

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

**EFECTO DE LA ÉPOCA DE SIEMBRA SOBRE EL
RENDIMIENTO EN TRIGO. RELEVAMIENTO DE CHACRAS
DEL LITORAL OESTE**

por

**Wilson LACLAÚ
Pablo RODRÍGUEZ**

**TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo.**

MONTEVIDEO

URUGUAY

2012

Tesis aprobada por:

Director: -----

Ing. Agr. Oswaldo Ernst

Ing. Agr. Sebastián Mazzilli

Ing. Agr. Esteban Hoffman

Fecha: 26 de diciembre de 2012

Autor: -----

Wilson Daniel Laclau Martínez

Pablo Andrés Rodríguez Tejera

AGRADECIMIENTOS

A nuestro director de tesis, Ing. Agr. Oswaldo Ernst, por darnos la oportunidad de realizar este trabajo, por su gran disposición y comprensión para que esta tesis fuera posible.

A los integrantes del tribunal Ing. Agr. Oswaldo Ernst, Ing. Agr. Sebastián Mazzilli e Ing. Agr. Esteban Hoffman por su colaboración, a aquellos integrantes de Biblioteca de la facultad que nos asistieron en la estructuración de la tesis, al personal de la EMMAC por permitirnos usar sus instalaciones para la realización de esta tesis.

Por último, agradecer muy especialmente a nuestras familias y amigos por su colaboración e incondicional apoyo a lo largo de la carrera.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	2
2.1. <u>ÉPOCA DE SIEMBRA</u>	2
2.1.1. <u>Temperatura</u>	5
2.1.2. <u>Rendimiento y el coeficiente fototérmico</u>	8
2.1.3. <u>Estrés hídrico</u>	9
2.1.4. <u>Cuantificación de la época de siembra sobre el rendimiento</u>	11
2.1.5. <u>Zonas agroclimáticas para la producción de trigo</u>	12
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	14
3.1. <u>CARACTERÍSTICAS GENERALES</u>	14
3.2. <u>ANÁLISIS ESTADÍSTICO</u>	16
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	17
4.1. <u>CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DE LOS AÑOS EN ESTUDIO</u>	17
4.1.1. <u>Temperatura</u>	17
4.1.2. <u>Coeficiente fototermal</u>	18
4.1.3. <u>Precipitaciones</u>	20
4.2. <u>ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS DE LA FECHA DE SIEMBRA Y SU EFECTO SOBRE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS MEDIAS CONSIDERANDO EL DESARROLLO FENOLÓGICO DEL TRIGO</u>	22
4.2.1. <u>Día de siembra</u>	23
4.2.2. <u>Distribución del período de floración del trigo</u>	25
4.2.3. <u>Ciclo emergencia-floración</u>	27
4.2.4. <u>Temperatura media emergencia-floración</u>	28
4.2.5. <u>Precipitaciones entre emergencia-floración</u>	30
4.2.6. <u>Precipitaciones durante el periodo crítico de determinación del rendimiento de trigo</u>	31
4.2.7. <u>Coeficiente fototermal (Q) durante el periodo crítico de definición del rendimiento de trigo</u>	33
4.2.8. <u>Temperatura media del periodo del llenado de grano</u>	35
4.2.9. <u>Precipitaciones durante el llenado de grano</u>	36

4.2.10. <u>Descripción de la variabilidad de rendimiento del trigo</u>	38
4.2.10.1. Rendimiento según época de siembra.....	40
4.3. <u>ANÁLISIS DE LAS VARIABLES</u>	41
4.3.1. <u>Árbol de clasificación y regresión</u>	41
4.3.2. <u>Temperatura media en llenado de grano</u>	45
4.3.2.1. Fechas de siembra óptima.....	49
4.4. <u>REGRESIÓN LINEAL</u>	53
4.4.1. <u>Análisis</u>	53
4.4.1.1. Rendimiento.....	55
5. <u>CONCLUSIONES</u>	58
6. <u>RESUMEN</u>	59
7. <u>SUMMARY</u>	60
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	61
9. <u>APÉNDICES</u>	66

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Resumen descriptivo de las variables en estudio...	22
2. Análisis de varianza para las medias de día de siembra	24
3. Días de emergencia-floración según ciclo del cultivar.....	27
4. Análisis de varianza de las temperaturas medias durante la emergencia-floración según localidad..	29
5. Análisis de varianza de rendimiento según año	38
6. Rangos de floración optimo según temperatura durante el llenado de grano por localidad	46
7. Número de heladas y probabilidad según mes.....	47
8. Rendimiento medio según mes de floración y localidad.....	47
9. Días de siembra para las chacras que florecieron dentro de las fechas optimas para las temperaturas de 15.4 a 19.1 °C	49
10. Días de siembra para las chacras que florecieron dentro de las fechas optimas para las temperaturas de 18-20 °C	50

11. Fecha de siembra por localidad y ciclo.....	51
12. Rendimiento (kg/ha) medio según fecha de siembra, ciclo del cultivo y localidad, para la temperatura de 15.4 a 19.1 °C durante el llenado de grano.....	51
13. Numero de chacras dentro de temperatura de llenado de grano (15.4-19.1 °C) según ciclo del cultivo, fecha de siembra y localidad.....	52
14. Variables independientes consideradas para el desarrollo del modelo.....	53
15. Salida de regresión lineal	53
16. Coeficientes de regresión y estadísticos asociados.....	54

Figura No.

1. Regionalización agroclimática para trigo (Corsi W., 1982)	13
2. Ubicación de las chacras en estudio	15
3. Temperatura media (°C) mensual según localidad y año, para los años 2004 a 2009, para los Departamentos de Colonia, Paysandú y Soriano. (Elaborado a partir de Estación Meteorológica de Mercedes, Estación Experimental INIA y Estación Experimental “Dr., Mario A. Cassinoni” ..	18
4. Valores promedios de coeficiente fototermal mensuales según localidad y año, para los años 2004 a 2009, para los Departamentos de	

Colonia, Paysandú y Soriano. (Elaborado a partir de Estación Meteorológica de Mercedes, Estación Experimental INIA y Estación Experimental “Dr. Mario A. Cassiononi”).....	19
5. Precipitaciones (mm) mensual según localidad y año, para los años 2004 a 2009, para los Departamentos de Colonia, Paysandú y Soriano. (Elaborado a partir de Estación Meteorológica de Mercedes, Estación Experimental INIA y Estación Experimental “Dr. Mario A. Cassinoni) ...	21
6. Distribución del día de siembra según año	23
7. Frecuencia acumulada de siembra por década según año	25
8. Distribución de los días de floración según año.....	26
9. Frecuencia relativa de floración por década y año .	27
10. Distribución de los días de emergencia-floración según año	28
11. Distribución de las temperaturas medias en emergencia-floración según localidad y año.....	29
12. Precipitaciones emergencia-floración según año .	30
13. Distribución de las precipitaciones emergencia-floración según localidad y año.....	31
14. Distribución de las precipitaciones en el periodo crítico según localidad y año.....	32

15. Distribución de los valores Q en el periodo crítico según año	34
16. Distribución de los valores del coeficiente fototermal (Q) en el periodo crítico según año y localidad.....	34
17. Temperatura media durante el llenado de grano según año y localidad	35
18. Distribución de las precipitaciones durante el llenado de grano según año.....	35
19. Análisis de varianza de las precipitaciones durante el llenado de grano según interacción año por localidad.....	37
20. Distribución normal de los rendimientos de chacra de trigo según año.....	38
21. Distribución de los rendimientos según localidad .	39
22. Rendimiento medio (kg/ha) según día de siembra por localidad.....	40
23. Árbol de clasificación y regresión de rendimiento de trigo y las variables ambientales y de manejo..	42
24. Evolución de la temperatura promedio móvil de los próximos 30 días por localidad y rango óptimos de temperatura para el período de llenado de grano	45
25. Rendimiento medio según día de floración.....	48

26. Impacto de las variables climáticas y de localidad sobre los rendimientos estimados por el modelo..	55
27. Porcentaje de chacras por localidad según variables.....	56

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de trigo ha sido, y lo es en la actualidad, uno de los principales cereales producidos en el Uruguay, e históricamente ha dominado el área de siembra de cultivos de invierno.

La importancia del trigo está dada fundamentalmente porque luego de su producción continúan etapas de elaboración que tienen por producto final alimentos para el consumo humano, los cuales han tenido un papel fundamental en la economía nacional abasteciendo de alimentos básicos a la población (Scarlatto, 1985).

En lo que se refiere a comercio exterior, durante la década del 90 la producción de trigo supero en varios años el consumo doméstico permitiendo el acceso sostenido a mercados internacionales. Registrándose el record históricos de exportaciones en la zafra 2011/12 con un volumen situado en torno a 1,9 millones de toneladas, lo que determino ingresos por 388 millones de dólares.

En el presente trabajo se estudia el efecto de la época de siembra sobre el rendimiento de grano a partir de registros de chacras de productores de trigo de los Departamentos de Colonia, Soriano, Río Negro y Paysandú.

- Cuantificar el efecto de la época de siembra sobre los rendimientos, en diferentes localidades y año.
- Determinar las condiciones climáticas que explican el efecto época de siembra.
- Proponer rangos de fechas de siembras que permitan coordinar los requerimientos de ambiente del cultivo en las etapas críticas de definición del rendimiento con la oferta climática de regiones trigueras del litoral oeste de Uruguay.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 ÉPOCA DE SIEMBRA

La época normal de siembra para trigo es la que en la media de los años, produce los mayores rendimientos y el menor coeficiente de variación (Gonnet y De León, 1978).

La fecha de siembra óptima es aquella que produce los más altos rendimientos dentro de las limitaciones locales. Usualmente se calcula por medio de una cuenta regresiva desde el momento de la anthesis. Una vez que se haya determinado la mejor fecha de siembra, cualquier demora en la misma reducirá el rendimiento. La pérdida de rendimiento será por lo general mayor en las regiones más calurosas (Rawson y Gómez, citados por Solís et al., 2008).

La estrategia de disminución del riesgo de ocurrencia de bajo rendimiento parece estar asociada, entre otros factores, a la eliminación de las fechas de siembra tardías, en las que es poco probable obtener rendimientos de trigo mayores a 5000 kg.ha⁻¹ de grano, y es máxima la posibilidad de obtener rendimientos menores a 3000 kg.ha⁻¹. Esta tendencia a limitar los rendimientos máximos comienza a partir de la segunda década de junio. En tanto entre la primera década de mayo y la segunda de junio, sería el rango de fecha de siembra en el cual se alcanza la mayor proporción de chacras de rendimientos mayores a 5000 kg.ha⁻¹. En función de esta información, la concentración de la siembra en mayo resulta lógica, porque ubica la mayoría del área sembrada dentro del rango de fecha de menor riesgo y mayor oportunidad de altos rendimientos (Hoffman y Castro, 2012a).

Según Verges (2003) un punto muy importante en el éxito de cualquier variedad es que el cultivo reciba el manejo adecuado a sus necesidades o características. Dentro de esto, la época de siembra es una de las medidas de manejo que mayor impacto puede tener en el resultado final.

Fechas de siembra óptimas promueven alta germinación de la semilla, plantas fuertes, sistema radicular vigoroso, favorecen el macollamiento, reducen el vuelco e incrementan el número y el peso del grano (Musick y Dusec, citados por Solís et al., 2008).

Por otro lado, la época de siembra a través de las variables climáticas (especialmente exceso hídrico en los meses de octubre y noviembre), inciden en los porcentajes de las enfermedades (manchas de hojas y royas), por lo tanto es una técnica de manejo que sirve como forma de escape a las mismas,

y sería entonces otra herramienta importante para lograr un aumento de la producción de trigo (Barbé y Guido, 1987).

En Oregon (EEUU) se observó una época de siembra óptima en trigo pan y atrasándola o adelantándola el rendimiento de grano disminuyó. El grado de declinación dependió de las condiciones ambientales del año y los genotipos seleccionados (Chen et al., citados por Fernández, 2008a).

La variación en la época de siembra en trigo determina cambios sustanciales en el ambiente que explorará el cultivo lo cual modifica la duración de los eventos fenológicos y la capacidad de captura de radiación, determinando la producción de biomasa y consecuentemente el rendimiento de grano (Otegui y López, citados por Fernández, 2008b).

Tanto el genotipo como el ambiente pueden ser factores limitantes para alcanzar los potenciales de los cultivos de trigo y cebada. Ambos factores modifican los procesos fisiológicos que determinan los componentes del rendimiento y el rendimiento final en grano (Viega et al., citados por Castro et al., 2011).

En algunas fases de desarrollo, la planta tiene demanda especiales, como ser temperatura y humedad, y en esas fases se reconocen “periodos críticos”, los que han sido definidos como periodos del ciclo de vida de la planta, durante el cual la correlación entre condiciones externas, y rendimiento es más alta (Travella et al., 1978). Fisher (1985) definió como 20 días pre-floración y 10 días post-floración al período crítico en trigo.

La duración de las distintas etapas ontogenéticas del cultivo de trigo están reguladas por 3 factores determinantes: temperatura, el fotoperiodo y la vernalización. De los tres factores mencionados, la temperatura es un factor universal que afecta la duración de todas las etapas ontogenéticas del cultivo, así temperaturas más cálidas, acelerarán la tasa de desarrollo del cultivo y promoverán, por ejemplo, una floración más temprana comparada con la ocurrencia de temperaturas frescas para el mismo periodo. A diferencia de lo que ocurre con la temperatura, la respuesta al fotoperiodo y a la vernalización ocurre en periodos particulares dentro del cultivo. Así, la respuesta a la vernalización ocurre en el periodo que media entre la inhibición de la semilla hasta que el ápice cambia de vegetativo a reproductivo (etapa vegetativa). Las temperaturas vernalizantes se dan en un rango de 0 a 12°C, siendo la óptima entre 5 y 7 °C. El trigo comenzara a censar el fotoperiodo desde la emergencia de la primera hoja, y responde a este factor ambiental hasta la floración. La respuesta al fotoperiodo es de tipo cuantitativa y puede definirse como una planta de día largo (Miralles y Slafer, citados por Castro et al., 2011).

Mailhos y Urruty (1995), determinaron una reducción del 51% de rendimiento al atrasar la época de siembra, el cual fue explicado por una reducción de 20% en el número de granos por metro cuadrado ($p > 0.05$) como consecuencia de una menor producción de espigas; y una disminución de 20% en el peso de grano ($p > 0.05$).

El rendimiento está fuertemente asociado al número de granos por unidad de superficie, aunque cuando se fijan pocos, normalmente, se obtienen granos con un mayor peso individual y el ambiente tiene gran influencia sobre ambos. Debido a que el número de granos por m^2 se determina en un momento del ciclo y el peso de los granos en otro, se puede asociar la variación del rendimiento y de los componentes que se generan en cada periodo a las limitantes ambientales y bióticas que sucedan en cada uno de ellos (Brancourt-Hulmel et al., citados por Barbe y Guido, 1987).

La etapa que más influye en el rendimiento en grano es la que comprende el periodo de iniciación de la espiguilla terminal a antesis, tal como indica Fisher (1985), y una mayor duración de esta etapa traerá como consecuencia un incremento de flores por espiguillas, granos por m^2 y rendimiento de grano, como observaron Gonzales et al. (2003).

El rendimiento potencial del cultivo está limitado por las condiciones después de antesis, ya que hay una relación fuerte y positiva entre el rendimiento del cultivo y el peso del grano (Fischer, 1985).

La duración de la etapa de crecimiento de la espiga está determinada por la temperatura (350 grados días), y el tamaño final de la espiga, ligado al número de flores fértiles, es determinado por la fotosíntesis y la radiación total durante esta etapa (Kohli y Martino, 1997).

En general la fecha de espigazón óptima coincide cuando en antesis se combinan bajos riesgos de heladas y alto coeficiente fototermal, ya que de esta manera se producen grandes cantidades de biomasa, lo cual maximiza la interceptación de la radiación, aumentando de esta manera el número de grano por unidad de superficie (Gómez et al., 2010). Para las condiciones de Uruguay esta fecha se ubica entre el 25 de septiembre y el 20 de octubre (Hoffman et al., 2003).

Fernández (2008a) concluye que la variabilidad climática interanual fue el factor que modificó más drásticamente el rendimiento de grano tanto por condiciones de déficit hídrico y aumento de temperatura durante el período de llenado de grano.

2.1.1 Temperatura

Bajo condiciones no limitantes de agua y nutrientes la temperatura y la radiación son las variables ambientales que más influyen en el desarrollo y el crecimiento de las plantas (Ong y Monteith, citados por Del Pozo, 1988).

Siendo la temperatura uno de los factores más importantes en determinar el ciclo del cultivo y consecuentemente el rendimiento del mismo a continuación se describe sus efectos sobre el cultivo.

Romero y Corsi, citados por Malhos y Urruty (1995) , estudiando el rendimiento en el programa de mejoramiento de trigo en dos épocas de siembra (mayo y junio) entre los años 1977 y 1989, concluyen que para la primera época de siembra, las variables que explican en mayor medida el rendimiento son la sumas de temperaturas mínimas en césped inferiores a 0°C en los 90 días posteriores a la siembra ($r^2=0.693$), y las horas de sol en los 30 días posteriores a la fecha de espigazón ($r^2=0.339$), para la segunda época de siembra , las variables que explican en mayor medida el rendimiento potencial, son las condiciones de frio y el contenido de agua en el suelo durante los 90 días posteriores a la siembra ($r^2=0.554$ y $r^2=0.59$ respectivamente).

Del Pozo et al. (1987), mostraron que existe una estrecha relación entre las tasa de desarrollo y las temperaturas medias.

Se ha considerado a la temperatura como el principal factor ambiental que determina el desarrollo de los cultivos (Ketring y Wheless, citados por Barbe y Guido, 1982), en ausencia de respuesta al fotoperiodo.

Temperaturas frías favorecen el macollaje. Los mayores rendimientos observados en las épocas tempranas se deben a una mayor duración de los estadios tempranos del desarrollo de la espiga, fundamentales en la determinación del número de espiguillas por espiga, los que tienen gran importancia como determinantes del rendimiento (D' Amico et al., 1986).

El intervalo en días entre emergencia del cultivo y la formación de la doble arruga, se modifica al atrasar la fecha de siembra, siendo esta fase la responsable del acortamiento del periodo emergencia-espigazón (De Dios et al., 1986).

Un descenso en la temperatura de 26 a 18 °C o 10 °C, prolonga la duración de la etapa vegetativa y formación de espiguillas, incrementando el número total de espiguillas y granos por espigas (D' Amico et al., 1986).

El cultivo sembrado más tardíamente produce un 70% de área foliar hasta el estado de antesis. Esta diferencia puede atribuirse a las diferentes condiciones ambientales con temperaturas diarias más elevadas que aceleran el desarrollo del cultivo (Martínez y Krupin, citados por Mailhos y Urruty, 1995).

Un incremento en el número de espiguillas en la espiga madura a bajas temperaturas, fue consecuencia de un ápice más largo con mayor número de arrugas al momento de la formación de la doble arruga y de un incremento en el periodo de formación de espiguillas. Este continuó incrementándose hasta estadios de desarrollo más tardíos a bajas temperaturas (10°C) contrariamente a lo ocurrido a 30 °C (Friend, citado por Mailhos y Urruty, 1995).

Es sabido que el número potencial de espiguillas está determinado por el número de espiguillas formadas en el momento de aparición de la espiguilla terminal. Ello depende tanto del periodo doble lomo-espiguilla terminal, como del ritmo de formación de espiguillas. Estos dos parámetros son afectados en forma inversa por factores climáticos. Se ha encontrado que un aumento de la temperatura se traduce en un mayor ritmo de espiguillas, pero consecuentemente se produce un acortamiento en la duración de este periodo (Warrington et al. 1977, D' Amico et al. 1986).

Sofield et al. (1977) encontraron una disminución del peso de los granos a casi la mitad cuando el régimen de temperaturas día/noche durante el llenado aumentó desde 21°C/16°C a 31°C/25 °C.

Se ha señalado que la etapa de llenado de grano afectada por estrés de calor ocurre de 12 a 15 días después de la antesis (Tashiro y Wardlaw, citados por Solís et al., 2008).

Durante el periodo post-antesis en trigo las temperaturas medias diarias superiores a valores entre 18 y 20 °C, así como temperaturas máximas diarias superiores a 25 °C tienen como consecuencia que solo parte de los carbohidratos disponibles sean translocados hacia el grano, siendo esta translocación nula a temperaturas superiores a 35 °C (Romero y German, 2001).

Las condiciones de temperaturas superiores a los 15 °C durante los 30 días a espigazón, están correlacionados negativamente con el rendimiento potencial ($r^2 = -0,425$) (Romero y Corsi, citados por Mailhos y Urruty, 1995).

Sofield et al. (1977), para trigo, indicó que al aumentar la temperatura de 12,5 a 18°C en el periodo de crecimiento de los granos, la duración de dicho periodo se redujo de 60 a 36 días. Este efecto fue balanceado por un aumento

en la tasa de crecimiento. De esta manera el cambio de peso de los granos en madurez fue pequeño. Sin embargo, cuando estos aumento de temperatura fueron de 18,7 a 27,5°C la disminución del periodo de crecimiento del grano de 36 a 22 días no fue compensada por el aumento en la tasa del crecimiento; peso seco del grano fue menor. Similares resultados obtuvo Warrington et al. (1977).

