del 2004 a 2008.

Región*	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
V. Mayo	173	147	113	38	4	1	1	1	9	4	16	123
V. Yaqui	186	156	117	41	5	1	1	1	2	2	23	152
V. Guaymas	180	99	69	9	1	0	0	0	0	3	9	130
C. Hermosillo	218	203	97	33	3	0	0	0	9	9	51	214
San Luis R.C.	260	191	113	33	2	0	0	0	0	9	72	271

*Información de la red de estaciones climatológicas de INIFAP-COFUPRO-PIEAES, instaladas en diferentes distritos de riego.

Cuadro 2. Total de horas frío acumuladas durante el período de noviembre al mes de abril de cada ciclo agrícola.

Ciclo Agrícola	Valle del Mayo	Valle del Yaqui	Valle de Guaymas	Costa de Hermosillo	San Luis R.C.
2004-05	500	619	--	773	--
2005-06	792	828	381	884	1078
2006-07	788	817	635	948	1059
2007-08	843	916	700	942	1077
2008-09	575	648	427	785	968
Promedio	700	766	536	866	1045

Cuadro 3. Rendimiento (ton/ha) promedio comercial registrado en las zonas productoras de trigo en Sonora.

Ciclo	Valle del Mayo	Valle del Yaqui	Valle de Guaymas	Costa de Hermosillo	San Luis R.C.
2003-04	5.000	4.900	5.000	6.000	6.500
2004-05	5.200	5.451	4.318	5.800	5.936
2005-06	6.000	6.166	4.200	6.145	6.812
2006-07	6.100	6.251	4.313	6.214	6.184
2007-08	6.100	6.077	4.767	6.286	6.757
2008-09	5.620	5.685	4.835	6.000	6.070
Prom.	5.670	5.755	4.572	6.074	6.376

Fuente: OEIDRUS-SAGARPA.

De manera general, las condiciones de temperatura mas apropiadas para todas las localidades inician el 15 de noviembre y terminan el 15 de abril. Las diferencias de frío que se muestran entre localidades al inicio del ciclo puede ser importante para definir con mayor precisión el inicio de la siembra y la variedad a emplear.

De acuerdo con el Cuadro 2 y la Figura 1, la zona agrícola con menor aptitud para la producción de trigo es el valle de Guaymas, donde anualmente se siembra un promedio de 2,655 hectáreas (últimos 6 años) con un rendimiento medio de 4.6 ton/ha. La baja acumulación de frío del mes de febrero y el registro frecuente de altas temperaturas puede ser una de las causas del bajo rendimiento medio de esta región.

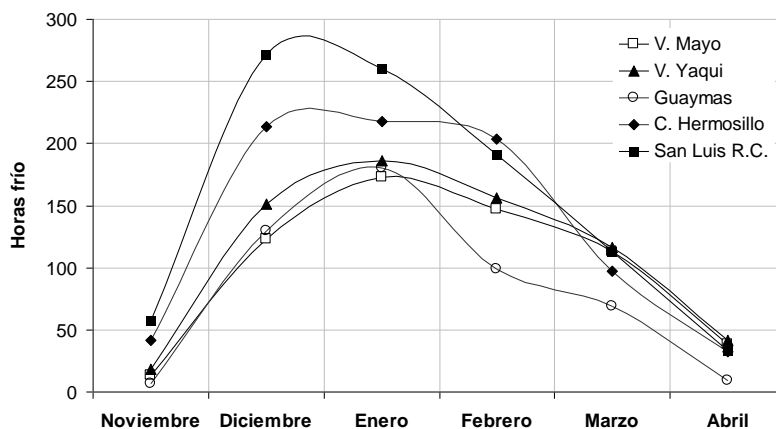


Figura 1. Expresión mensual de las horas frío por distrito de riego (período de siembra a madurez fisiológica del trigo; promedio de los ciclos cosechados en 2004 a 2009).

Para el máximo aprovechamiento del período de frío en el área agrícola de Guaymas, la siembra deberá realizarse en un lapso mas corto de tiempo; entre el 20 de noviembre al 10 de diciembre. Otra opción es la utilización de variedades de trigo con un ciclo 10 a 15 días mas corto que las variedades usadas actualmente.