Sofield et al. (1977), determinó una reducción del periodo de llenado de grano de 3,1 días por cada grado centígrado por encima del rango de 15 a 21 °C.

La temperatura media del periodo antesis-madurez fisiológica, estuvo inversamente relacionada con el peso de los granos ($r^2=0,974$). Por cada grado centígrado de aumento de temperatura el peso del grano disminuyo 4,98 mg (Savin, 1990). Similares resultados obtuvieron Wardlaw et al., citados por Savin (1990) para cultivares australianos de trigo, donde la reducción del peso fue del orden del 30 al 35% en repuesta a temperaturas superiores a 16 °C durante el periodo de llenado de grano.

Cuando se eliminó el efecto de la temperatura sobre la duración del periodo de llenado de grano, no hubo diferencia entre cultivares y fecha de siembra (Savin, 1990).

Según Miralles y Slafer, citados por Castro et al. (2011), el cultivo sembrado más tardíamente presentó una menor duración del periodo de llenado de grano, alcanzando en ambas fechas una sumatoria térmica desde antesis hasta madurez, muy similares.

Altas temperatura luego de antesis produjeron una rápida senescencia foliar por planta, debido a una rápida senescencia de la lámina, mientras que vainas y pedúnculos fueron afectados en menor medida. Por otra parte algunos autores mostraron que el peso de los granos está determinado por la duración del periodo de llenado, y condiciones ambientales que favorezcan la duración del área foliar, especialmente de la hoja bandera durante el periodo de llenado de grano, producirían un mayor peso total de los mismos (Warrington et al., 1977).

Miralles y Slafer, citados por Castro et al. (2011), concluyen que el efecto que la temperatura tiene sobre el peso de los granos, es independiente del incremento de la tasa de senescencia. Esto sugeriría un efecto de la temperatura elevadas sobre la habilidad del grano para utilizar los asimilatos disponibles, por los menos en ausencia de stress hídrico.

Temperaturas moderadamente altas durante el llenado de los granos, también puede afectar la composición de los mismos. Existe un incremento en el porcentaje de proteína en el grano cuando la temperatura aumenta de 15 a 30°C. Esto ocurre porque tanto la cantidad de almidón y de proteína acumulada en los granos se reduce con el incremento de la temperatura, pero la cantidad de almidón acumulada se reduce relativamente más que la cantidad de proteína, debido a que, de modo casi universal, la acumulación de carbohidratos en los granos en crecimiento se encuentra limitada por la fuerza del destino, que disminuye con estos estrés térmicos, mientras que la acumulación de proteínas está limitada por la fuente de nitrógeno (Savin et al., 1990).

Con relación a los efectos de breves períodos (3-5 días) de muy altas temperaturas durante el llenado de los granos se ha evidenciado que éstos también reducen el rendimiento mediante la disminución del peso de los granos en trigo y en cebada y en ocasiones este tipo de estrés resulto más perjudicial que el aumento de temperaturas moderadamente altos (Solís et al., 2001).

A medida que desciende la temperatura el desarrollo se hace más lento. Si las temperaturas son lo suficientemente bajas como para llegar a helar, puede producirse un daño severo en los tejidos jóvenes; por ejemplo, los tallos vegetativos pueden morir a -5°C. Dos o más heladas consecutivas durante el período que va desde la emergencia de las espigas (Z5.1) hasta el inicio del llenado del grano (Z7.1), pueden tener consecuencias graves sobre el rendimiento. Una sola noche con helada durante este período puede no ser decisiva para la planta porque puede que sólo mueran los tejidos nuevos que están expuestos al aire; por ejemplo, como en las espigas con bandas de espiguillas muertas (Rawson y Gómez, citados por Castro et al., 2011).

2.1.2 Rendimiento y el coeficiente fototérmico

El cociente fototermal (Q) (Fisher, 1985) representa la relación existente entre la radiación efectiva diaria en superficie y la temperatura media diaria, y es una medida del potencial de crecimiento por unidad de tiempo térmico de desarrollo. Es decir, daría una medida del potencial de rendimiento en ausencia de limitaciones hídricas, nutricionales y de sanidad. Esto se debe a la relación lineal positiva existente entre la tasa de crecimiento del cultivo y la radiación incidente.

Nix (1976) ha postulado un cociente fototérmico (CFT) como un índice climático de producción vegetal, debido a la relación lineal entre el crecimiento de un cultivo y la radiación solar interceptada, y entre la tasa de desarrollo y la

temperatura. Fischer (1985) ha usado este CFT durante el mes antes de la floración para explicar las diferencias en el número de granos/m², donde:

CFT (Coeficiente Fototérmico)= Radiación (MJ/m²/día)/ (T. Media-4,5°C)

El CFT depende principalmente de la latitud, altitud y mes del año modificado por otros factores como grado de nubosidad y bruma (Kohli y Martino, 1997).

El nivel máximo del CFT en Colonia y Soriano de Uruguay se alcanza en octubre, a pesar de esto los rendimientos de cultivos que tiene el CFT máximo durante la fase de crecimiento de la espiga, y que florecen el 1° de noviembre, son bajos debido al efecto de las temperaturas altas durante el llenado de grano. Por lo que sería adecuado que florezca el 1° de agosto, pero obviamente hay otros factores para tomar en cuenta, y el factor más importante en este caso es la frecuencia de heladas, la cual es alta aún en el mes de septiembre. Entonces la época óptima de floración del cultivo es determinada más por las heladas que por el CFT óptimo, pero el cultivo debe florecer lo más temprano posible después de alcanzar un nivel aceptable de riesgo de heladas. Según esta información, parecería que el llenado de grano es muy importante bajo las condiciones de Uruguay, tal vez más importante aún que el número de granos (Kohli y Martino, 1997).

Solís et al. (2004) concluyeron que a mayor valor de CFT, mayor número de granos por metro cuadrado, esto explica las diferencias en el número de granos y en el rendimiento ($R^2=0.77$).

El cociente foto-termal mostró escaso valor predictivo en la región semiárida pampeana tanto para el rendimiento en grano como para el número de granos por metro cuadrado. Los coeficientes de regresión entre el CFT y el rendimiento de grano fueron mayores para el riego ($R^2=0,321$) que para seco ($R^2=0,095$). Lo mismo ocurrió en el número de granos por m², donde para riego el coeficiente de regresión fue de $R^2=0,404$ y para seco $R^2=0,007$, siendo estas demasiado bajas (Rondini y Zugastay, citados por Castro et al., 2011).

2.1.3 Estrés hídrico

Levitt, citado por Kohli y Martino (1997) definió al estrés como: 'cualquier factor ambiental potencialmente desfavorable para los organismos vivos'.

De los factores climáticos que afectan al cultivo, la lluvia es la más variable. Tanto el déficit como el exceso hídrico pueden provocar mermas en el rendimiento.

Hoffman et al. (2012b) encontraron que el estrés hídrico por déficit redujo el rendimiento promedio por planta en un 23 %, mientras que el exceso determinó una caída del 13 %, para el promedio de los siete cultivares evaluados. La reducción del rendimiento bajo anegamiento obedeció a la caída en el número de granos por planta, contribuyendo casi en igual proporción la disminución del número de espigas y granos por espiga (aunque no existió efecto significativo en este último componente). Ello es coincidente con los eventos fisiológicos que transcurren durante el período de estrés (sobrevivencia de tallos y crecimiento de espiga). La mayor depresión del potencial observada bajo condiciones de déficit de agua, fue resultado de la reducción del número de granos por planta explicado por una reducción significativa del número de espigas

Las limitantes hídricas pueden reducir la interceptación de la radiación solar por una menor exposición del área foliar (acartuchamiento de hojas) o por muerte de hojas. Las reducciones tempranas del área foliar no producen caídas de rendimiento, si pasado el período de estrés, el cultivo alcanza suficiente área foliar como para interceptar la radiación disponible durante el período de crecimiento de las espigas. Por el contrario, si el cultivo no logra un nivel adecuado de área foliar el rendimiento se verá afectado, incluso aunque se restablezca la disponibilidad de agua posteriormente (Abbate, 1998).

Una deficiencia hídrica también determina una menor eficiencia de uso de la radiación interceptada, lo que contribuye a reducir el número de granos/m² cuando el estrés se produce durante el período de crecimiento de las espigas. Existen además otros efectos del estrés hídrico que reducen el número de grano, independientemente de la disminución del peso de las espigas. Estos efectos directos son más conocidos que los descriptos para nitrógeno, y operan afectando la supervivencia de las flores formadas (Abbate, 1998).

El déficit hídrico durante el llenado del grano reduce el crecimiento del cultivo en esta etapa y en consecuencia puede afectar el peso de mil granos. Las sequías durante el llenado son frecuentes y, en general, están acompañadas de altas temperaturas, confundiendo los efectos. Sin embargo, la etapa de llenado no suele ser la más crítica para la determinación del rendimiento de trigo. La sequía puede afectar el rendimiento a través del peso de mil granos sólo si el número de granos a llenar es alto; es decir, debe operar durante el llenado y habiendo afectado poco el número de granos (Abbate, 1998).

El anegamiento temporario del suelo ocurre como consecuencia de una total o parcial saturación de los poros de aire en el perfil, los que son remplazados por agua. El origen más frecuente de este fenómeno es cuando las precipitaciones o el agua de riego se acumulan en la superficie del suelo por un período dado, como consecuencia de deficiencias en la capacidad de infiltración del perfil. El efecto negativo del anegamiento se asocia principalmente a disminuciones en la concentración de oxígeno en suelo, ya que la difusión de gases en el agua disminuye diez mil veces. De esta manera, el oxígeno del suelo es rápidamente agotado y éste se vuelve hipóxico o anóxico en pocas horas. Las condiciones de anoxia debido a anegamiento también causan el cierre estomático y, consecuentemente, una disminución en la tasa de fotosíntesis a nivel de hoja, reduciendo la producción de fotoasimilados y de acumulación de biomasa (Yordanova y Popova, 2001).

Los estudios realizados sobre el tema indican que en el cultivo de trigo el anegamiento puede reducir la producción de materia seca y el rendimiento final del 16 y 24% respectivamente, asociándose la disminución del rendimiento principalmente a diferencias en el número de espigas establecidas (-11%) (Zhang et al., 2006).

2.1.4 Cuantificación de la época de siembra sobre el rendimiento

En registros llevados a cabo por grupos CREA (Rava et al., citados por Korn y Vila, 1983), se demuestran claramente la disminución del rendimiento que se obtiene al atrasar la época de siembra en trigo. En un área de 5698 ha sembradas entre el 1/7 y el 10/8 se obtuvo un rendimiento promedio de 2088 kg/ha, contrastando con un rendimiento de 1388 kg/ha en siembras del 11/8 al 31/8, lo que determinó una disminución del rendimiento del orden del 33%.

Información de 3 años de ensayo de evaluación realizados en La Estanzuela, en promedio muestran un rendimiento 49% mayor en siembras de la segunda quincena de julio que en la segunda quincena de agosto (Luizzi y Torres, citados por Korn y Vila, 1983).

Relevamiento de trigo, zafra 1998/1999 por Mesa Nacional de Trigo (Ernst et al., 1999) determinaron que al atrasar la época de siembra los rendimientos caen un 25% (3877kg/ha vs 2917kg/ha), comparando siembras anteriores al 15 de julio contra siembras posteriores al 15 de julio, este efecto se observa para el promedio de los rendimientos de los cultivares E. Cardenal, I. Mirlo, E. Pelón y P. Quintal, existiendo un efecto diferencial de la época de siembra sobre estos cultivares.

Experimentos realizados entre los años 2004 y 2006 en el Campo Experimental de la Facultad de Agronomía de la UNLPam, detectaron interacciones del año con el genotipo, con la época de siembra y con la condición de fertilidad. En el análisis del grupo de experimentos se observó un fuerte efecto del ambiente. El 77,8% de la variación fue atribuible al año agrícola, 4,3% a la época, 13,3% al genotipo (Fernández, 2008b).

Resultados experimentales realizados en INIA La Estanzuela en varios años muestran que retrasos en la época de siembra, en relación al período óptimo o recomendado para cada variedad, significan pérdidas promedio de alrededor de 20% en el rendimiento de grano y que, en algunas variedades, esas pérdidas pueden superar el 30%, esos niveles de pérdidas han superado los 1.800 kg/ha. (Verges, 2003).

Existe una importante relación negativa del rendimiento con el atraso de la fecha de siembra. En términos generales los trigos tempranos estuvieron en el eje de los 4000 kg/ha, mientras que los más tardíos por debajo de los 3000 kg/ha, esto significa una disminución de rendimiento de un 25%, (Reynoso, citado por Fernández, 2008a).

En la evaluación de cultivares realizadas por INIA La Estanzuela en el período 2007-2010 (Quincke et al., 2011), para siembras tardías (junio) en relación a fechas de siembra óptimas (mayo), tanto Génesis 2358 como Génesis 2359 presentan reducciones relativas similares a I. Tijereta (17%), e inferiores a Génesis 2346. En valores absolutos éstas disminuciones en rendimiento de grano llegan a más de 1300 kg/ha para Génesis 2346, 1000 y 1200 kg/ha para Génesis 2358 y Génesis 2359 respectivamente y en I. Tijereta es de 950 kg/ha.

Díaz y Durán (1986) trabajando con datos del grupo CREA "Don Goyo" entre los años 1978-1985 detectaron que los mejores rendimientos (2300 kg/ha) se obtenían sembrando entre el 16 de junio y el 6 de julio, adelantando esta fecha al 26 de mayo los rendimientos caían a 2038 kg/ha, mientras que atrasándola al 24 de agosto disminuían a 1341 kg/ha.

2.1.5 Zonas agroclimáticas para la producción de trigo

Corsi (1982) determinó cuatro zonas agroclimáticas para la producción de trigo en Uruguay determinadas en base al exceso de agua promedio durante la espigazón estimado a través del balance hídrico de un suelo promedio con capacidad de almacenar 125mm de agua útil en todo el perfil, y la temperatura media de octubre, noviembre y diciembre, período en el cual ocurre la espigazón y llenado de grano.

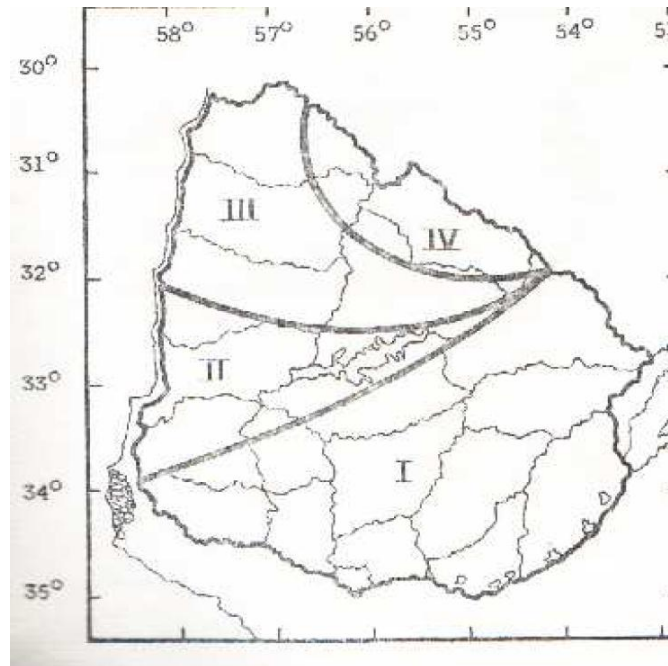


Figura No. 1. Regionalización agroclimática para trigo (Corsi, 1982).

La zona 1 es considerada como la preferencial para la producción de trigo, descendiendo la aptitud a mitad que aumenta el número de zona, es decir que nos movemos de sur a norte (Corsi, 1982).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

Para cumplir con los objetivos planteados se trabajó con situaciones de chacras reales (muestreo no aleatorizado), a cada situación se la relaciono con las condiciones ambientales ocurridas a lo largo del ciclo fenológico del cultivo.

Los datos de chacras corresponden a registros de fecha de siembra y rendimiento de productores de trigos pertenecientes a Grupos CREA e integrantes de planes de producción de COPAGRAN ubicados en el Litoral oeste del país (Colonia, Soriano, Rio Negro y Paysandú). La base de datos corresponde a 1397 chacras correspondientes a los años 2004, 2005, 2006, 2007, 2008 y 2009, disponiéndose de los valores de rendimientos, variedad sembrada, localidad y día de siembra por chacra.

Los datos climáticos correspondientes a Colonia fueron aportados por la Estación Experimental, INIA - La Estanzuela, Ruta 50, Km 11 – Colonia; para Paysandú por la Estación Experimental “Dr. Mario A. Cassinoni” - Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Ruta 3 km 363 - Paysandú – URUGUAY y para Mercedes por la Dirección Nacional de Meteorología, LATITUD: 34°15 S, LONGITUD 58°04 W. Las chacras correspondientes al Departamento de Rio Negro (153 chacras) fueron agrupadas con las de Paysandú o Soriano en función de la distancia a la estación meteorológica más cercana. Se dispuso de los datos de precipitaciones y radiación incidente por día y de temperaturas máximas y mínimas medias por localidad, lo que nos permitió calcular la temperatura media diaria para distintas etapas fenológicas del cultivo.

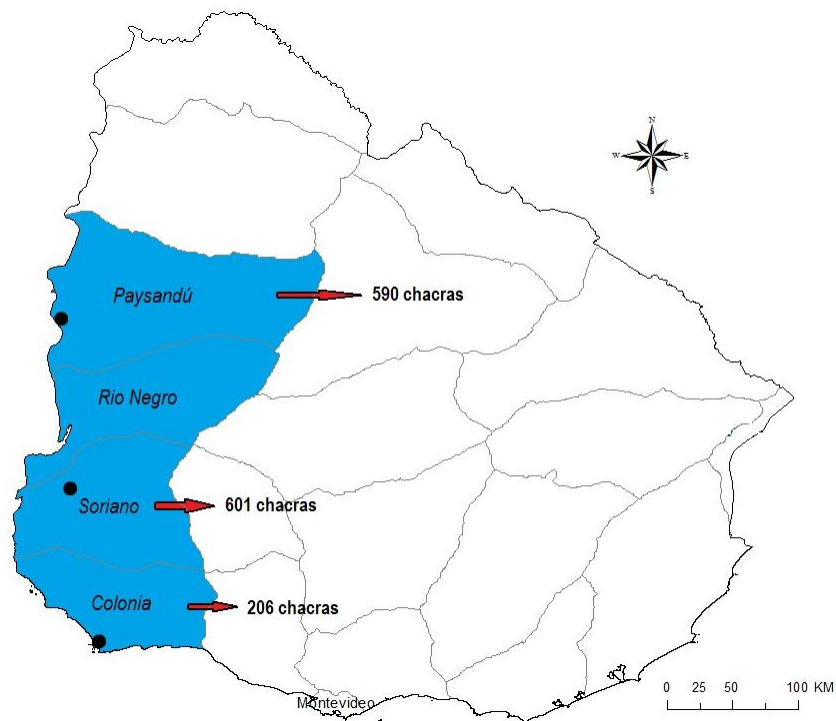


Figura No. 2. Ubicación de las chacras en estudio.

Se realizó una caracterización climática por año y por localidad, lo que permitió describir las condiciones ambientales de cada zafra-localidad.

Para cada chacra se estimó la fecha de ocurrencia de las etapas ontogenéticas del cultivo, emergencia-floración (E-F), periodo crítico de definición del rendimiento según Fisher (1985), 20 días pre-floración y 10 días post-floración y periodo de llenado de granos como 30 días post-floración. Para cada una de estas etapas se estimó las precipitaciones recibidas, temperatura promedio y además, para el periodo crítico, se estimó coeficiente fototermal como el cociente entre la radiación interceptada y la temperatura media del periodo considerando una temperatura base de 4,5°C.

Por tanto, la base de datos de las 1397 chacras contiene la siguiente información: año, localidad, variedad, ciclo cultivar sembrado, fecha de siembra, día juliano de siembra, fecha de emergencia, día juliano de emergencia, fecha de floración, día juliano de floración, días emergencia-floración, precipitaciones E-F, temperatura media E-F, coeficiente Q en periodo crítico, precipitaciones en periodo crítico, temperatura media llenado de granos, precipitaciones en llenado de granos y rendimiento en grano.

El día de floración de cada variedad se estimó a partir de la fecha de emergencia, se utilizó un programa realizado por el INIA, lo que permite saber en qué momento se da la floración.

3.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para en análisis estadístico se trabajó con el Software estadístico InfoStat y con Microsoft Excel.

Para todas las variables en estudio se realizó una descripción estadística para caracterizar cada una de ella a través de gráficos de cajas (box-plot) y medidas de dispersión (CV, media, percentiles, etc.).

Se realizó un análisis de varianza de comparación de medias a través de la prueba de LSD de Fisher, lo que permitió determinar si existieron diferencia estadísticas entre localidades y/o entre años para cada una de las variables.

Para determinar las variables que tienen una mayor influencia sobre el rendimiento se realizó un análisis de clasificación resultando la temperatura media post-floración la de mayor efecto. A partir de esto se procedió a realizar una media móvil de temperatura para los próximos 30 días para determinar rangos de floración óptimos por localidad según las temperaturas consideradas como favorables para el llenado de granos (30 días post-floración).

En base a la fecha de floración óptima se estimaron los rangos tentativos de siembras para que la temperatura durante el llenado de grano se ubique entre los rangos óptimos.

Se construyó un modelo de regresión lineal múltiple con el fin de explicar el rendimiento a través de las variables en estudio. El modelo seguido fue el siguiente: $y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n$. Dónde: y = rendimiento de trigo; a_0 hasta a_n = coeficientes de ajustes; x_1 hasta x_n variables independientes, numéricas o categóricas.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DE LOS AÑOS EN ESTUDIO

En las figuras 3 a 5 se presenta la caracterización climática por zonas para los años 2004 a 2009. Para ello se presenta la media mensual por año y localidad para las variables ambientales de mayor impacto en la producción de los cultivos de invierno, como lo son temperatura, el coeficiente fototermal (radiación y temperatura) y las precipitaciones, se consideró la media mensual de cada una de ellas y se tomaron como referencia las medias ocurridas desde 1961-1990 (serie histórica).

4.1.1 Temperatura

Considerando la temperatura media registrada desde el año 2004 al 2009 para los distintos meses, Colonia presentó los valores medios más bajos, mientras que Soriano y Paysandú siguieron un padrón similar, aunque Soriano mostró una tendencia a temperaturas levemente superiores a partir de septiembre.

Para las tres localidades el año 2007 presentó las temperaturas más bajas desde abril a agosto, pero luego tuvo un gran aumento pasando a ser el valor más alto para septiembre. Mientras que el año 2008 fue el de mayor temperatura media en promedio para el período analizado.

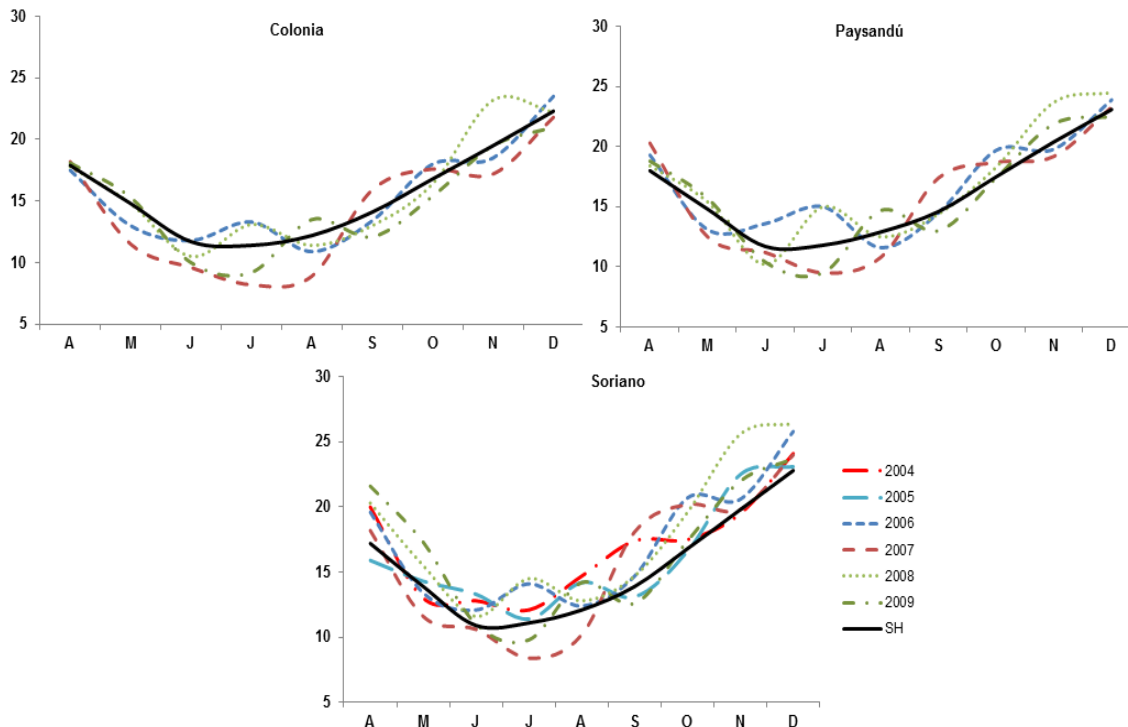


Figura No. 3. Temperatura media (°C) mensual según localidad y año, para los años 2004 a 2009, para los Departamentos de Colonia, Paysandú y Soriano (elaborado a partir de Estación meteorológica de Mercedes, Estación Experimental INIA y Estación Experimental “Dr. Mario A. Cassinoni”).

En Soriano hay una tendencia a que las temperaturas estén por encima de la serie histórica, haciéndose más clara esta diferencia a partir de agosto.

Para las tres localidades los meses de junio y julio las temperaturas presentaron una gran variabilidad entre años, disminuyendo la variabilidad a partir de este momento.

4.1.2 Coeficiente fototermal

Existió una gran variabilidad entre y dentro de los años, con una tendencia a disminuir desde agosto a diciembre. Siendo más importante este cociente entorno a la floración (20 días pre y 10 post-floración), que para las condiciones de Uruguay las fechas óptimas se ubica entre el 25 de septiembre y el 20 de octubre (Hoffman et al., 2003).

El valor más alto de este cociente se obtuvo en agosto del 2007 para Colonia con 2.74 $\text{Mj.m}^2/^{\circ}\text{C}$, mientras que el más bajo se registro en Paysandú en Noviembre del 2006 con 0.6 $\text{Mj.m}^2/^{\circ}\text{C}$.

Para Soriano y Colonia los años 2007 y 2009 presentan un comportamiento diferente a lo largo del periodo, para el primer caso se presentaron 2 picos máximos (agosto y noviembre), siendo el segundo de menor magnitud, contrariamente a esto ocurre en el 2009 donde se dio un pico máximo en septiembre y el menor valor se obtiene en noviembre.

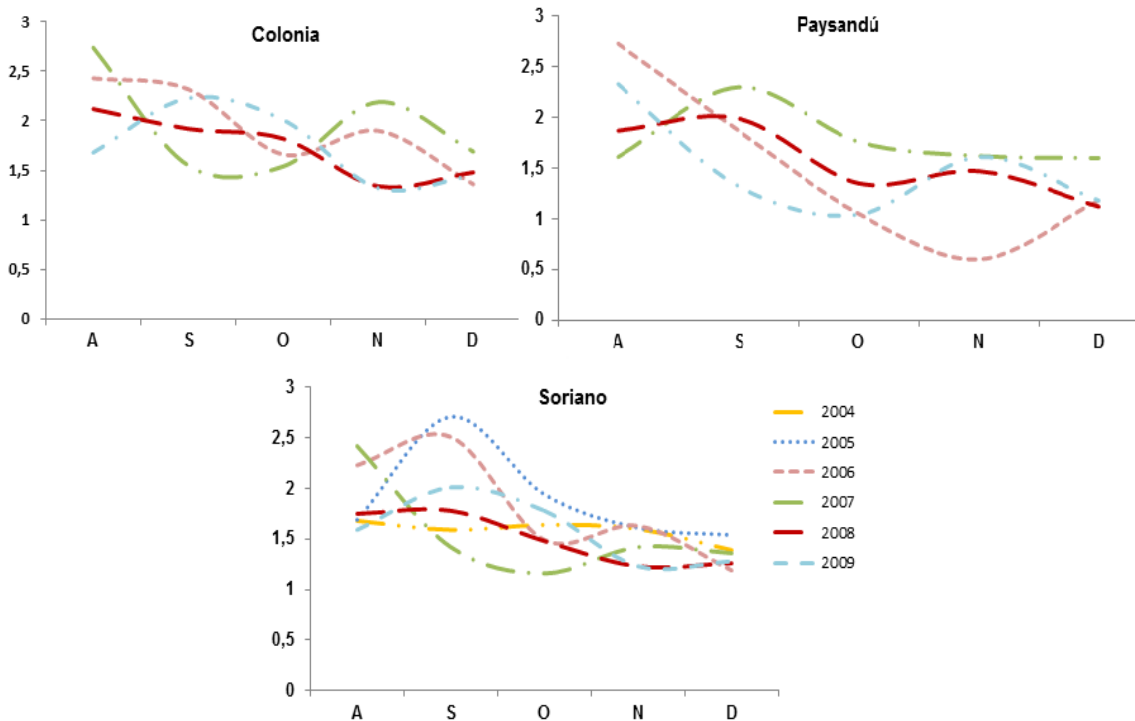


Figura No. 4. Valores promedio de coeficiente fototermal mensual según localidad y año, para los años 2004 a 2009, para los Departamentos de Colonia, Paysandú y Soriano (elaborado a partir de Estación meteorológica de Mercedes, Estación Experimental INIA y Estación Experimental “Dr. Mario A. Cassinoni”).

En la localidad de Soriano se observa que en el mes de septiembre los valores de Q presentaron una alta variabilidad entre años.

En Paysandú el año 2006 registró el mayor y el menor valor de Q para la serie de años (en agosto y noviembre respectivamente). Los años 2007 y

2008 tuvieron un comportamiento similar, siendo más favorables estos valores para el primer caso. El año 2009 presentó un comportamiento diferente a los demás, debido a que en los primeros meses los valores de Q estuvieron por debajo, esta situación se revierte a partir de octubre llegando a noviembre con los valores más altos.

4.1.3 Precipitaciones

Un aspecto general a resaltar es la gran variabilidad que existió a lo largo de los meses y entre los distintos años, determinando que existieran meses del año que las precipitaciones se encuentran por debajo o por encima de la serie histórica, como se puede apreciar en la figura No. 5. El estrés hídrico puede ocasionar pérdidas de 23% de rendimiento, mientras que el exceso una disminución del 13% de los rendimientos de trigo (Hoffman et al., 2012).

Para las tres localidades el año 2008 fue el que registró las menores precipitaciones acumuladas para el periodo analizado, en donde la mayoría de los meses los registros estuvieron por debajo de la serie histórica, mientras que en el 2009 se dieron las mayores precipitaciones acumuladas.

Hay una tendencia a que el mes de octubre presente mayores precipitaciones acumuladas, donde se registraron picos por encima de la serie histórica (a excepción del 2008).

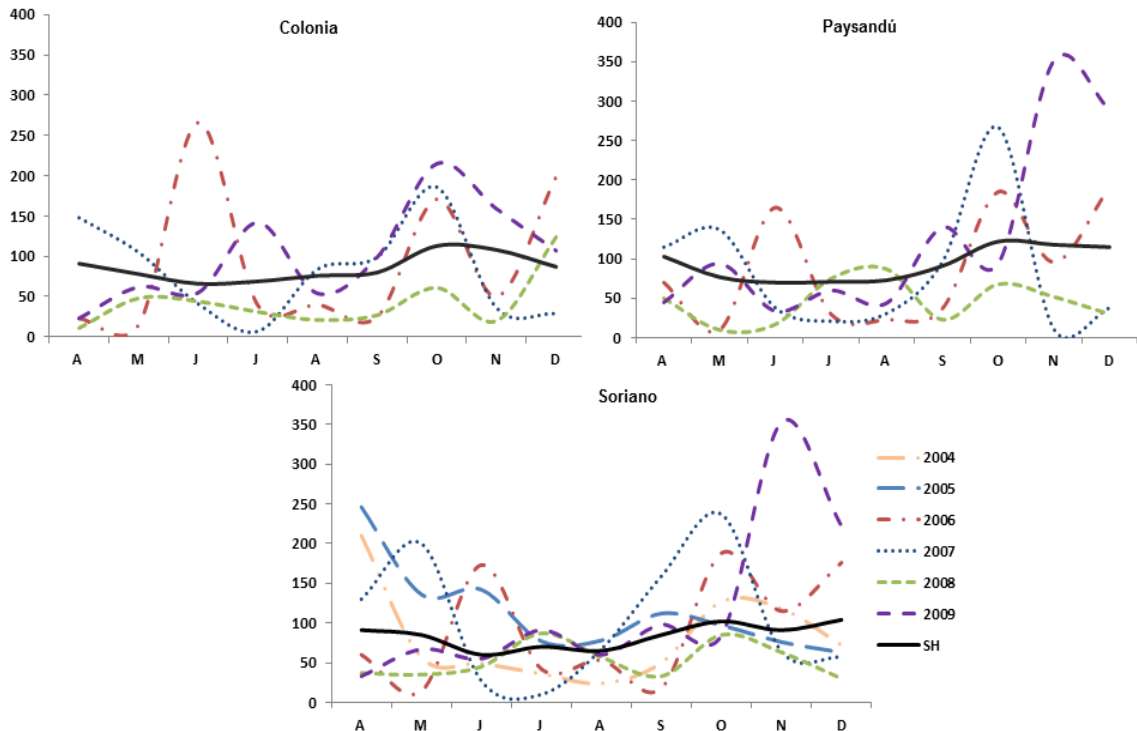


Figura No. 5. Precipitaciones (mm) mensuales según localidad y año, para los años 2004 a 2009, para los Departamentos de Colonia, Paysandú y Soriano (elaborado a partir de Estación meteorológica de Mercedes, Estación Experimental INIA y Estación Experimental “Dr. Mario A. Cassinoni”)

En junio del 2006 en la localidad de Colonia se registró el mayor valor de precipitaciones de los cuatro años, lloviendo 1/3 del total acumulado para ese año.

El registro mensual más alto en Paysandú ocurrió en noviembre del 2009, y el menor valor se dio en el mismo mes pero del año 2007. El año 2007 presentó meses muy contrastantes, ya que existieron meses que se encuentran muy por debajo de la serie histórica (J-J-A-N-D) y otros que están por encima de la serie (M-O). Ernst et al., citados por Ernst (1987) encontraron que un 82 % de la variabilidad de los rendimientos está asociada a tres variables climáticas y sus interacciones. Estas son las lluvias de julio y agosto, los días con heladas durante el mismo periodo y los días con más de 30 grados centígrados en noviembre-diciembre.

En la localidad de Soriano, él mes de agosto es el que presentó la menor variabilidad entre años. Los años 2005 y 2009 registraron las mayores precipitaciones acumuladas para el periodo, para el primer caso los mayores valores se dieron en los primeros meses (abril a agosto), en cambio para el

segundo sucede en los meses finales. El menor registro ocurrido en la serie de años analizados corresponde al mes de julio del 2007 donde fueron muy cercano a 0 mm, lo contrario sucedió en noviembre del 2009 donde las precipitaciones fueron mayores a 350 mm, lo que equivale a 1/3 de lo llovido ese año.

4.2 ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS DE LA FECHA DE SIEMBRA Y SU EFECTO SOBRE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS MEDIAS CONSIDERANDO EL DESARROLLO FENOLÓGICO DEL TRIGO

El día de siembra determina las condiciones ambientales a las cuales se va enfrentar el cultivo. Estas características, junto con el ciclo del cultivar influyen sobre el momento en que va ocurrir la floración y los diferentes eventos fenológicos. Las distintas combinaciones de estas variables junto al manejo de nutrientes y el control de pérdidas determinados por enfermedades, malezas y plagas, determinan los rendimientos de chacra.

En el Cuadro No. 1 se presenta una descripción estadística de las condiciones ambientales ofrecidas al cultivo de trigo al variar la fecha de siembra, el cultivar en combinación con el efecto año y localidad. De esta manera se caracteriza las condiciones de ambiente ofrecido al cultivo para la base de datos estudiada.

Cuadro No. 1. Resumen descriptivo de las variables en estudio

Variable	Media	D.E.	CV	Mín.	Máx.	P(10)	P(25)	P(50)	P(75)	P(90)
Días siembra	172	22	13	99	234	144	157	168	191	203
Día Floración	280	10	4	224	314	268	273	280	287	294
Ciclo E-F	100	18	18	66	159	77	85	98	112	124
Temp. E-F	13,4	1,1	8	10,7	17,6	12	12,5	13,4	14,1	14,8
Pp. p. critico	103	64	62	6	319	28	48	95	121	206
Q p. critico	1,82	0,38	20	1	2,94	1,41	1,51	1,72	2,09	2,43
T media llenado	18,9	2,1	11	13,1	27,5	16,3	17,7	18,9	20	21,3
Pp. llenado	114	53	47	18	294	54	76	01	165	188
Pp. E-F	225	91	40	73	588	121	161	202	279	350
Rendimiento	3344	875	26	545	6252	2242	2778	3360	3913	4429

4.2.1 Día de siembra

En promedio la fecha de siembra fue el día 172, con un rango que vario entre un mínimo de 99 a un máximo de 234, lo que corresponde a fechas de siembra entre el 10 de abril y el 23 de agosto. La amplitud de la época de siembra fue de 135 días, con un desvió estándar de 22 días. El 50% de las chacras se sembraron en un rango de 34 días (percentil 25= 157; percentil 75=191), lo que implicó que los productores concentraran sus siembras entre el 7/6 y el 10/7. Estas fechas se aproximan mucho a las óptimas manejadas por Gonnet y De León (1978) del 15 de junio al 15 de julio, pero en la actualidad hay cultivares de ciclo largo que necesitan ser sembrados antes de estas.

Los años 2005 y 2006 presentaron un mayor rango de días de siembra, con una siembra promedio más tardía, y mayor coeficiente de variación. En cambio 2004/2009 fueron los de menor rango (Figura No. 6).

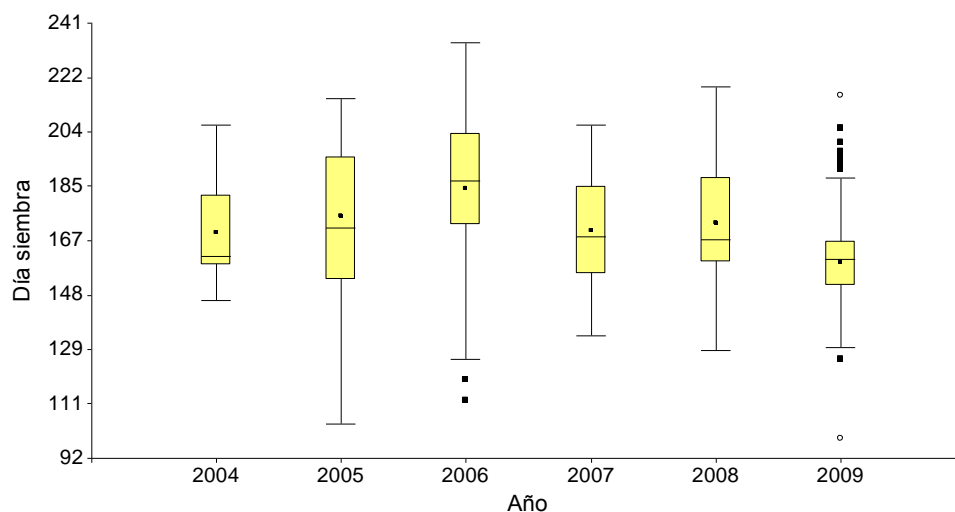


Figura No. 6. Distribución del día de siembra según año.

Cuando se analiza el efecto del año, el año 2009 se sembró más temprano, el 2004, 2007, 2008 y 2005 en un término intermedio y el año 2006 fue en el que se sembró más tarde, este atraso de la época de siembra esta explicado por las precipitaciones registradas en junio como se mostró en la Figura No. 5.

Cuadro No. 2. Análisis de varianza para las medias de días de siembra según año.

Año	Medias	N	
2009	159	276	A
2004	169	35	B
2007	171	155	B
2008	172	466	B
2005	175	126	B
2006	185	339	C

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Analizando en conjunto el efecto del año y de la localidad, las medias variaron desde el día 151 a 188 (30 de mayo a 6 de julio), siendo el año 2009 para Colonia el único que se diferencia de todo los demás, registrando el día de siembra promedio más temprano. Soriano 2004/2005/2007/2008/2009, Paysandú 2007/2008 y Colonia 2007 y 2008 no se diferencian estadísticamente entre ninguno de ellos, correspondiendo además a las fechas de siembra intermedia (día 164 a 175) (ver apéndice No. 1).

Si se analiza solo el efecto de la localidad no existieron diferencias estadísticas entre las medias ($p \leq 0.05$) pero Soriano es el que presentó mayor rango de días de siembra (135 días), desde el 8 de abril al 21 de agosto, siendo Paysandú el caso opuesto con una amplitud de 82 días (15 de mayo al 3 de agosto) y Colonia un nivel intermedio con 106 días de amplitud de siembra (21 de abril al 5 de agosto) (ver apéndice No. 2).

En la Figura No. 7 se muestra la frecuencia acumulada de chacras sembradas por década para los distintos años. Esto permite visualizar cómo se distribuyó la siembra a lo largo de cada año.