El valle del Mayo muestra menor acumulación de frío durante el ciclo de trigo que el valle del Yaqui, con una diferencia menor de 66 HF, siendo más evidente en el mes de diciembre. Los registros históricos de la temperatura máxima del aire muestran que la zona del valle del Mayo es 1°C menor que el área del valle del Yaqui (Félix et al., 2008). Esta diferencia de temperatura favorable para la zona agrícola del valle

del mayo, disminuye el riesgo por oscilación térmica, ventaja que se manifiesta, en las unidades de producción con mayor acercamiento costero.

Las zonas de producción de trigo de la costa de Hermosillo y de San Luis R.C., son las que muestran mayor cantidad de horas frío, relacionado fuertemente con mayores volúmenes en la producción unitaria de trigo. En comparación a la zona sur del Estado, la costa de Hermosillo muestra un potencial mayor a 300 kilos por hectárea en su rendimiento medio, mientras que la región de San Luis R.C. se cosecha un promedio de 700 kilos de grano más por hectárea (Cuadro 3).

-Relación de las horas frío con el rendimiento

El estudio permite medir la relación del rendimiento con las horas frío, en un perfil climatológico ubicado geográficamente entre los paralelos 26°48'00" a 32°12'00" de Latitud Norte, y los 109°42'00" a 114°59'30" de Longitud Oeste.

Como resultado de este análisis, la Figura 2 muestra un alto grado de correlación entre el rendimiento y las horas frío (HF), lo cual permite predecir el rendimiento con una confianza del 89%. La relación muestra como base un acumulado de 340 HF para obtener un rendimiento de 4.63 ton/ha, y por cada incremento de 100 HF de este nivel, el rendimiento se incrementa en 330 kilogramos.

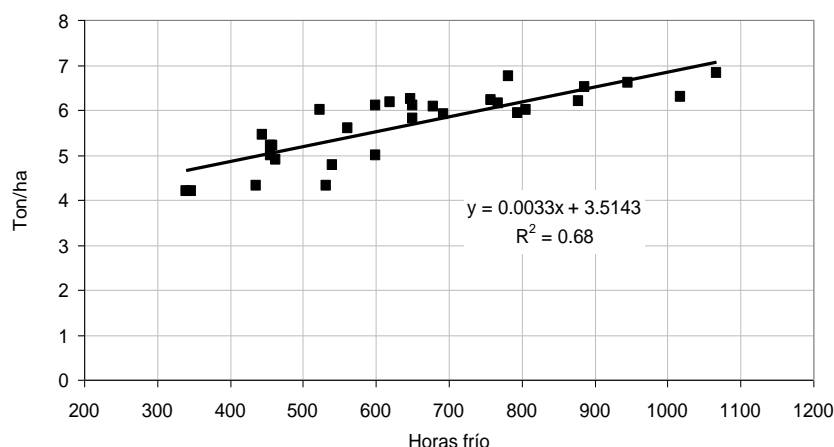


Figura 2. Expresión del rendimiento comercial con base en las horas frío, en los distritos de riego: Valles del Mayo, Yaqui y Guaymas, costa de Hermosillo y San Luis R.C., durante los ciclos agrícolas 2004-05 a 2008-09.

Los rendimientos a nivel parcelario muestran una variación amplia como respuesta al manejo que decide el agricultor, desde parcelas donde se obtienen rendimientos menores a las 4.63 t/ha, hasta parcelas donde el agricultor obtiene rendimientos mayores de 7 t/ha.

La variación del rendimiento parcelario está determinado por varios factores, siendo los más destacados; la fecha de siembra, riegos oportuno y suficiente, deficiencias nutricionales, salinidad, tipos de suelo, control oportuno de plagas y malezas. En su conjunto, la destreza del productor para manejar con oportunidad éstos factores de variación del rendimiento, hacen posible la expresión de rendimientos de 8.5 ton/ha en años fríos en el sur del Estado y rendimientos mayores a las 9 ton/ha en el norte de Sonora.