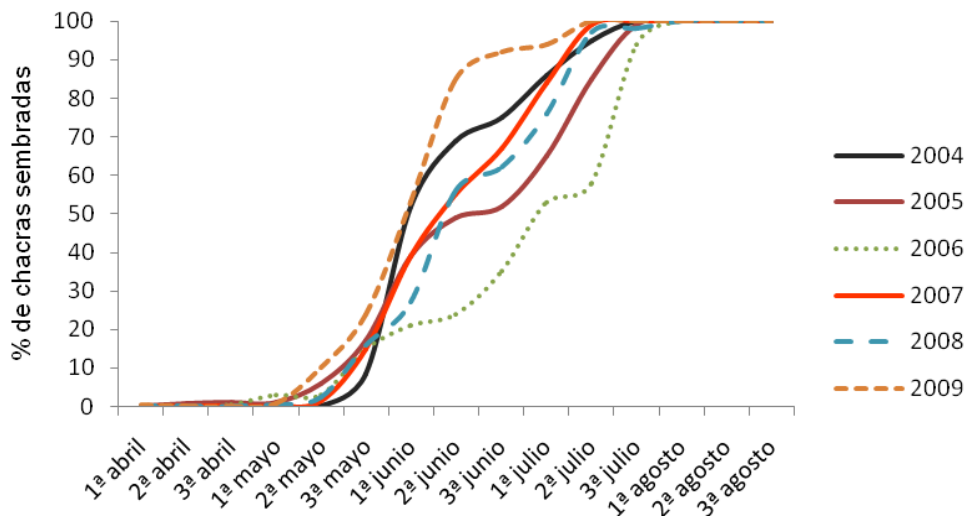


Figura No. 7. Frecuencia acumulada de siembra por década según año.

Se destacan las diferencias en el avance de la fecha de siembra entre el año 2009 y el 2006. Para el primer caso las siembras se acumularon en fechas tempranas (85% a la segunda década de junio), en cambio para el segundo caso se postergó más en el tiempo (85% entre la segunda y tercer década de julio), esto está explicado principalmente por las precipitaciones que se registraron en el mes de junio las cuales estuvieron por encima de los 150mm (Figura No. 5), con un aumento importante de siembra en las últimas décadas (36%). Los restantes años presentaron una tendencia intermedia a los casos anteriores y similares entre ellas.

Considerando que la fecha normal de siembra se ubica entre el 7 de mayo al 18 de junio (Hoffman y Castro, 2012a), el 52% de las chacras se sembró dentro del rango óptimo, mientras que el 1% y 47% se sembraron antes y posteriormente al óptimo respectivamente.

4.2.2 Distribución del período de floración del trigo

En la serie de años en promedio la floración media se ubicó en el día juliano 280 correspondiente a la fecha 8 de octubre, con un coeficiente de variación de 4%.

El 50% de la floración del trigo se concentró en 14 días (29 de septiembre a 13 de octubre). Considerando la fecha de floración óptima del 25 de septiembre al 20 de octubre para las condiciones de Uruguay (Hoffman et al., 2003) el 79% de las chacras floreció en este rango.

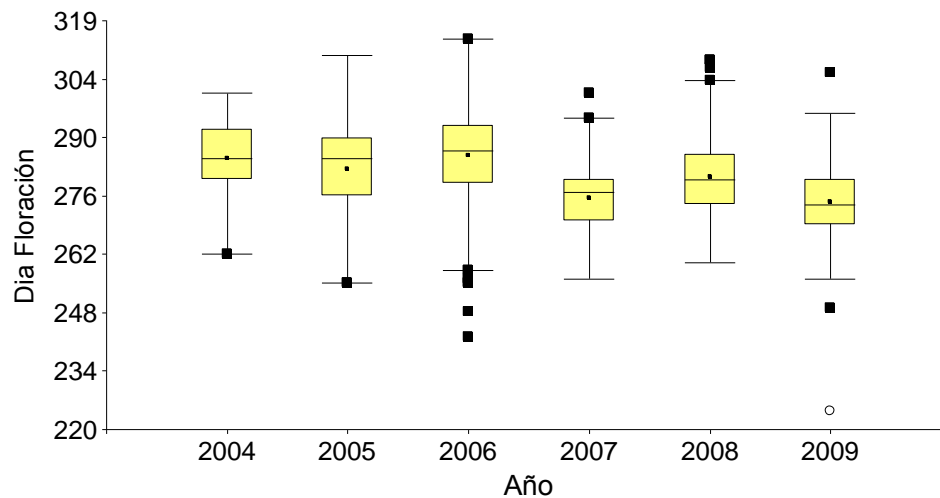


Figura No. 8. Distribución de los días de floración según año

Como se observa en la Figura No. 8, la variabilidad en la fecha de floración a lo largo de los años fue mínima, no habiendo más de 11 días de diferencia entre las distintas medias. Los años 2006 y 2009 fueron los que presentaron mayor amplitud (72 y 82 días respectivamente) y el de menor amplitud fue el 2004 (39 días), considerando los mínimos y máximos. El análisis de varianza indica que en el año 2009 se dio la floración más temprana seguida por el año 2007, mientras que en el año 2006 se da la media de floración más tardía, no diferenciándose esta última del año 2004 (ver apéndice No. 4). Si bien los productores distribuyeron la siembra en un rango mayor a 60 días, la floración se concentro en unos pocos, esto se debe a que la siembra se realizó ordenada por largo de ciclo y el resultado fue un período de floración muy concentrado (Hoffman et al., 2003).

Considerando la interacción año por localidad, las medias variaron de 273 a 290 días (26 de septiembre a 16 de octubre), lo que da una diferencia máxima de 17 días. Colonia 2006 y Soriano 2006 es el grupo que floreció más tarde estadísticamente ($p \leq 0.05$); P 2009, P 2007, C 2009, S 2009, S 2007 y P 2008 florecieron más temprano, no habiendo diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) entre todos ellos. Las restantes localidades y años (P 2006, S 2004/2005/2008 y C 2007/2008) no se diferencian estadísticamente ($p \leq 0.05$) entre ellas y toman valores intermedios (ver apéndice No. 5).

En la Figura No. 9 se muestra la frecuencia relativa de floración, los valores están por décadas mensuales y cada uno de ellos corresponde al

número de chacras que florecieron en dicha década dividió el total de chacras en ese año, esto nos da una idea de la distribución de la floración.

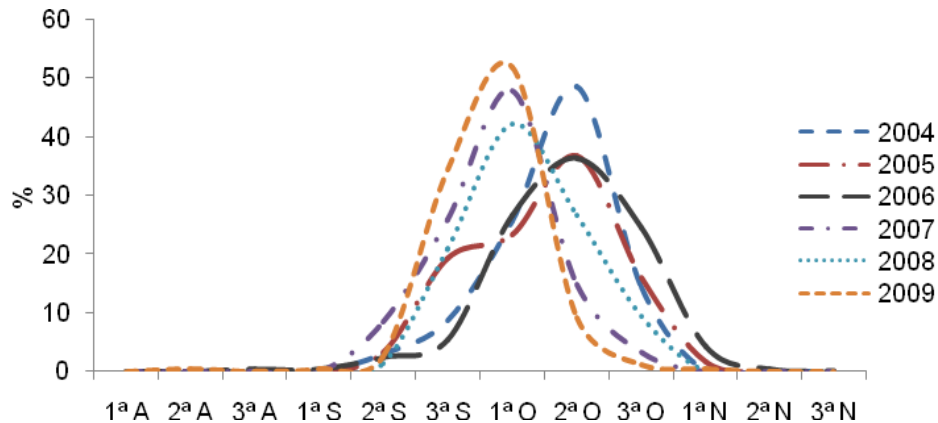


Figura No. 9. Frecuencia relativa de floración por década y año.

Existieron dos grupos en la ubicación de la fecha de floración, los que tuvieron sus picos máximos en la primera década de octubre (2007, 2008 y 2009), y los que concentraron su floración en la segunda década de octubre (2004, 2005 y 2006). En los años 2005 y 2006 no se registro una concentración clara de la floración en pocos días, ya que presentaron valores máximos de frecuencia relativa menores que los restantes años. Si relacionamos esto la con fecha de siembra, obtenemos que el 2005 y 2006 son los que tuvieron un mayor rango de días de siembra, y los años 2004, 2005 y 2006 en términos generales presentaron una media de día de siembra mayor a los restantes años.

4.2.3 Ciclo emergencia-floración

Para la serie de años analizada la duración de la etapa emergencia-floración presentó una media de 100 días, con un mínimo de 66 y un máximo de 159 días, habiendo una clara diferencia entre los cultivares de ciclo largo e intermedio (Cuadro No. 3) (para ver las variedades que se incluyen dentro de ciclo largo e intermedio, ver apéndice No. 6).

Cuadro No. 3. Días de emergencia-floración según ciclo del cultivar.

Ciclo	N	Media	D.E.	CV	Min	Max	P(25)	P(50)	P(75)
I	1057	94	13,9	14,8	66	133	82	93	104
L	340	117	16,8	14,3	80	159	106	117	130

Existió una máxima variación de 14 días entre el 2006 y 2004 (Figura No. 10). Los años 2006 y 2007 fueron estadísticamente iguales ($p \leq 0.05$), los

cuales se diferenciaron del 2008, 2009 y 2004. Los años 2007 y 2005 fueron iguales y a su vez este último no tuvo diferencia con el 2008. Tampoco hubo diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre el 2004 y 2009 (ver apéndice No. 7).

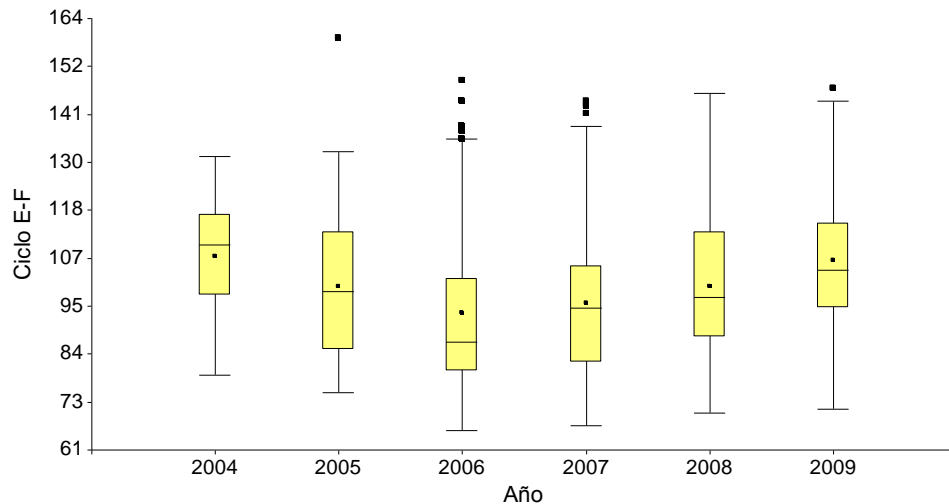


Figura No. 10. Distribución de los días de emergencia-floración según año.

Los ciclos emergencia-floración de Paysandú (97 días) fueron estadísticamente más cortos que el resto de las localidades (101 y 102 días) (ver apéndice No. 8).

4.2.4 Temperatura media emergencia-floración

Para el conjunto de años y localidades analizados, esta variable presentó un mínimo de 10,7 °C y un máximo de 16.7°C con una media 13.4 °C, mostrando una baja variabilidad (8.2% CV). El 50 % de las chacras se encontraron entre temperaturas de 12.5 y 14.1 °C. Las temperaturas frías favorecen el macollaje, prolongan la duración de la etapa vegetativa y formación de espiguillas, incrementando el número total de espiguillas y granos por espiga (D' Amico et al., 1986). Hoffman et al. (2012b) consideró como un ambiente térmico óptimo para al macollaje cuando la temperatura media se ubica en los 11.5 °C en dicho período.

Las temperaturas promedio ocurridas desde la emergencia del cultivo hasta la floración, se diferenciaron estadísticamente según la localidad como se puede observar en el cuadro siguiente.

Cuadro No. 4. Análisis de varianza de las temperaturas medias durante la emergencia-floración según localidad.

Localidad	Medias	n	
Colonia	12.3	206	A
Paysandú	13.1	590	B
Soriano	13.7	601	C

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$)

Todos los años se diferenciaron estadísticamente, en el 2009 ocurrieron las temperaturas más bajas (12°C) y en el 2004 donde se dan las más altas (15°C) para el conjunto de localidades (ver apéndice No. 9).

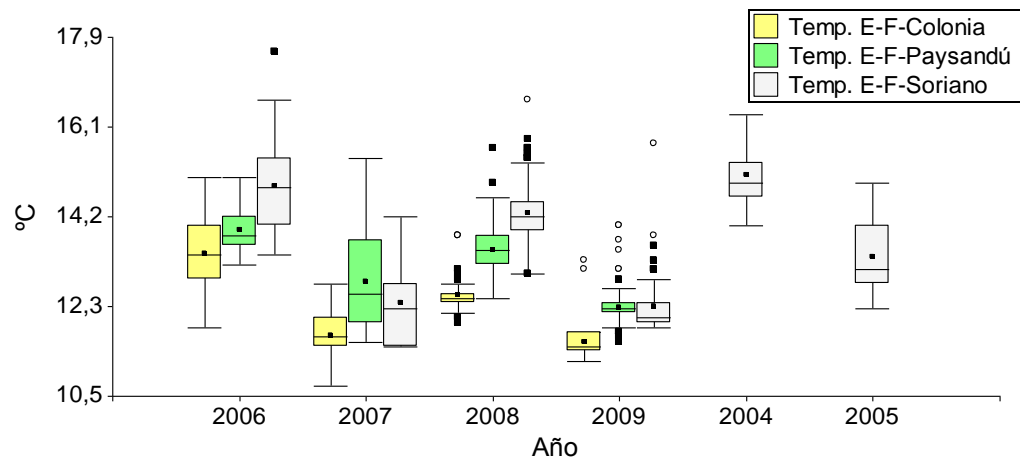


Figura No. 11. Distribución de las temperaturas medias en emergencia-floración según localidad y año.

Considerando el efecto en conjunto del año y la localidad, las medias variaron de 11.6°C a 15°C con un coeficiente de variación de 4.5%. Las menores temperaturas se registraron en Colonia en el 2009 y 2007, siendo estadísticamente iguales ($p \leq 0.05$) entre ellas, mientras que las mayores se dan en Soriano 2004/2006/2008 y en Paysandú 2006 en este caso son estadísticamente ($p \leq 0.05$) diferentes entre ellas (ver apéndice No. 10). Estos resultados eran esperables, porque como se había visto en la Figura No. 3 Colonia registraba las menores temperaturas, y entre Paysandú y Soriano prácticamente no había diferencia, además los años 2009 y 2007 fueron los más fríos en las etapas iniciales de desarrollo del cultivo.

4.2.5 Precipitaciones entre emergencia-floración

Para la serie de años analizados esta variable presentó una media de 225 mm, con un coeficiente de variación del 40%, presentando un máximo y un mínimo de 588 mm y 73 mm respectivamente.

Se diferencian 2 grupos de años (Figura No. 12), los que tienen una media de 170 a 185 mm (2004, 2006 y 2008) y los que tienen una media entre 276 y 311 mm (2005, 2007 y 2009). El año que presentó mayor variabilidad es el 2006, con un coeficiente de variación de 44% y el año de menor variación fue el 2004 (CV =16%). Entre los años 2008 y 2004 no hay diferencias estadísticas, lo mismo sucede entre el 2007 y 2005, los años restantes se diferencian ($p \leq 0.05$) de los demás (ver apéndice No. 11). Las precipitaciones en este periodo se tornan importantes, como lo indicó Ernst y Luizzi (1987) donde los años que rindieron más de 4000 kg/ha, las precipitaciones de julio y agosto fueron un 45% menor (82 mm) que las ocurridas en los años con rendimientos menores a 2500 kg/ha (183 mm).

Considerando que la duración en días de emergencia-floración fue en promedio de 100 días y que las lluvias mensuales oscilan en los 100 mm (ver Figura No. 5, Serie histórica), las precipitaciones normales se ubicarían en los 300 mm aproximadamente, por lo tanto 2005, 2007 y 2009 fueron años normales mientras que 2004, 2006 y 2008 las precipitaciones para este período fueron deficientes. Dentro de cada año también se observan chacras que se alejan de los valores promedios.

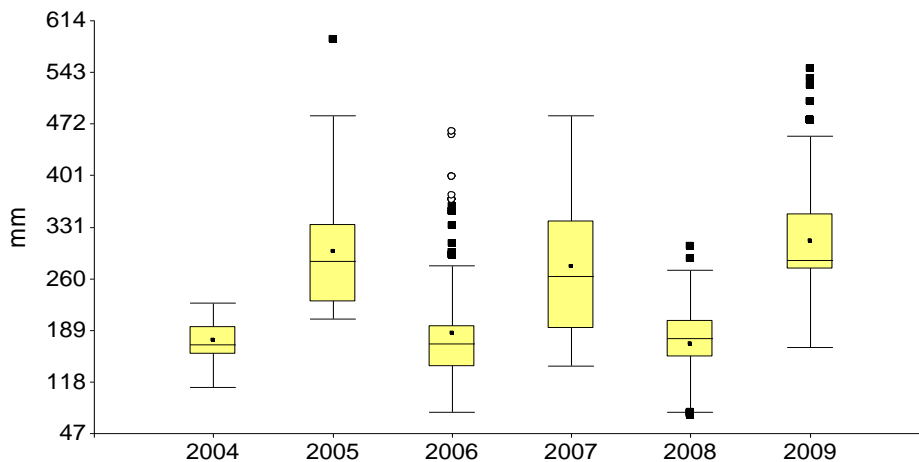


Figura No. 12. Precipitaciones emergencia-floración según año.

Analizando el efecto localidad, Colonia y Soriano registraron estadísticamente ($p \leq 0.05$) las mayores precipitaciones durante este período y no se diferencian entre ellos (ver apéndice No. 12).

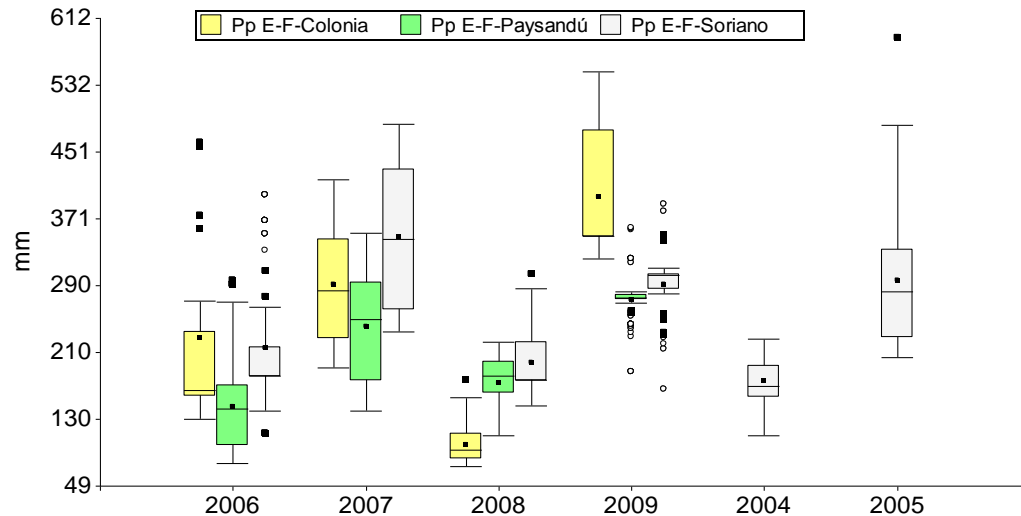


Figura No. 13. Distribución de las precipitaciones emergencia-floración según localidad y año.

Para la mayoría de los años y localidades hay diferencias estadísticamente significativas entre ellos ($p \leq 0.05$), no habiendo diferencia entre Paysandú 2008 y Soriano 2004, Colonia 2006 y Soriano 2006, Colonia 2006 y Paysandú 2007, Paysandú 2009 y Colonia 2007 y entre Colonia 2007 y Soriano 2009/2005. Los casos extremos corresponden a Colonia 2008 con una media de 99 mm y a Colonia 2009 con 396 mm (ver apéndice No. 13).

4.2.6 Precipitaciones durante el periodo crítico de determinación del rendimiento de trigo

Considerando el periodo crítico como 20 días pre-floración a 10 días post-floración (Fisher, 1985), se registró una media de 103 mm para dicho periodo con un coeficiente de variación del 62%, con casos extremos de 6 mm y 319 mm. El 50% de las chacras recibió precipitaciones entre 48 y 121 mm, un 10% de ellas acumularon más de 206 mm, y un 10% estuvo por debajo de los 28 mm. Los valores normales para este período considerando la Serie Histórica (ver Figura No. 5) se ubican en los 100 mm.

Gonnet y De León (1978) determinaron que un 57% de la variación de rendimiento observada a nivel experimental responde al balance hídrico en los meses de septiembre, octubre y noviembre, Tavella et al. (1978) demostraron que por cada milímetro de lluvia en exceso durante estos meses el rendimiento desciende 1 kg/ha explicado por el ataque de *Septoria tritici*. Hoffman et al. (2012b) demostraron que los máximos rendimientos en trigo se obtienen con valores de precipitaciones entre 300 y 400 mm en los meses de septiembre, octubre y noviembre. Todos estos trabajos mencionados abarcan un período mayor al crítico, incluyendo también parte del encañado y llenado de grano, por lo que no se pueden comparar los valores absolutos

El año 2008 fue el que presentó la menor media (52mm) estadísticamente ($p \leq 0.05$) y el mayor coeficiente de variación (58%), mientras que la mayor media se registró en el año 2007 (219mm), siendo junto con el 2005 los años menos variables ($CV=24\%$ y 21% respectivamente). Para los restantes años las medias se ubicaron entre los 89 mm y 123 mm, el 2004 y 2005 no se diferenciaron estadísticamente ($p \leq 0.05$) pero si se diferencian los demás años (ver apéndice No. 14).

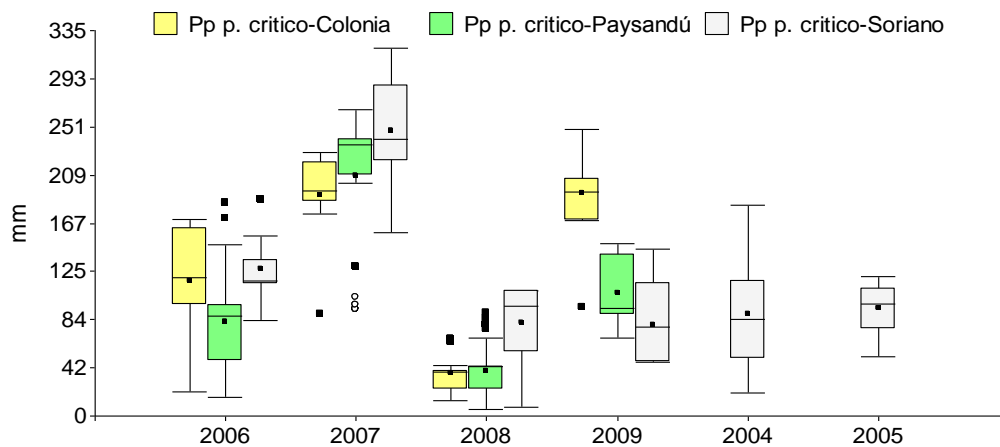


Figura No. 14. Distribución de las precipitaciones en el período crítico según localidad y año.

Las precipitaciones en el periodo crítico se diferencian estadísticamente entre años y localidades, pudiéndose distinguir tres grupos. El primero abarca las localidades de Colonia y Paysandú 2008 con un rango medio de precipitaciones de 37 a 39 mm; el segundo grupo corresponde a Soriano 2004/2005/2006/2008/2009, Paysandú 2006/2009 y Colonia 2006 con un rango de 79 a 128 mm, dentro del mismo S 2009, S 2008, P 2006 y S 2004 no presentan diferencias entre ellos, al igual que Soriano 2004 y 2005, P 2009 y C 2006, y Colonia y Soriano 2006; el tercer grupo se encuentra conformado por

Colonia 2007/2009, Paysandú 2007 (no habiendo diferencias estadísticas entre ellos $p \leq 0.05$) y por Soriano 2007, el rango de precipitaciones para este grupo fue de 191 a 248 mm (ver apéndice No. 15).

4.2.7 Coeficiente fototermal (Q) durante el periodo crítico de definición del rendimiento de trigo

La media para la serie de años analizada fue 1.82, con un mínimo de 1 y un máximo de 2.94, presentando un desvío con respecto a la media 0.38. El 50% de las chacras se ubicaron entre valores de 1.51 a 2.09, estos valores son buenos, debido a que en años normales este valor oscila entorno a 1.2 para el Uruguay (Hoffman et al., 2002). Valores de 1.34 $Mj.m^2.dia/^{\circ}C$ pueden ser considerados limitantes para obtener rendimientos elevados (Hoffman et al., 2012b)

Este coeficiente presentó una gran variabilidad entre años explicado por las diferentes condiciones climáticas (temperatura y radiación) ocurridas en cada uno de ellos, sumado a la variabilidad generada por la combinación entre fecha de siembra y ciclo de cada chacra.

Considerando el efecto de la localidad, Colonia registró valores significativamente ($p \leq 0.05$) más altos que Soriano y Paysandú, los cuales no se diferencian entre ellos (ver apéndice No. 15), estos resultados son esperables dadas las diferencias en temperaturas entre las localidades (Figura No. 3). Tomando en cuenta solo esta variable podríamos decir que Colonia tendría en primera instancia un mayor potencial de rendimiento.

Los años 2007 y 2009 fueron los más contrastante con respecto a la media (1.42 y 2.33 $Mj.m^2.dia/^{\circ}C$ respectivamente) (Figura No. 16) y son estadísticamente diferentes (ver apéndice No. 17). El año que presentó mayor variación fue el 2005, con un mayor coeficiente de variación (15%), en cambio el 2004 presentó la menor variabilidad del periodo (5%).

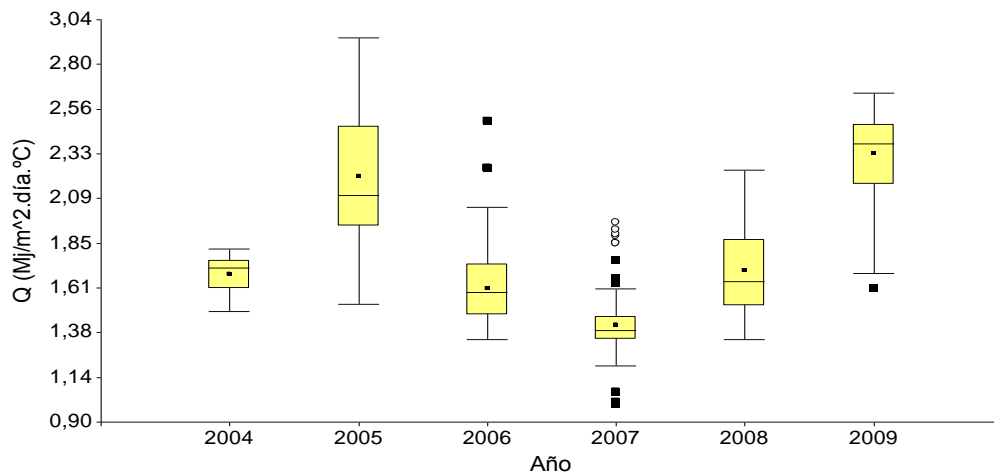


Figura No. 15. Distribución de los valores Q en el periodo crítico según año.

La media del Q durante el PC del cultivo presentó una gran variabilidad, con valores mínimos de 1.35 y máximo de 2.49 $\text{Mj.m}^2.\text{día}/^\circ\text{C}$. Se pueden agrupar a *P 2007, S 2007, P 2006 y S 2008 (estos tres últimos son estadísticamente iguales $p \leq 0.05$) como el grupo que registró los menores valores, y el grupo superior estaría conformado por S 2009, S 2005, P 2009 y C 2009, los cuales se diferencian ($p \leq 0.05$) entre ellos y los demás, el resto de las localidades y años tomaron valores intermedios, pero con algunas diferencias significativas ($p \leq 0.05$) (ver apéndice No. 18). * P=Paysandú, S=Soriano, C=Colonia.

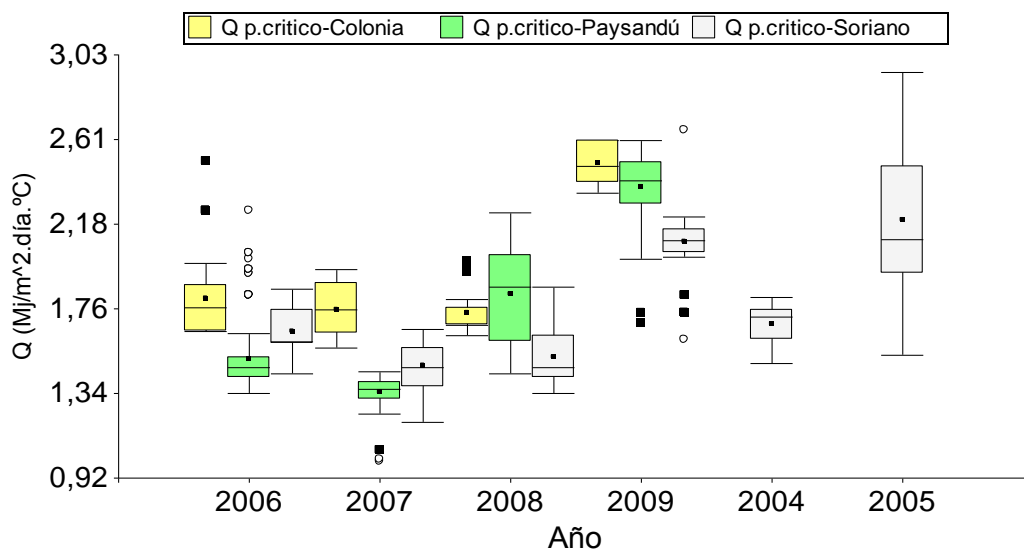


Figura No. 16. Distribución de los valores de coeficiente fototermal (Q) en el periodo crítico según año y localidad.

4.2.8 Temperatura media del período del llenado de grano

Para el cálculo de esta variable se consideró la temperatura promedio ocurrida durante los 30 días post-floración, con el fin de determinar su efecto durante el llenado grano.

La media se ubicó en 18.8°C, con un mínimo y un máximo de 13.1 y 27.5 respectivamente (Cuadro No. 1). En el 50% de las chacras el cultivo llenó granos con temperatura media entre de 17.7 y 20°C. Considerando que la temperatura óptima para este periodo es de 18- 20 °C (Romero y Germán, 2001) el 25% de las chacras se ubicaron por encima de estos valores.

Con respecto a la serie de años, la temperatura presentó variaciones, no siendo esta de la misma magnitud para todos ellos, en el año 2009 se da el mayor coeficiente de variación con un valor de 11%, lo contrario sucede para el año 2004 donde se da el mínimo valor (CV 2%). Considerando la media de temperatura para este periodo, el 2008 fue significativamente ($p \leq 0.05$) más cálido y el 2009 el más frío (ver apéndice No. 19).

Analizando el efecto localidad Colonia presenta una media de 17,3°C, Paysandú 18,3 y Soriano 19,2°C habiendo diferencia significativa entre ellas ($p \leq 0.05$) (ver apéndice No. 20).

En cuanto al efecto año por localidad la media presentó valores extremos de 15.5 y 21.5 para las localidades de C (Colonia) 2009 y S (Soriano) 2008 respectivamente, presentando diferencias significativas ($p \leq 0.05$) con el resto de las localidades y años (Figura No. 17). P (Paysandú) 2009 y C 2007 fueron estadísticamente ($p \leq 0.05$) iguales, al igual que C 2007, S 2009, S 2004, C 2006, S 2005 y P 2007; C 2006, S 2005, P 2007 y C 2008 (ver apéndice No. 21).

Para Paysandú 2006/2008 y Soriano 2007 las temperaturas registradas no presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$), pero si con las restantes localidades, ocurriendo lo mismo para Soriano 2006 (ver apéndice No. 20).

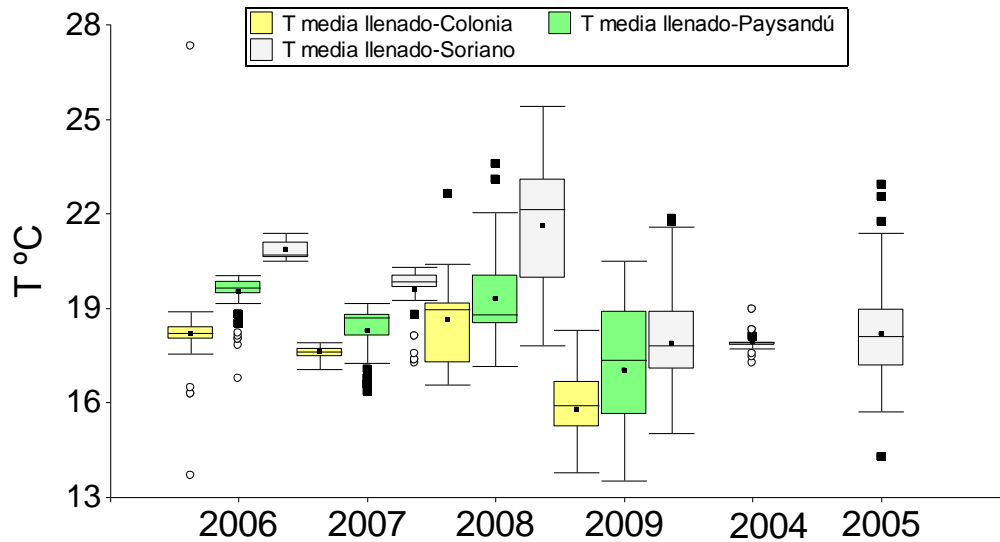


Figura No. 17. Temperatura media durante el llenado de grano según año y localidad.

4.2.9 Precipitaciones durante el llenado de grano

Para dicho periodo las chacras acumularon en promedio 114mm, con un coeficiente de variación de 47%, los máximos y mínimos fueron de 18mm y 294mm respectivamente. El 50% de los valores se ubicaron entre 76 y 165 mm.

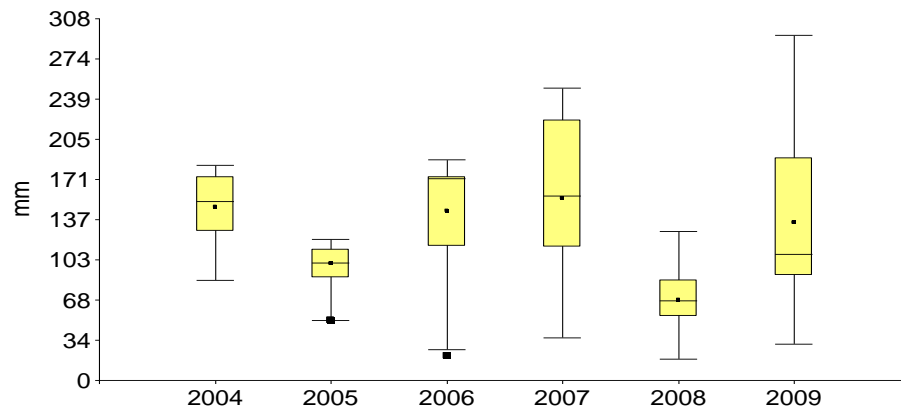


Figura No. 18. Distribución de las precipitaciones durante el llenado de grano según año.

El 2008 fue el que registró estadísticamente ($p \leq 0.05$) menores precipitación con una de media de 68 mm, en el 2007 se dan los mayores

(media=155mm) registros, pero este no se diferencia ($p \leq 0.05$) con el 2004, además presentó la menor variabilidad (CV=18%), mientras que la mayor variabilidad se da en el 2009 (CV=42%). Cuando se analizan las precipitaciones por localidades no existen diferencias significativas entre ellas ($p \leq 0.05$) (ver apéndice No. 22).

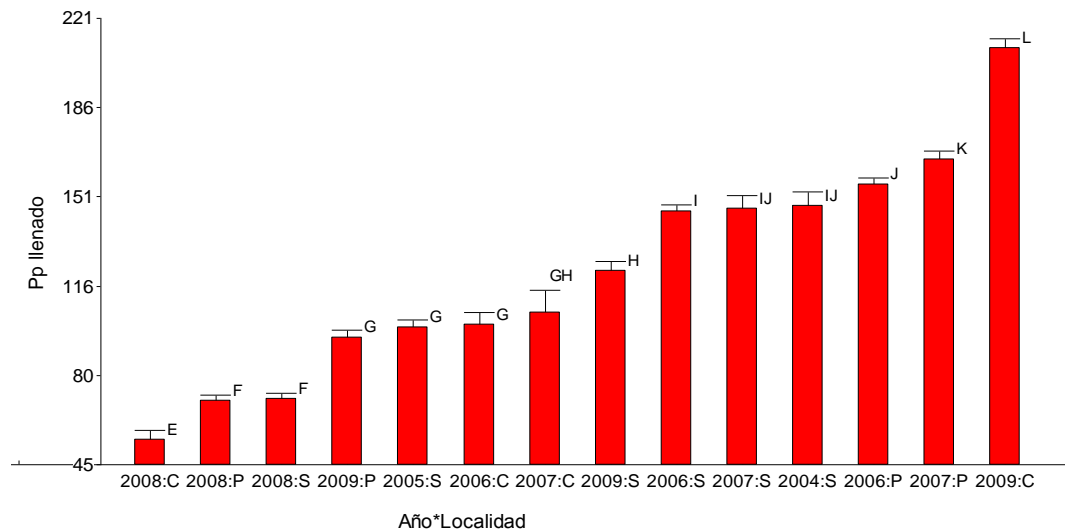


Figura No. 19. Análisis de varianza de las precipitaciones durante el llenado de grano según año y localidad.

Las precipitaciones ocurridas en el periodo presentaron una gran variabilidad (CV 28%), las medias oscilaron de 55 mm hasta 210 mm, perteneciendo estos casos extremos a Colonia en el 2008 y en el 2009 respectivamente, presentando diferencias con las demás localidades. Los restantes casos presentan un comportamiento intermedio, no existiendo una localidad que se diferencie estadísticamente de todas las demás, pero existen grupos de localidades y años que se diferencian con las restantes, como el caso de P 2006, S 2004 y 2007 que no presentan diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre ellas, a su vez estas dos últimas no se diferencian de S 2006. No hay diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre P 2009, S 2005, C 2006 y C 2007, pero esta última no difiere de S 2009.

El déficit hídrico durante el llenado del grano reduce el crecimiento del cultivo en esta etapa y en consecuencia puede afectar el peso de mil granos (Abbate, 1998). La duración de esta etapa para nuestro trabajo se consideró como los 30 días post-floración, por lo que sería esperable 100 mm de lluvia en dicho período, en este sentido solo en el año 2008 las precipitaciones medias se encuentran muy por debajo de este valor.

4.2.10 Descripción de la variabilidad de rendimiento del trigo

Para la serie de datos analizados, se obtuvo una media de rendimiento de 3344 kg/ha, con un mínimo y máximo de 545 y 6252 kg/ha respectivamente, y un coeficiente de variación de 26%. El 10% de las chacras obtuvieron rendimientos menores a 2242 kg/ha, mientras que el 10% superior se ubicaron por encima de los 4429 kg/ha. El 50% los datos osciló entre los 2278 y 3913 kg/ha. Esta variabilidad fue mayor a la registrada por Guido e Iewdiukow (1991) del 13.3 al 17.5 % al igual que los rendimientos medios (2250 kg/ha).

Si se analizan los rendimientos medios por año, el 2006 fue el de menor promedio (3093 kg/ha), pero no se diferenció estadísticamente ($p \leq 0.05$) con el 2008. Además en ese año (2006) se registraron los rendimientos mínimos (554 kg/ha) y el mayor coeficiente de variación. El 2004 fue el año de mayor rendimiento promedio (3869 kg/ha), siendo este también el año con menos variabilidad, aunque no se diferenció estadísticamente ($p \leq 0.05$) con el 2009 (Cuadro No. 5 y Figura No. 20).

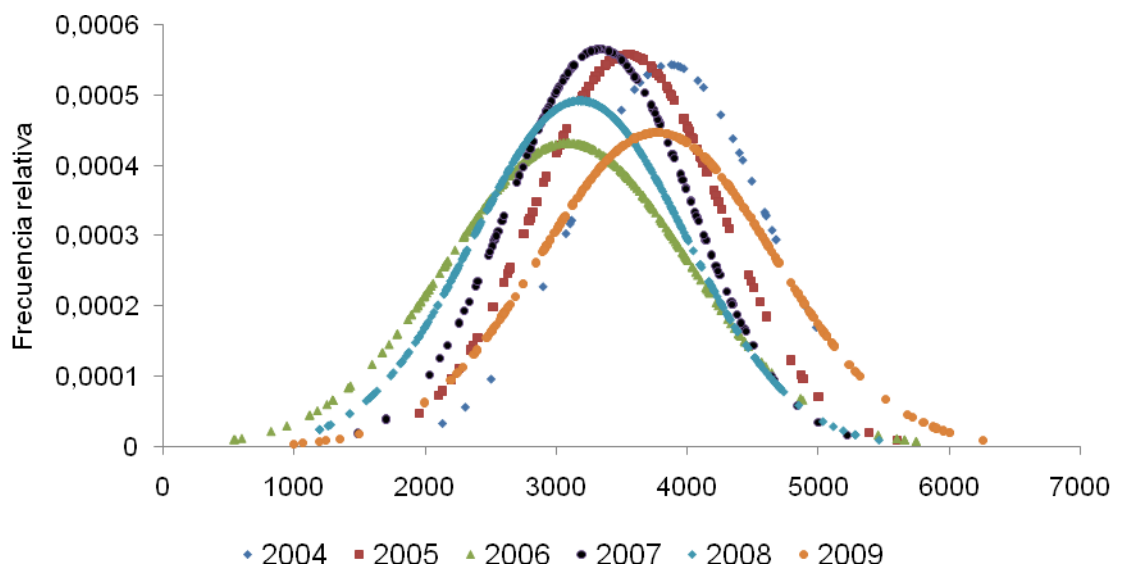


Figura No. 20. Distribución normal de los rendimientos de chacra de trigo según año.