-Relación de las horas frío con el crecimiento de la planta de trigo

El conocimiento sobre el desarrollo de la planta de trigo es importante para adecuar las decisiones de manejo y el uso de insumos en las diferentes etapas de crecimiento. Desde el punto de vista de clima, todas las etapas fenológicas del trigo son sensibles a la oscilación de la temperatura del aire. Su efecto extremo es irreversible cuando daña los tejidos; cuando su efecto es moderado, entre los límites

tolerantes, se manifiesta controlando los períodos fenológicos de la planta y como consecuencia generando resultados variables en la producción.

Es importante distinguir la relación que guarda el desarrollo de la planta con las horas calor y con las horas frío. Las horas calor definen las etapas de crecimiento como una constante térmica (Pascale y Damario, 2004), es decir, al cumplirse un número determinado de horas calor, la planta cambia de etapa fenológica, independientemente de la fecha de siembra y de la localidad. Cuando el año es cálido, rápidamente se completan las horas calor necesario de cada etapa fenológica, acortando así la duración del ciclo biológico del trigo.

Las horas frío por el contrario, alargan los períodos fenológicos, proporcionando condiciones que reducen la velocidad con que se llevan a cabo los procesos fisiológicos y consecuentemente retardan el crecimiento. La experiencia indica que en años fríos el ciclo biológico del trigo se alarga, y por lo general se genera un mayor rendimiento de grano. Lo mismo sucede en fechas de siembra alrededor del primero de diciembre.

La información que se ha obtenido en los ensayos de rendimiento en fechas de siembra que se establecen en el Campo Experimental Valle del Yaqui, y en parcelas comerciales de trigo en diferentes distritos de producción en Sonora, han sido base para determinar las horas térmicas relacionados con el crecimiento y el rendimiento potencial de trigo. Para tener una idea de esta variación por fecha de siembra se presenta a continuación en los Cuadros 4 y 5.

Cuadro 4. Suma de horas térmicas al inicio de cada etapa fenológica durante el ciclo agrícola 2008-09.

Fecha de siembra	Yemas corona raíz		Primer nudo		Hoja bandera		Madurez fisiológica	
	HC	HF	HC	HF	HC	HF	HC	HF
17/11/08	219	7	352	34	515	202	919	415
01/12/08	152	19	384	135	506	302	845	439
15/12/08	106	44	302	191	488	384	807	475
02/01/09	130	117	279	244	482	322	793	417

HC= Horas calor; HF= Horas frío.

Cuadro 5. Horas térmicas acumuladas por etapa fenológica.

Fecha de siembra	Plántula		Amacollo		Encañe		Llenado Grano	
	HC	HF	HC	HF	HC	HF	HC	HF
17/11/08	209	7	144	27	163	168	403	213
01/12/08	142	19	142	116	223	167	339	137
15/12/08	100	44	202	147	186	193	319	91
02/01/09	120	117	159	127	204	78	311	95

HC= Horas calor; HF= Horas frío.

La tasa de crecimiento del amacollamiento muestra una cobertura vegetal del 30% cuando se han acumulado 150 horas frío, en un ciclo frío (2007-08), mientras que para la misma fecha de siembra en un ciclo cálido (2008-09), la cobertura vegetal fue de 17% con sólo 30 horas frío y un acumulado similar de 140 horas calor en ambos ciclos de siembra. El período de amacollamiento puede durar en condiciones de estrés por calor de 15 a 20 días con una escasa acumulación de 30 horas frío, mientras que el período puede alargarse de 30 a 35 días con un acumulado de 150 horas frío o más. Si la etapa de amacollamiento se acelera, como lo ocurrido en el ciclo agrícola 2008-09 para siembras tempranas, los macollos no completan su desarrollo y aunque exista frío suficiente en etapas posteriores, el daño

ocasionado por el estrés de calor es irreversible, lo cual se manifiesta en una reducción del rendimiento unitario.

El tallo se alarga a una velocidad de 1.8 cm/día al igual que la espiguilla, y su estructura se desarrolla rápidamente. El período puede durar 23 días con un acumulado cercano a 80 horas frío, o alargarse por más de 30 días cuando las condiciones de frío superan las 170 horas, según se describe en el Cuadro 5.