Cuadro No. 5. Análisis de varianza de rendimiento según año.

Año	Medias	N	E.E.	
2006	3092	339	45	a
2008	3182	466	39	ab
2007	3333	155	67	b
2005	3543	126	74	c
2009	3770	276	50	d
2004	3869	35	141	d

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Cuando se analiza el rendimiento por localidad, Paysandú se diferenció significativamente ($p \leq 0.05$) de las demás localidades con mejores rendimientos, pero cuando se agrega al modelo de análisis de varianza el efecto año, Soriano y Paysandú no presentan diferencias significativas entre ellos pero si con Colonia donde los rendimientos son menores. Existió una mayor variabilidad entre las chacras ubicadas en Colonia ($CV=32\%$), mientras que en Soriano y Paysandú la variabilidad fue menor y similares entre ellas ($CV=24\%$ y 25% respectivamente) (ver apéndice No. 23).

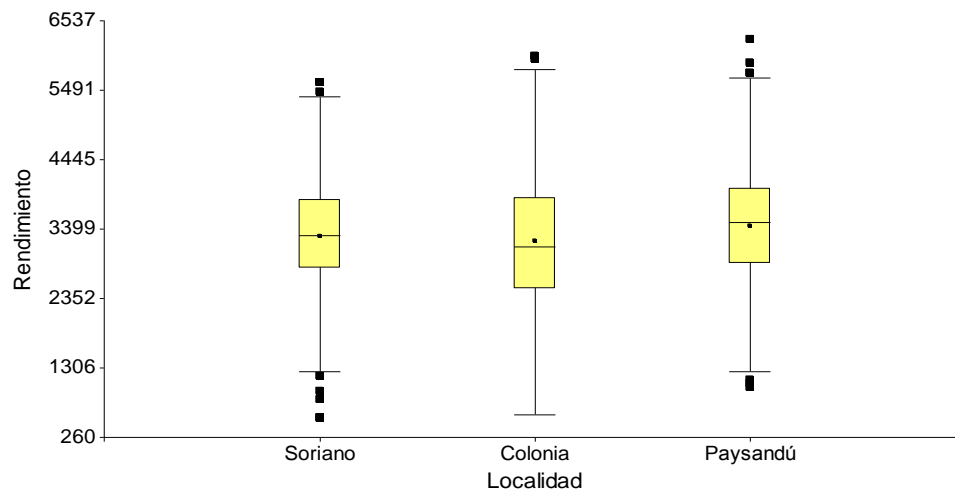


Figura No. 21. Distribución de los rendimientos según localidad.

Analizando el efecto del año y la localidad en conjunto, estadísticamente se pueden diferenciar tres grupos. El primero en el que se encuentran los menores rendimientos (2893 a 3358 kg/ha), abarcando a Colonia 2006/2007/2008, Soriano 2006/2008 y Paysandú 2007; el segundo grupo en el que se ubican las chacras que lograron un rendimiento medio (entre 3408 y 3674 kg/ha), correspondiendo a Soriano 2005/2007/2009, Paysandú 2008 y Colonia 2009; y el tercer grupo, de mayor rendimiento (entre 3869 y

3934 kg/ha) abarca chacras de Soriano 2004 y Paysandú 2009 (ver apéndice No. 24).

4.2.10.1 Rendimiento según época de siembra

En la siguiente figura se muestran los rendimientos a través de una media móvil según día de siembra, esta media promedia los rendimientos de los próximos 10 días, esto permite disminuir las variaciones que existen cuando se está considerando un solo el día de siembra.

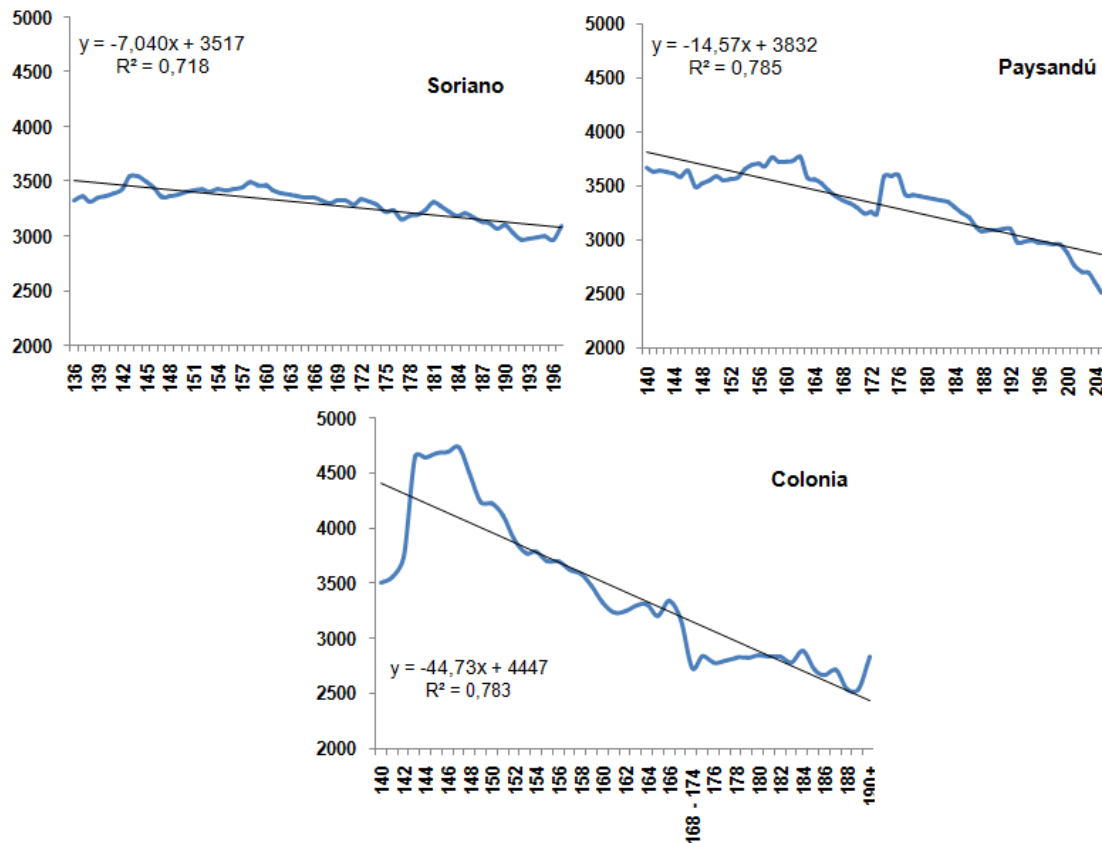


Figura No. 22. Rendimiento medio (kg/ha) según día de siembra por localidad.

Como se aprecia Colonia es el que presenta los rendimientos más altos a días de siembras más tempranos, explicado por el uso de cultivares de ciclo largo en esos días, lo que permitió que el periodo de llenado de grano se dé en buenas condiciones (Q y precipitaciones), determinando por consiguiente buenos rendimientos, pero es el que presenta caídas con mayor intensidad a medida que nos atrasamos en la siembra, en cambio en Soriano hay una

tendencia en mantener los rendimientos hasta el día 165 aproximadamente, luego comienzan a descender pero con disminuciones no tan importantes, es decir que los rendimientos son más estables en el tiempo, un comportamiento similar ocurre con Paysandú pero las disminuciones comienzan en el día 167 y con una mayor intensidad, registrando los rendimientos más bajos a fechas de siembras tardías.

Observando las ecuaciones que se le ajustaron a cada curva se ve que Soriano presenta una menor caída de rendimiento por cada día de atraso en la fecha de siembra y el máximo más bajo, disminuyendo 7 kg/ha, el caso opuesto es Colonia con 45 kg/ha por cada día de atraso y es el que presenta el máximo más alto. Paysandú toma valores intermedios, con una caída de 15 kg/ha por atraso en la época de siembra y un máximo de 3832 kg/ha.

Se destaca la reducción de los rendimientos a medida que se atrasan las fechas de siembra en Colonia y en Soriano la ausencia de altos rendimientos en las siembras tempranas y normales. Para el primer caso no se dispone de información adicional para explicar dicho comportamiento, pero para el caso de Soriano, la ausencia de los máximos medios no significa que no se hallan registrados, sino que hubo chacras puntuales que presentaron bajos rendimientos lo que redujo la media para estas fechas.

Considerando lo expuesto anteriormente se puede afirmar que el efecto época de siembra sobre los rendimientos fue mayor en Colonia, siendo de muy bajo efecto en Soriano y un nivel intermedio en Paysandú. Por lo que sería de importancia un correcto ajuste de la fecha de siembra en aquellas localidades donde el efecto es mayor.

4.3 ANÁLISIS DE LAS VARIABLES

4.3.1 Árbol de clasificación y regresión

A continuación se expone el árbol de clasificación y regresión obtenido con el programa Infostat, con el mismo se buscó determinar cuáles eran las variables de mayor impacto sobre los rendimientos, para poder analizar dichas variables más en profundidad en los estudios posteriores.

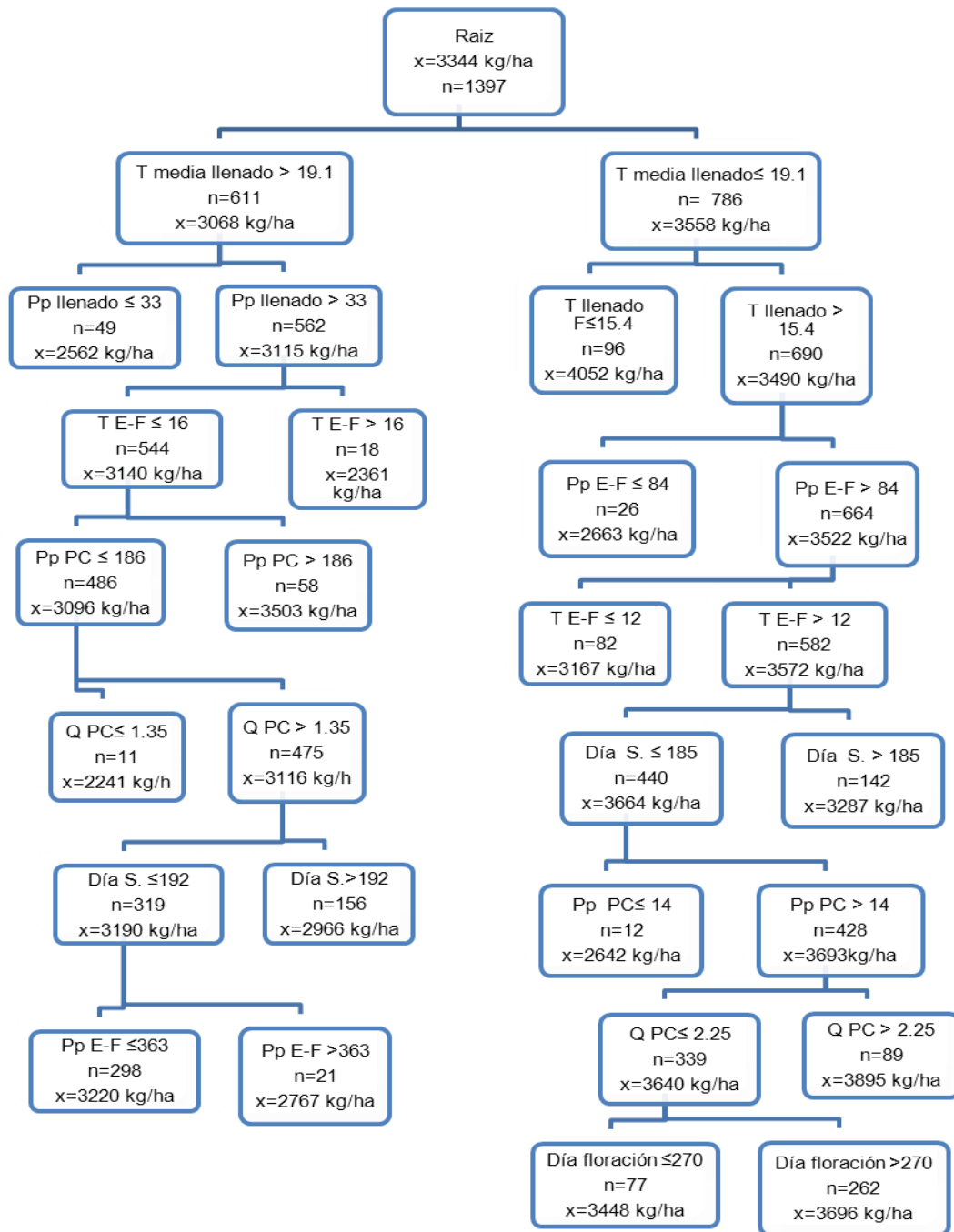


Figura No. 23. Árbol de clasificación y regresión de rendimiento de trigo y las variables ambientales que caracterizan cada chacra.

La primera variable que separa los rendimientos en dos grandes grupos es la temperatura media durante el llenado de granos, agrupando chacras en las que fueron mayores a 19.1°C (3068kg/ha) y en menores a 19.1°C (3558kg/ha). Las temperaturas elevadas durante este periodo están inversamente relacionadas con el peso de grano y por consiguiente con el rendimiento como lo indica Savin (1990).

El grupo de menor rendimiento, asociado a mayor temperatura media durante el período de llenado de grano, abarca 611 chacras y presenta una media de 3068 kg/ha. Este grupo se divide por las precipitaciones ocurridas durante el llenado de granos, con una media de rendimiento de 2526 kg/ha para chacras que recibieron menos de 33 mm durante estos 30 días contra 3115 kg/ha en las que recibieron más de 33 mm de lluvia. Dentro de estas últimas chacras la variable que toma importancia es la temperatura registrada en emergencia-floración, agrupándolas en mayores a 16°C con un rendimiento medio de 2361 kg/ha, estas chacras correspondieron a siembras de agosto lo que determinó una corta duración del periodo E-F (77 días) y temperaturas promedio de llenado de 21°C. Cuando las temperaturas fueron menores a 16°C (E-F) determinaron un ciclo E-F de 100 días, esto provocó una mayor duración de los estadios temprano de desarrollo de la espiga y consecuentemente un aumento del número de espiguillas lo cual está asociado a un mayor rendimiento (D' Amico et al., 1986), además el periodo de llenado de grano se dio con temperaturas menores (20 C°), obteniéndose 3140 kg/ha.

Este último grupo (Temperaturas E-F menores a 16°C) se subdivide en las precipitaciones ocurridas en el periodo crítico, donde se separan en chacras que recibieron más o menos a 186 mm, las que registraron mayores lluvias obtuvieron una media de 3500 kg/ha, en cambio para las demás la media fue de 3096 kg/ha, dentro del grupo de menores precipitaciones hubieron chacras que presentaron déficit hídrico lo cual determinaron un menor rendimiento.

Las que recibieron menores precipitaciones en el PC (período crítico) fueron afectadas por el CFT, agrupándolas con un Q mayor a 1.35 Mj/m².dia.°C (3116kg/ha) o menor a 1.35 Mj/m².dia.°C (2241kg/ha).

Dentro de las que obtuvieron mayor Q se produce una nueva división, en donde aparece el día siembra como determinante, lo que significó que las chacras sembradas después del 10 de julio (día 192) rindieran 2966 kg, en cambio las que se sembraron antes de esta fecha rindieron 3190 kg/ha en promedio. Dentro de esta, la última variable que toma importancia son las precipitaciones ocurridas en emergencia-floración, obteniendo una media de 3220 kg/ha para las chacras que les llovió menos de 363 mm y 2767 kg/ha para las que le llovió mas, estas últimas están ubicadas en Soriano y corresponden a

cultivares de ciclo largo (130 días E-F) y de bajo potencial de rendimiento como es el INIA Tijereta.

Las chacras que registraron en el periodo de llenado de granos temperaturas menores de 19°C promediaron los 3558 kg/ha. Una nueva división fue establecida, considerando la misma variable, dentro de las cuales aquellas que registraron menos de 15°C en el periodo promediaron los 4052 kg/ha, estas chacras corresponden mayoritariamente al 2009, donde las condiciones ambientales ($Q=2,44$ MJ/m².dia.°C y precipitaciones) y de manejo fueron favorables, las que se ubicaron entre 15 y 19°C rindieron 3490 kg/ha. En este último grupo comienzan a ser importantes las precipitaciones en emergencia-floración, donde se pueden separar aquellas que recibieron más o menos de 84 mm en el periodo, obteniéndose una media de 3522 y 2663 kg/ha respectivamente, estos bajos rendimiento corresponden a chacras de Colonia en el 2008 donde las bajas precipitaciones registradas en ese años afectaron el periodo crítico (31 mm) y el llenado de grano (64 mm), además los valores de coeficiente fototermal fueron bajos (1,70Mj/m².dia.°C), siendo el agua el principal factor limitante para este caso.

Las chacras que recibieron más de 84 mm se separaron por las temperaturas emergencia-floración, en las cuales se dividen en temperaturas mayores o inferiores a 12°C, teniendo un efecto negativo las temperaturas muy bajas, a este efecto se le suma los altos registros de precipitaciones en el periodo E-F (326 mm) y en el llenado de grano (192 mm), lo que determinaron un rendimiento medio de 3167 kg/ha, lo contrario sucede para las temperaturas mayores donde el cultivo se ve favorecido, junto con los valores medios de precipitación en E-F (231mm) y en llenado de grano (104 mm), estos efectos se traduce en un mayor rendimiento (3572 kg/ha), para este último caso el día de siembra comienza a tener efecto, dentro de la cual se pueden discriminar aquellas chacras que fueron sembradas antes o después del 3 de julio (día 185), las que se sembraron más tarde obtuvieron un menor rendimiento, en cambio las épocas más tempranas los rendimiento fueron mayores (3287 y 3664 kg/ha respectivamente).

Para el grupo que presentó fechas de siembras más tempranas, las precipitaciones vuelven a tener efecto, pero en este caso son las que ocurren en el periodo crítico, separándose en chacras que recibieron menos de 14 mm o las que estuvieron por encima de este, rindiendo 2642 y 3693 kg/ha respectivamente, estos bajos rendimientos fueron atribuidos a las bajos niveles de precipitaciones registrado en ese periodo ya que las demás condiciones fueron adecuadas ($Q = 2$, Pp. E-F=140 y Pp. F=60); nuevamente este último grupo se divide a partir del CFT, los que se ubican con un valor menor a 2,25Mj/m².dia.°C y los que están por encima, aquellos que tuvieron un menor

valor de Q generaron un rendimiento medio de 3640 kg/ha y los que estuvieron por encima de ese valor, la media fue de 3895 kg/ha.

La ultima variable que condicionó los rendimientos es la fecha de floración, partiendo de aquellas chacras que se ubicaron con un CFT mayor, esto determina, las que florecieron antes del 26 de septiembre(día 270) tengan un rendimiento inferior a las que florecieron después de este día, 3448 y 3693 kg/ha respectivamente.

En resumen, la primer y más importante variable en definir el rendimiento para las chacras estudiadas fue la temperatura media durante el llenado de grano, y en segundo lugar aparecen las precipitaciones en distintas etapas del cultivo. Esto coincide con lo expuesto por Kohli y Martino (1997) en donde hacen referencia a la importancia del llenado de grano para las condiciones de Uruguay, donde dicen que son tal vez más importantes que el número de granos.

4.3.2 Temperatura media en llenado de grano

En la Figura No. 24 se presenta la evolución de la temperatura media para el conjunto de los años estudiados. Cada valor corresponde al promedio de los próximos 30 días.

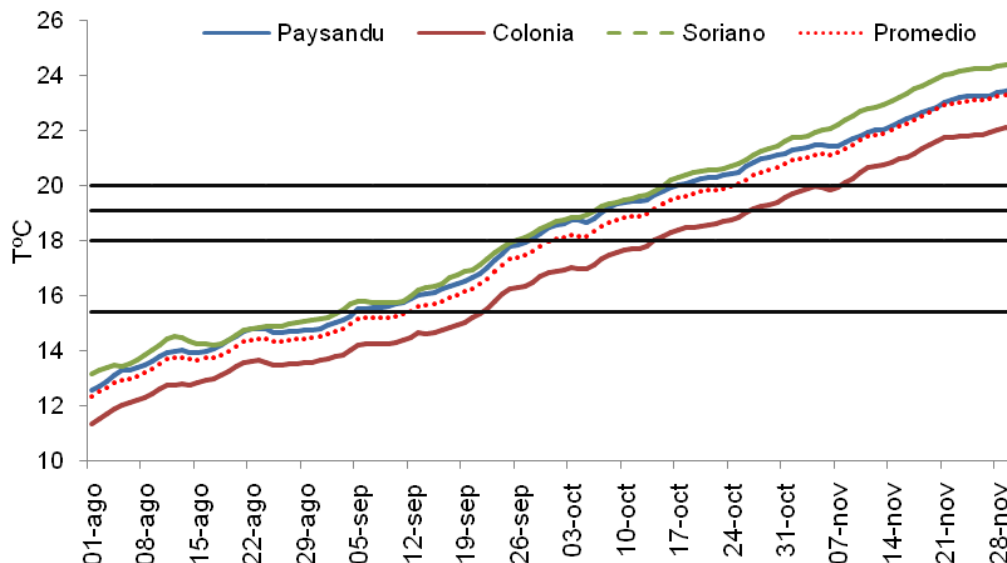


Figura No. 24. Evolución de la temperatura promedio móvil de los próximos 30 días por localidad y rangos óptimos de temperatura para el periodo de llenado de grano.

Además de la evolución de la temperatura se agregaron los rangos óptimos del llenado de granos, 18 a 20 °C indicados por Romero y German (2001) y los sugeridos del árbol de clasificación y regresión presentado en la Figura No. 23 (15.4 a 19.1°C). A partir de estos rangos se determinó el período óptimo para la floración para las distintas localidades, y para el promedio de las mismas (Cuadro No. 6)

Cuadro No. 6. Rangos de floración óptimo según temperatura durante llenado de grano por localidad.

	15.4 a 19.1 °C		18 a 20 °C	
Colonia	21-sep	26-oct	14-oct	08-nov
Paysandú	05-sep	07-oct	28-sep	17-oct
Soriano	02-sep	06-oct	25-sep	15-oct
Promedio	12-sep	13-oct	30-sep	25-oct

Para Colonia el período óptimo para la floración se ubica más tarde en el tiempo que las restantes localidades, determinado por las menores temperaturas registradas. Entre Paysandú y Soriano la diferencia de los rangos son mínimas, ya que tienen un comportamiento similar de temperatura. Comparando con las temperaturas óptimas durante el llenado de grano propuestas por Romero y German (2001), el período óptimo para la floración sería más corto y más tarde para todas las localidades. Del total de las chacras 861 (62 %) ubicaron su floración dentro de las fechas óptimas para las temperaturas de 15.4 a 19.1 °C, mientras que para el caso de las temperaturas de 18 a 20 °C fueron 840 chacras (60 %).

Al considerar las temperaturas y fechas sugeridas de este trabajo, no se considera el riesgo de daños por heladas, ya que no está disponible esta información para cada chacra y, si una chacra fue totalmente afectada y no se cosechó, no integra la base de datos. En el Cuadro No. 7 se presenta la información disponible en INIA La Estanzuela para los meses de septiembre y octubre.

Cuadro No.7. Número de heladas y probabilidad según mes.

Prob. (%)	Setiembre	Octubre
33	2 a 3	0
66	3 a 4	0
90	5 a 8	1 a 2

Considerando un bajo nivel de probabilidad (33%) para el mes de setiembre al menos se estarán registrando 2 a 3 heladas y con 90% de probabilidad habrá entre 5 y 8, lo que podrían estar ocasionando daño al cultivo. En octubre el número de heladas es bajo con alta probabilidad. Considerando esta situación el mejor periodo para comenzar el llenado de grano sería en el mes de octubre para todas las localidades. Cabe agregar que si bien en setiembre el número de heladas es alto las mismas podrían estar ocurriendo en los primeros días, pero esta información no se encuentra disponible.

Cuadro No. 8. Rendimiento medio según mes de floración y localidad

	Colonia	Soriano	Paysandú
Setiembre	3844	3441	3642
Octubre	3100	3266	3355
Noviembre	2650	2988	

En el Cuadro No. 8 se presenta los rendimientos medios según el mes de floración, para todas las localidades las chacras que florecen en setiembre son las que presentan mejores rendimientos, no pareciendo haber efectos de las heladas, pero esto no es totalmente verdadero ya que las chacras que fueron afectadas por heladas y no se cosecharon no aparecen dentro de la base de datos, esto podría estar sobrestimando los rendimientos de este mes.

En la Figura No. 25 se observan los rendimientos según el día de floración por localidad, para la construcción de dicha figura se utilizó el mismo método (media móvil) que la figura No. 22. En este caso se toma como variable dependiente el día de floración, lo que nos permite corregir el ciclo de los distintos cultivares y observar más precisamente el efecto de la temperatura sobre el rendimiento durante el llenado de granos, ya que la misma está condicionada por la fecha de floración.

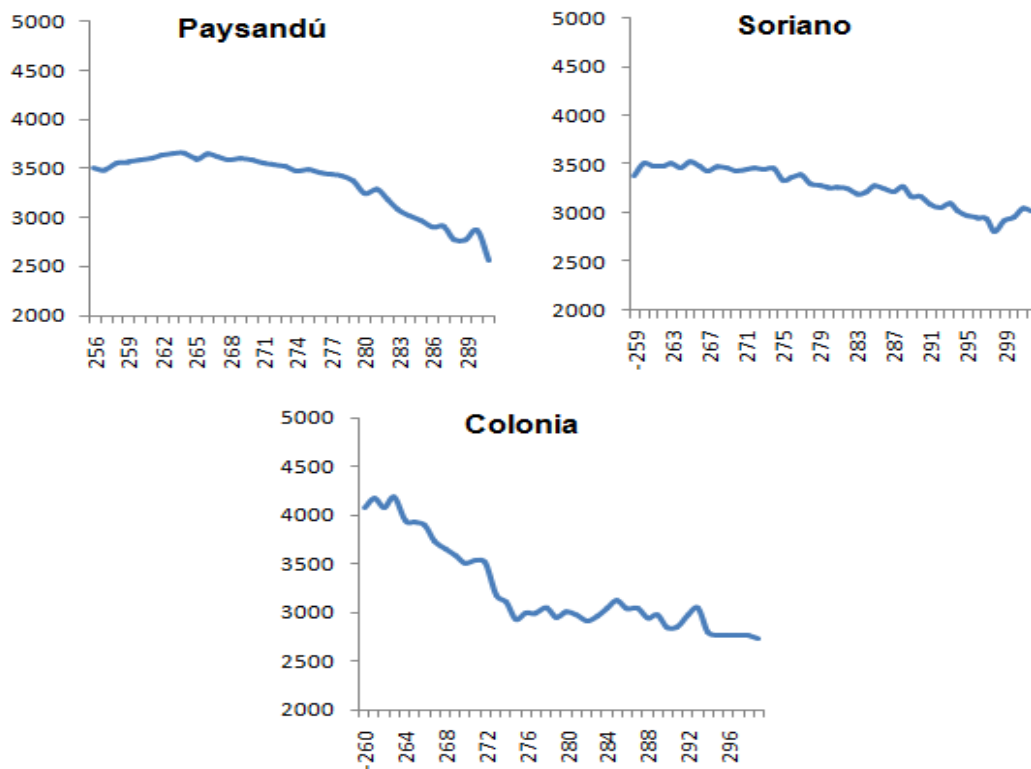


Figura No. 25. Rendimiento medio según día de floración.

En términos generales las curvas de rendimiento toman la misma forma que para día de siembra para las distintas localidades. Se observa que cuando la floración se va dando más tarde los rendimientos disminuyen, no siendo de la misma magnitud para las distintas localidades.

Para la localidad de Colonia si bien los rendimientos son más altos en fechas tempranas, se produce una fuerte caída desde el 16 de septiembre (día 260) al 30 de septiembre (día 274), pasando de 4000 kg/ha a 3100 kg/ha, en las fechas posteriores las disminuciones de rendimiento son de menor intensidad, llegando a los 2700 kg/ha en las floraciones más tardías.

Como se observa en la localidad de Paysandú los rendimientos se mantienen estables entorno a los 3500 kg/ha desde las fechas más tempranas al 4 de octubre (278), para luego registrarse un descenso, llegando a los 2560 kg/ha para floraciones posteriores al 17 de octubre (291), siendo además este valor el mínimo rendimiento observado para todos los casos.

Para el caso de Soriano si bien es el que presenta una caída menos pronunciada, la misma se da desde el comienzo, pasando desde 3500 kg a

3000 kg en floraciones del 16 de septiembre al 26 de octubre, siendo además la localidad que presenta más altos rendimientos en floraciones más tardías.

4.3.2.1 Fechas de siembra óptima

Con la información de los rangos óptimos de floración obtenida en el cuadro No. 6 se tomaron las chacras que florecieron dentro de dichas fechas y se calculó como se distribuyó la siembra de las mismas, según el ciclo del cultivar y localidad. Esta información nos dará una aproximación a rangos tentativos de siembra para que la floración ocurra dentro de las fechas de floraciones óptimas.

Cuadro No.9. Días de siembra para las chacras que florecieron dentro de las fechas óptimas para temperaturas de 15.4 a 19.1°C.

Localidad	Ciclo	Media	P(10)	P(25)	P(75)	P(90)
Colonia	I	176	157	162	187	203
Colonia	L	148	130	130	159	170
Paysandú	I	169	146	155	185	193
Paysandú	L	146	141	142	148	154
Soriano	I	162	149	156	169	178
Soriano	L	141	126	137	148	151

En el Cuadro No. 9 presenta cómo varió la fecha de siembra para las chacras que florecieron dentro de los rangos óptimos establecidos. Para la localidad de Colonia el 80% de las chacras sembradas con cultivares de ciclo intermedio se sembraron entre el 5 de junio y el 21 de julio. Para los cultivares de ciclo largo la siembra se ubicó entre el 7 de mayo y el 18 de junio. En Paysandú para obtener los mismos resultados, la fecha de siembra vario del 25 de mayo al 11 de julio y del 20 de mayo al 2 de junio para los cultivares de ciclo intermedio y largo respectivamente. Por último para localidad de Soriano variaron del 28 de mayo al 26 de junio para los cultivares de ciclo intermedio y del 5 al 30 de mayo para los de ciclo largo.

Cuadro No. 10. Días de siembra para las chacras que florecieron dentro de las fechas óptimas para temperaturas de 18 a 20°C.

Localidad	Ciclo	Media	P(10)	P(25)	P(75)	P(90)
Colonia	I	204	195	203	205	218
Colonia	L	173	142	146	200	203
Paysandú	I	178	151	164	194	201
Paysandú	L	157	142	143	167	185
Soriano	I	174	154	161	189	196
Soriano	L	150	137	142	163	165
Promedio	I	183	156	167	198	203
Promedio	L	157	130	142	166	187

Considerando el rango de temperaturas óptima de 18 a 20 °C, la fecha de siembra para Colonia vario del 13 de julio al 5 de agosto y del 21 de mayo al 21 de julio para los cultivares de ciclo intermedio y largo respectivamente, para el 80% de los datos. Para Paysandú las fechas oscilaron del 30 de mayo al 19 de julio y del 21 de mayo al 3 de julio para los cultivares de ciclo intermedio y largo respectivamente. Mientras que los rangos de siembra para Soriano van del 2 de junio al 14 de julio para los ciclos intermedio y para los ciclos largos del 16 de mayo al 13 de junio, todos estos rangos de siembra incluyen el 80% de los datos.

Si consideramos ambos rangos de temperatura y las fechas que se superponen, la siembra variarían del 13 de julio al 25 de julio y del 21 de mayo al 18 de junio para los cultivares de ciclo intermedio y largo respectivamente para la localidad de Colonia. En Paysandú del 30 de mayo al 11 de julio y del 21 de mayo al 2 de junio para los cultivares de ciclo intermedio y largo respectivamente. Por ultima en Soriano la fecha de de siembra se ubicaría del a de junio al 26 de junio para ciclos intermedios, y del 16 de mayo al 30 de mayo para los ciclos largos.

Con la información obtenida anteriormente se tomaron como fechas de siembras óptimas aquellas que se ubicaron entre el percentil 10 y 90 (con el objetivo de eliminar valores extremos), correspondiendo a fechas tempranas y tardías las que están fuera de este rango. Estas fechas están calculadas en base a las temperaturas óptimas para el llenado de grano sugeridas del árbol de clasificación y regresión (Figura No. 23).

Cuadro No. 11. Fecha de siembra por localidad y ciclo.

	Colonia		Paysandú		Soriano	
	I	L	I	L	I	L
Temp.	< 5 junio	< 9 mayo	< 25 mayo	< 20 mayo	< 28 mayo	< 20 mayo
Opt.	5 junio-21 julio	9 mayo-18 junio	25 mayo-11 julio	20 mayo-2 junio	28 mayo-26 junio	20 mayo-30 mayo
Tard.	> 21 julio	> 18 junio	> 11 julio	> 2 junio	> 26 junio	> 30 mayo

Temp. = temprana, Opt.=optimas, Tard.=tardías

Estas fechas de siembra son promediamente más tempranas que las manejadas por Gonnet y De León (1978), pero se aproximan mucho a las manejadas por Hoffman y Castro (2012a) del 7 de mayo al 18 de junio.

A continuación se muestran los rendimientos medio para todas las chacras, según la fecha de siembras calculadas anteriormente.

Cuadro No.12. Rendimiento (kg/ha) medio según fecha de siembra, ciclo del cultivo y localidad, para temperatura de 15.4 a 19.1 °C durante llenado de grano.

	Colonia		Paysandú		Soriano	
	I	L	I	L	I	L
Siembra temprana	4478 A	2728 B	3869 A	3731 A	3493 A	3603 A
Siembra optima	3228 B	3413 A	3576 B	3566 A	3445 A	3342 A
Siembra tarde	2480 B	2722 B	2979 C	2956 B	3131 B	3237 A

. *letras diferentes significan diferencias significativas ($p < 0.05$) dentro de la columna.

Para los cultivares de ciclo intermedio en Paysandú y Colonia los rendimientos de las fechas tempranas fueron superiores a la siembra optima propuesta. En Colonia, la mayoría de la chacras tuvieron temperaturas de llenado de grano por debajo del optimo, las demás variables como el coeficiente fototermal (2,44 MJ.m2.dia/°C) y precipitaciones (125 mm) durante este periodo fueron consideradas buenas para generar un rendimiento superior. En Paysandú el 75% de estas chacras estuvo dentro del rango óptimo de temperatura (Cuadro No. 13) de llenado de grano permitiendo un buen desempeño productivo. Las bajas temperaturas registradas en Colonia durante el llenado de grano (fechas de siembras tempranas) le permito obtener buenos rendimientos, como lo indicó también el árbol de clasificación y regresión

(Figura No. 23), pero recordar que no aparece el efecto de las heladas sobre los mismos.

En cuanto a las siembras tardías y para la mayoría de los casos los rendimientos fueron inferiores, lo cual esta explicado por el alto porcentaje de chacra que esta fuera del rango de temperatura (ver cuadro No. 13) y las demás condiciones no fueron muy favorables.

Cuadro No. 13. Número de chacras dentro de temperatura de llenado de grano (15,4-19,1 C°) según ciclo del cultivar, fecha de siembra y localidad.

		Colonia			Paysandú			Soriano		
Intermedio	Días de siembra	<157	157-203	>203	<146	146-193	>193	<149	149-178	>178
	No. chacras	15	113	7	35	363	99	23	179	218
	Chacras 15,4-19,1C°	5	93	6	29	249	27	17	102	55
Largo	Días de siembra	<130	130-170	>170	<141	141-154	>154	<126	126-151	>151
	No. chacras	3	53	13	3	43	45	2	60	118
	Chacras 15,4-19,1C°	3	43	8	3	24	9	1	17	20

4.4 REGRESIÓN LINEAL

4.4.1 Análisis

A continuación se presenta el análisis de regresión lineal, el cual tiene como objetivo explicar los rendimientos de trigo en función de las variables en estudio.

En el Cuadro No. 14 se muestran las variables que se tomaron en cuenta para la construcción del modelo. Se crearon variables Dummy para Localidad y ciclo del cultivar, estas nos permitió determinar si existió un efecto localidad y un efecto genético sobre los rendimientos respectivamente.

Cuadro No. 14. Variables independientes consideradas para el desarrollo del modelo

Variable	Abreviatura	Definición	Unidades
Temperatura E-F	TEF	Temperatura promedio de emergencia a floración	°C
Precipitaciones E-F	PPEF	Precipitación acumulada de emergencia a floración	Mm
Q periodo critico	QPC	Q promedio 20 días pre-floración a 10 días post-floración	Mj*m2/°C
Precipitaciones periodo critico	PPC	Precipitación acumulada 20 días pre-floración a 10 días post-floración	Mm
Precipitaciones llenado granos	PPLLG	Precipitaciones acumuladas 30 días post-floración	Mm
Temperatura llenado de granos	TLLG	Temperatura promedio de los 30 días post-floración	°C
Ciclo cultivar	C	Dummy: intermedio=0, largo=1	
Localidad Paysandú	LP	Dummy: Efecto localidad	
Localidad Soriano	LS	Dummy: Efecto localidad	

Para la selección de las variables se utilizó el método de Stepwise, Máximo p-valor para entrar: 0.15 Máximo p-valor para retener: 0.15. El número original de regresoras fue de 9, dentro de las cuales quedaron retenidas 6 en el modelo.

Cuadro No. 16. Coeficientes de regresión y estadísticos asociados

Coeficientes	Est.	E.E.	LI(95%)	LS (95%)	T	p-valor	CpMallows
Const.	4742	511,42	3738,57	5745,04	9,27	< 0,0001	
T. llenado granos	-85,9	17,82	-120,85	-50,93	-4,82	< 0,0001	29,21
Q p. critico	314,8	84,07	149,92	479,76	3,74	0,0002	20,01
Localidad Paysandú	492	70,50	353,67	630,26	6,98	< 0,0001	54,66

Localidad Soriano	462	76,19	312,30	611,21	6,06	< 0,0001	42,71
Temp. E-F	-62,4	29,87	-121,01	-3,83	-2,09	0,0368	10,36
Pp p .critico	0,76	0,37	0,04	1,49	2,06	0,0397	10,24

En el Cuadro No. 16 se muestran las variables que fueron seleccionadas por el programa para la estimación del modelo, además se puede observar los distintos coeficientes, y que todas ellas son significativas ($p < 0.05$). La temperatura presenta un efecto negativo sobre el rendimiento, tanto en el llenado de granos como en E-F, las demás variables tienen un efecto positivo, existiendo además un efecto localidad. A continuación se expone el modelo de regresión múltiple que explica el rendimiento.

$$\text{Rendimiento (kg/ha)} = 4742 - 86 \cdot \text{TLLG} + 315 \cdot \text{QPC} - 62.4 \cdot \text{TEF} + 0.76 \cdot \text{PPC} (*)$$

(*) Si las chacras están ubicadas en Paysandú o Soriano, se le deben adicionar 492 o 462 kg/ha respectivamente.

El impacto de cada variable sobre el rendimiento se presenta en la Figura 26, la cual considera la variabilidad existente en cada una de ellas multiplicadas por sus respectivos coeficientes. Los resultados se muestran en valores absolutos.

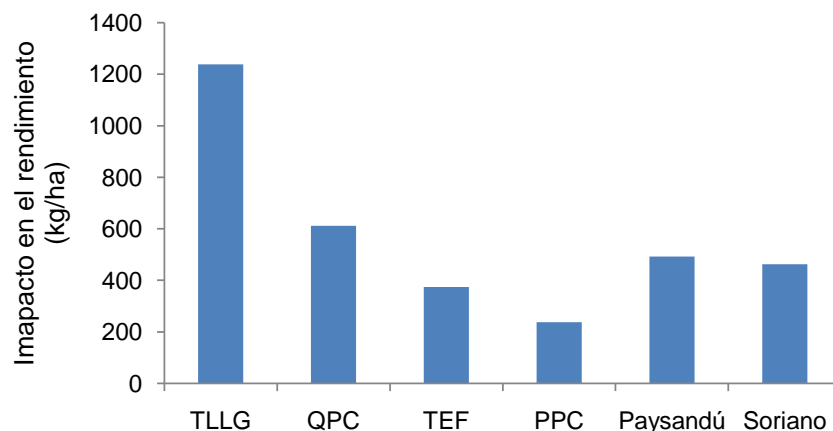


Figura No. 26. Impacto de las variables climáticas y de localidad sobre los rendimientos estimados por el modelo.

La variable con mayor impacto sobre los rendimientos fue la temperatura media registrada en el periodo de llenado de granos (1238 kg/ha), seguida por el coeficiente fototermal durante el periodo crítico (611 kg/ha), efecto de la localidad Paysandú y Soriano (492 y 462 kg/ha respectivamente), temperatura media en el periodo emergencia-floración (375 kg/ha) y la de menor impacto son las precipitaciones registradas durante el periodo crítico (238 kg/ha).

Como era de esperar la temperatura durante el llenado de granos es la principal variable en explicar los rendimientos, tal como lo había indicado el árbol de clasificación. Las precipitaciones tienen menor efecto del que se esperaba, lo que no sería una limitante para obtener los rendimientos actuales (3350 kg/ha). Se observa un efecto localidad importante, solo por sembrar en Paysandú o Soriano se están obteniendo casi 500 kg más por hectárea, lo que no concuerda con la bibliografía consultada la cual indica que las condiciones más favorables se dan al sur del país (Corsi,1982), a partir de esto se procedió a realizar el siguiente análisis.

4.4.1.1 Rendimiento

El siguiente árbol se construyó con el objetivo de determinar qué porcentaje de chacras se ubicó dentro de cada nodo (determinado por el árbol de clasificación, figura No. 20) según localidad, y de este modo poder determinar si realmente existe un efecto localidad como lo muestra el modelo lineal o si esto se debe a condiciones de manejo o ambientales que afectaron el rendimiento.