La etapa de crecimiento del trigo en el mes de enero (fin de amacollo a encañe) puede resistir temperaturas de 0°C sin afectar la producción. Sin embargo, este nivel puede afectar la etapa de floración y llenado del grano durante febrero, siendo más riesgoso para siembras tempranas del trigo, principalmente en la costa de Hermosillo y región de San Luis R.C. El riesgo de daño por frío en la planta de trigo es factible si se presentan heladas en el mes de febrero. Las heladas que se presentan son de baja frecuencia e intensidad causando daños imperceptibles al trigo. La frecuencia de heladas se incrementa hacia la parte noroeste del Estado.

La etapa de desarrollo de la planta de trigo más sensible a heladas, es durante la emergencia de la espiga y hasta el estado lechoso del grano. Si se presenta una helada, sólo se dañara la fracción de espiguillas expuestas al aire. Si la espiga ha emergido totalmente, se dañará la fracción que esté en crecimiento activo y posteriormente se detectarán espacios vacíos en las espiguillas. Si el grano se encuentra en la etapa inicial de desarrollo, se deshidrata y se desprende de su base. La identificación puede realizarse cinco días después de registrarse la helada. También se puede presentar esterilidad de flores y daños durante la fase inicial del llenado del grano, cuando se está expuesto a varios días consecutivos de temperaturas nocturnas menores de 5°C. Dos o más períodos consecutivos expuestos a este nivel de temperatura pueden tener consecuencias graves sobre el rendimiento.

-Distribución espacial de las horas frío

La dinámica de la temperatura que muestran las estaciones climáticas, señalan zonas compactas con diferente intensidad en horas frío. El patrón de distribución y la escala de horas frío que muestran, permite al agricultor ubicar su predio y relacionarlo con el potencial de horas frío acumulable en su área de siembra. Esta información la puede utilizar para decidir su fecha óptima de siembra en base a la variedad que va a utilizar, considerando su ciclo biológico desde la siembra hasta la madurez fisiológica. Si se desea aprovechar el potencial del clima, los registros que oscilan entre los 800 a 570 HF desde inicio al cierre del ciclo, permite hacer una adecuada planeación de la fecha de siembra.

También, en base al potencial de frío que muestran estas áreas, puede calcular el riesgo y programar el manejo del cultivo acorde con el efecto climático, con el fin de tratar de obtener el máximo rendimiento. En base a las necesidades de frío requeridas en las diferentes etapas fenológicas del trigo, el agricultor podría también optar por sembrar otros cultivos menos exigentes de horas frío, como se muestra para la zona Este de Huatabampo, la zona Noreste del valle del Yaqui y sur de la región de Guaymas.

Los productores que están ubicados las zonas con mayor potencial para acumular horas frío, tienen la oportunidad de extender su período de siembra dentro del rango recomendado, con la posibilidad de obtener altos rendimientos aún sembrando al final del período de siembra recomendado. En un ciclo cálido, es preferible sembrar cultivos de ciclo mas corto que trigo, principalmente en las zonas de baja manifestación de horas frío.

CONCLUSIONES

Es concluyente, a partir de la información disponible, que el potencial de rendimiento del trigo que se expresa en los cinco distritos de desarrollo rural en el estado de Sonora, esta fuertemente relacionado a las condiciones de temperatura fría que prevalecen durante el ciclo de cultivo. El agricultor puede dar seguimiento de las horas frío que registran las estaciones climatológicas cercanas a su predio para planear la mejor fecha de siembra de trigo.

LITERATURA CITADA

- Arnold, C.Y. 1959. The determination and significance of the base temperature in a linear heat unit system. *Proceeding of the American Society of Horticultural Science* 74:430-445.
- Confalone, A.E. y Navarro. D.M. 1999. Comparación de modelos de tiempo térmico para maíz. Comparison of corn thermal time models. *Revista Brasileira de Agrometeorología, Santa María* 7(2):207-211
- Félix, V.P., Ortiz, E.J.E., Fuentes, D.G., Quintana, Q.J.G. y Grajeda, G.J. 2009. Horas frío en relación al rendimiento de trigo. Áreas de producción del estado de sonora. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Folleto Técnico No. 63. p.40. ISBN 978-607-425-159-3
- Pascale, A.J. y Damario, E.A. 2004. *Bioclimatología Agrícola y Agroclimatología*. Ed. Fac. Agronomía. UBA, Buenos Aires, Argentina.