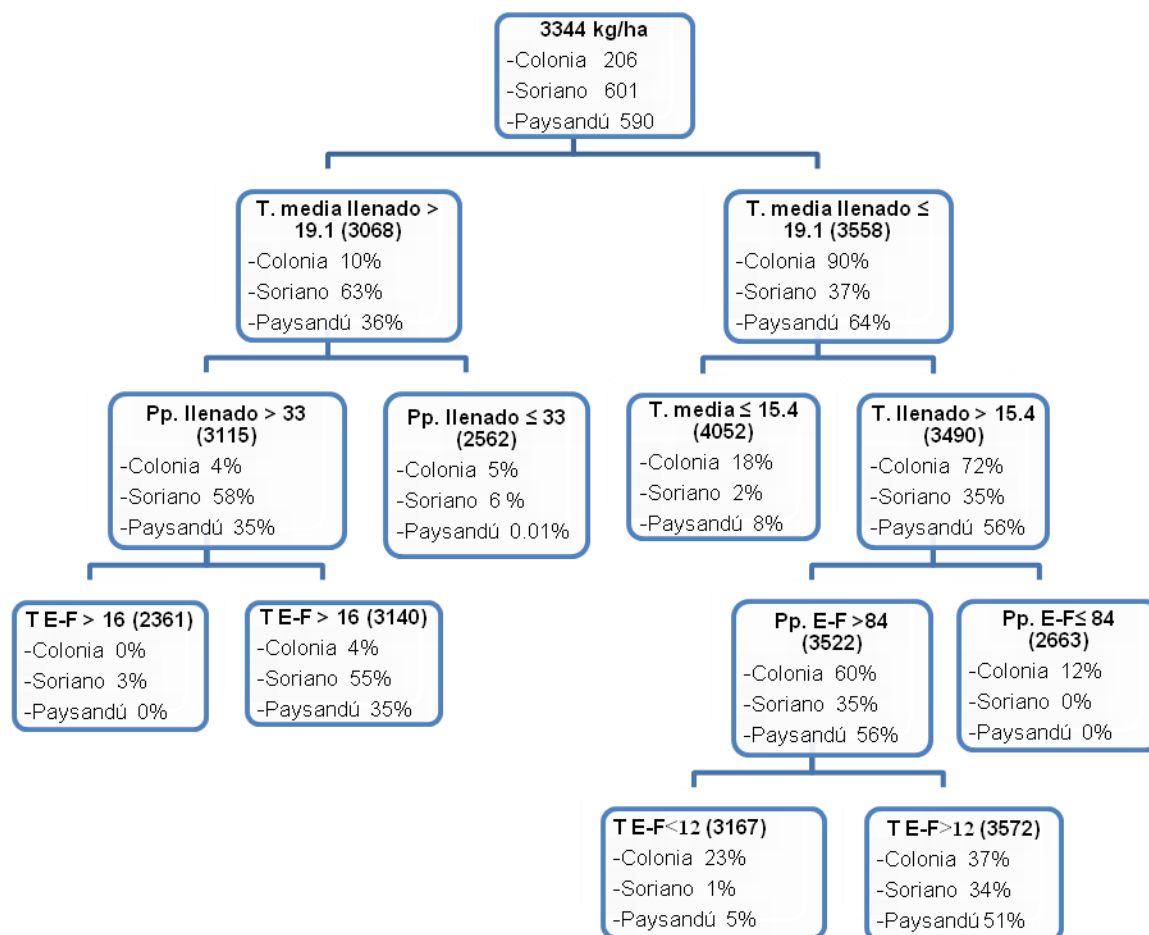


Figura No. 27. Porcentaje de chacras por localidad según variables.

Como se observa en la figura anterior Paysandú ubica la mayoría de sus chacras en la rama de mayores rendimientos (temperatura llenado menores a 19.1), y siguiendo este camino un alto porcentaje se siguen ubicando dentro de las condiciones más favorables.

Soriano ubica la mayor parte de las chacras en la rama de los bajos rendimientos (temperatura llenado > 19.1), pero esto no determinó que los rendimientos fueran diferentes a los de Paysandú, ya que no ubico un número importante de chacras en las condiciones más extremas (por ejemplo: Pp. llenado granos ≤ 33 y T E-F > 16).

La situación de Colonia es algo particular, ya que si bien presenta un alto porcentaje de chacras en la rama de mayores rendimientos, existe un

porcentaje que se ubicó en condiciones extremas, como por ejemplo: 12% en Pp. E-F \leq 84 (todas en el año 2008), y 23% en T E-F $<12^{\circ}\text{C}$ (chacras que fueron pastoreadas posiblemente) lo que determinó que el rendimiento medio se vea afectado.

Estas situaciones anteriormente explicadas determinan que el efecto localidad no sea de tal magnitud, sino que se deba más a condiciones ambientales desfavorables puntuales (bajas precipitaciones año 2008) y a medidas de manejos, como fecha de siembras muy temprana, las que posiblemente fueron pastoreadas, y otras medidas de manejo no disponibles como manejo de la fertilización y aspectos sanitarios, ya que existieron chacras que existieron chacras que, con las mismas condiciones ambientales promediaron 1500-2000 kg/ha mas de rendimiento.

5. CONCLUSIONES

El efecto época de siembra difirió según la localidad, siendo mayor en Colonia con una disminución de 45 kg/ha por día de atraso y un máximo de 4450 kg/ha, seguido por Paysandú con 15 kg/ha de disminución por día y un máximo de 3832y por ultimo Soriano con una caída de 7 kg/ha y un máximo de 3500 kg/ha.

Dentro de las variables climáticas que afectan el rendimiento la de mayor efecto fue la temperatura durante el llenado de grano, provocando una variación de 1240 kg/ha, seguida por el coeficiente fototermal en el período crítico con una variación de 600 kg/ha, por lo que es de suma importancia ubicar al cultivo donde estas condiciones sean favorables.

Considerando a la temperatura media durante el llenado de grano como la variable que más influye sobre los rendimientos, las mejores épocas de siembras serían:

-Colonia:

ciclo intermedio del 5 de junio al 21 de julio
ciclo largo del 9 de mayo al 18 de junio

-Paysandú:

ciclo intermedio del 25 de mayo al 11 de julio
ciclo largo del 20 de mayo al 2 de junio

-Soriano:

ciclo intermedio del 28 de mayo al 26 de junio
ciclo largo del 20 de mayo al 30 de mayo

6. RESUMEN

Con el objetivo de cuantificar el efecto de la época de siembra sobre el rendimiento, cuáles son las condiciones ambientales que explican dicho efecto y poder determinar fechas de siembras óptimas para las condiciones más favorables, se trabajó con un relevamiento de chacras del litoral oeste (Colonia, Soriano, Rio Negro y Paysandú) vinculadas a diferentes cooperativas y grupos de productores de la zona, se obtuvieron un total de 1397 registros de chacras correspondientes a los años 2004-2009. Del mismo se tomo la información de rendimiento, fecha de siembra, cultivar y localización. En base a los registros de chacras y la información obtenida de las estaciones meteorológicas de las distintas localidades se procedió al cálculo de las variables fenológicas (fecha de emergencia y floración) y ambientales en los distintos periodos del cultivo. Existe un efecto época de siembra el cual provoca una disminución de los rendimientos a medida que se atrasa la fecha de siembra, no siendo de la misma magnitud para todas las localidades. Colonia es en donde se observa un mayor efecto (45 kg/ha por día de atraso), seguido por Paysandú con 15 kg/ha y Soriano con 7 kg/ha por cada día de atraso. Dentro de las variables que afectan el rendimiento se destaca la temperatura en el llenado de grano, la que genera una variación de 1200 kg/ha, seguida por el coeficiente fototermal con una variación de 600 kg/ha. Las fechas de siembra optima en términos generales para los cultivares de ciclo largo se ubicaron entre mediados de mayo y mediados de junio, mientras que para los cultivares de ciclo corto están entre los primeros días de junio y julio, variando según la localidad.

Palabras clave: Trigo; Época de siembra; Condiciones ambientales;
Rendimiento.

7. SUMMARY

In order to quantify the effect of planting date on yield, what are the environmental conditions that explain this effect and to determine optimum planting dates for the most favorable conditions, we worked with a survey of coastal farms west (Colonia, Soriano, Rio Negro and Paysandú) linked to different cooperatives and producer groups in the area, we obtained a total of 1397 farms records for the years 2004-2009. The same was taken performance information, planting date, cultivar and location. Based on the fields and records information from meteorological stations in the different towns we proceeded to calculate the phenological variables (date of emergence and flowering) and environmental in the different periods of the crop. There sowing effect which causes a decrease in yields as is late planting date, not being of the same magnitude for all locations. Colonia is where there is a greater effect (45 kg/ha per day of delay), followed by Paysandú with 15 kg/ha and Soriano with 7 kg/ha for each day of delay. Among the variables that affect the temperature performance is highlighted in grain filling, which generates a variation of 1200 kg/ha, followed by a variation coefficient of photothermal with 600 kg/ha. The optimum planting dates generally for long duration cultivars were between mid-May and mid-June, while for short-duration cultivars are among the first days of June and July, varying according to the locality.

Keyword: Wheat; Planting time; Environmental conditions; Yield.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. ABBATE, P. E. 1998. La hora del empowerment. In: Congreso de AAPRESID (12°. , 1998, Buenos Aires, Argentina). Ecofisiología de trigo, aspectos prácticos para el manejo del cultivo. Buenos Aires, Argentina, AAPRESID. pp.121-127.
2. BARBE, E.; GUIDO, R.J. 1987. Época de siembra. Trigo. Paysandú, Facultad de Agronomía. EEMAC. pp. 29-38.
3. CASTRO, A.; HOFFMAN, E.; VIEGA, L. 2011. Limitantes para la producción de trigo y cebada. Montevideo, Facultad de Agronomía. pp. 37-52.
4. CORSI, W. 1982. Regionalización agroclimática de Uruguay para cultivos. Centro de Investigaciones Agrícolas Dr. Alberto Boerger. Miscelánea No. 40. 28 p.
5. D'AMICO, S.; CHIDICHIMO, H.; SARANDON, S. 1986. Efecto de la época de siembra sobre el desarrollo de la espiga y otros parámetros en dos genotipos de *Triticum aestivum*. In: Congreso Nacional de Trigo (1°. , 1986, Pergamino, Argentina). Trabajos presentados. Pergamino, INTA. pp. 316-323.
6. DE DIOS, M.; LOZANO, C.; BODEGO, J., GARRIDO, G. 1986. Duración en días y grado-día de crecimiento de las fases de desarrollo apical del trigo en respuesta a la fecha de siembra. In: Congreso Nacional de Trigo (1°. , 1986, Pergamino, Argentina). Trabajos presentados. Pergamino, INTA. pp. 149-157.
7. DEL POZO, A. 1988. El rol de la temperatura y radiación solar en el crecimiento y la producción del trigo primaveral, con diferentes épocas de siembras. Agricultura Técnica. 48: 242-252.
8. DÍAZ, C.; DURAN, H. 1986. Trigo, ¿cuándo sembrar? Revista Plan Agropecuario. 14 (36): 23-24.
9. ERNST, O.; LUIZZI, V. 1987. Alternativas tecnológicas para la producción de trigo. In: Seminario Técnico (6°. , 1987, Paysandú, Uruguay). Trabajos presentados. Paysandú, Facultad de Agronomía. s.p.

10. _____.; BENTANCUR, O.; NIN, M.; DELUCHI, I.; HOFFMAN, E.; SUBURU, G. 1999. Relevamiento de trigo. Resultados en rendimiento y calidad. In: Jornada sobre Rendimiento y Calidad de Trigo (1º., 1999, Mercedes, Uruguay). Memorias. Mercedes, Mesa Nacional de Trigo. pp. 3-19.
11. FERNÁNDEZ, M. A. 2008a. El efecto de la época de siembra y la fertilidad sobre el rendimiento y sus componentes de tres especies graníferas invernales en la región de las planicies con tosca de la provincia de La Pampa. *Revista de la Facultad de Agronomía (UNLPam)*. 19: 69-75.
12. _____.; ZINGARETTI, O.; BREVEDAD, R.; MIRASSÓN, H.; FARALDO, M. L.; FERRERO, C.; DEDURANA, J.; FIORETTI, M. E. 2008b. Efecto de la época de siembra y el genotipo sobre el rendimiento de trigo y sus componentes en el oeste de la región semiárida pampeana central. In: Congreso Nacional del Trigo. (12º., 2008. Santa Rosa La Pampa, Argentina). Trabajos presentados. Santa Rosa La Pampa, Argentina. INTA. pp. 1-5.
13. FISCHER R.A. 1985. Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. *Journal of Agricultural Science (Cambridge)*. 105: 447-461.
14. GOMEZ, D.; FRASCHINA, J.; SALINES, J.; BAGLIENTE, C.; ARCE, L.; REARTE, F.; BAINOTTI, C. T.; DONAIRE, G. 2010. Fecha de espigazón óptima para máximo rendimiento. (en línea). Buenos Aires, Argentina, INTA. s.p. Consultado 9 may. 2012. Disponible en <http://inta.gob.ar/documentos/fecha-de-espigazon-optima-para-maximo-rendimiento-de-trigo>
15. GONNET, M.; DE LEON, J.L. 1978. Consideraciones sobre el rendimiento del trigo y las causas más importantes determinantes de su variación en el Uruguay. Colonia, Uruguay, Centro de Investigaciones Agrícolas Dr. Alberto Boerger. Estación Experimental La Estanzuela. 120 p.
16. GONZALEZ, F.G.; SLAFER, G.A.; MIRALLES, D.J. 2003. Grain and floret number in response to photoperiod during stem elongation in fully and slightly vernalized wheats. *Field Crops Research*. 81 (1): 17-27.

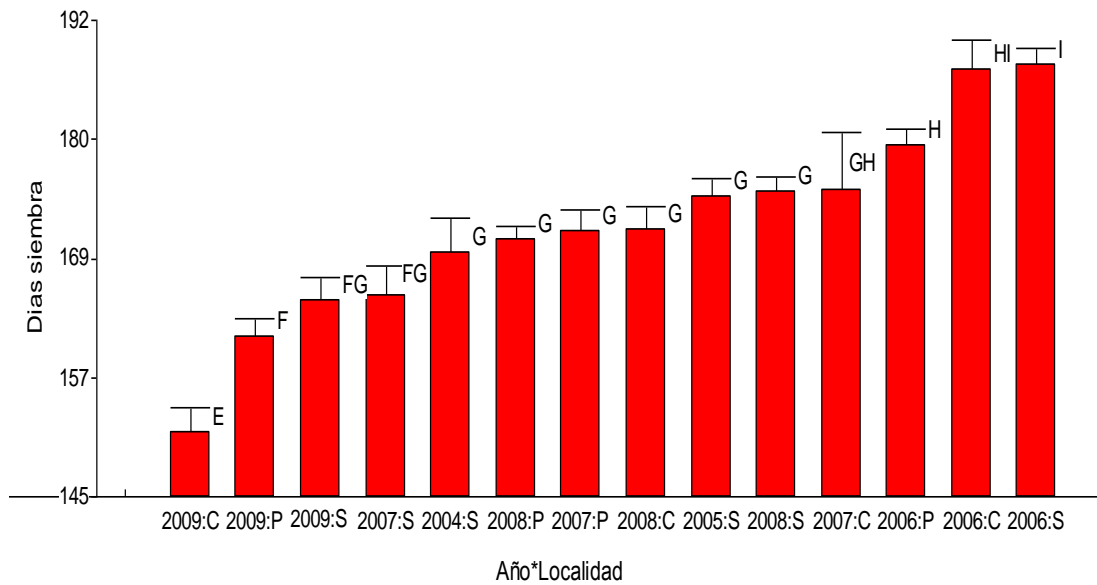
17. GUIDO, R.; IEWDIUKOW, A. 1991. Tecnologías para trigo, diagnóstico de producción. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 251 p.
18. HOFFMAN, E.; BENÍTEZ, A; CADENAZZI, M. 2002. Caracterización del crecimiento inicial y respuesta a la población en trigo .In: Jornada de Rendimiento y Calidad de Trigo (4º., 1999, Mercedes, Uruguay). Trabajos presentados. Mercedes, Mesa Nacional de Trigo. s.p.
19. _____.; ERNST, O.; BENITEZ, A.; BORGHI, E. 2003. Fecha de floración: efecto de la elección de variedades y su época de siembra. Cangüé. No. 24: 21-22.
20. _____.; CASTRO, A. 2012a. Cambios en la fecha de siembra de los cultivos de invierno en Uruguay; implicancias sobre el rendimiento y el riesgo. Cangüé. No. 32: 16-21.
21. _____.; MOREL, W.; FASSANA, N. 2012b. Caracterización de cultivares de trigo año 2011; segundo ciclo de: Baguette 17, Baguette 18, Biointa 1006, Biointa 2004, Buck Fast, V2061/62 y ORL05-004. Primer ciclo de: Biointa 3005, DM 1009, Baguette 701, Baguette 601, G 2359, G 2358, G 2366, G 2346, G 2375. Paysandú, Facultad de Agronomía. EEMAC. 38 p.
22. KOHLI, M.; MARTINO, D.L. eds. 1997. Explorando altos rendimientos de trigo. La Estanzuela, Colonia, Uruguay, CIMMYT. 339 p.
23. KORN, G.; VILA, E. 1983. Variables de manejo en cebada. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 108 p.
24. MAILHOS, M. J.; URRUTY, J. F. 1995. Alternativas tecnológicas en cultivo de invierno. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 108 p.
25. NIX, H.A. 1976. Climate and crop productivity in Australia. In: Climate and rice. Los Baños, The Philippines, International Rice Research Institute. pp. 459-507.
26. QUINCKE, M.; DÍAZ, M.; GERMAN, S.; VÁZQUEZ, D. 2011. Genisis 2358 y Genisis 2359: nuevos trigos de ciclo largo de alto potencial de rendimiento de grano. In: Jornada de Cultivos de Invierno (2011, Trinidad, Uruguay). Memorias. Colonia, Uruguay, INIA. pp. 11-16.

27. ROMERO, R.; GERMAN, S. 2001. Consideraciones sobre el clima y el desarrollo fenológico de la cebada cervecera. (en línea). Montevideo, Uruguay, INIA. s.p. Consultado 20 may. 2012. Disponible en http://www.inia.org.uy/disciplinas/agroclima/publicaciones/ambiente/clima_fenol_cebada.pdf
28. SAVIN, R. 1990. Duración y tasa de crecimiento de granos en trigo; efecto de la fecha de siembra. Pergamino, Argentina, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. pp. 51-58.
29. SCARLATO, G. 1885. La producción de grano; una actividad en crisis. Montevideo, CIEDUR. 35 p.
30. SOFIELD, I.; EVANS I.J.; COOK, M.G.; WARDLAW, I.F. 1977. Factors influencing the rate and duration of grain filling in wheat. Australian Journal of Plant Physiology. 4: 785-797.
31. SOLIS, E.; DÍAZ DE LEÓN, J. G. 2001. Efecto de los factores controlables de la producción sobre el rendimiento y panza blanca del grano de trigo duro. TERRA Latinoamericana. 19 (4): 375-383.
32. _____; HERNÁNDEZ, M.; BORODANENKO, A.; AGUILAR, J. L.; GRAJEDA, O. A. 2004. Duración de la etapa reproductiva y el rendimiento de trigo. Revista Fitotecnia Mexicana. 27 (4): 323-330
33. _____; DE LA CRUZ, M.; RAMÍREZ, A.; SUASTE, M. 2008. Efecto de la fecha de siembra sobre el rendimiento y sus componentes en genotipos de trigos. (en línea). Chiapas, México, Universidad Autónoma de Chiapas. s.p. Consultado 9 may. 2012. Disponible en http://www.somas.org.mx/imagenes_somas2/pdfs_libros/agriculturaso_stenible6/61/27.pdf
34. TAVELLA, C.M.; GONNET, M.; IBAÑEZ, V.A. 1978. Relación de algunos factores climáticos con el rendimiento del trigo. Revista de la Asociación de Ingenieros Agrónomos del Uruguay. 10: 9-11.
35. VERGES, R.P. 2003. Cultivares de trigo del INIA; comportamientos y recomendaciones para la zafra 2003. In: Jornada Técnica Cultivos de Invierno (2003, Mercedes, Uruguay). Memorias. Montevideo, INIA. pp. 32-43 (Actividades de Difusión No. 312).

36. WARRIGTON, I.J.; DUNSTONE, R.L.; GREEN, L.M. 1977. Temperature effects ay wheat ear. Australian Journal of Agricultural Research. 28: 11-27.
37. YORDANOVA R.Y.; POPOVA, L.P. 2001. Photosynthetic response of barley plants to soil flooding. Photosynthetica. 39: 515-20.
38. ZHANG, H.; TURNER, N.C.; POOLE, M.L.; SIMPSON, N., 2006. Crop production in the high rainfall zones of southern Australia - potential, constraints and opportunities. Australian Journal of Agricultural Research. 46: 1035-1049.

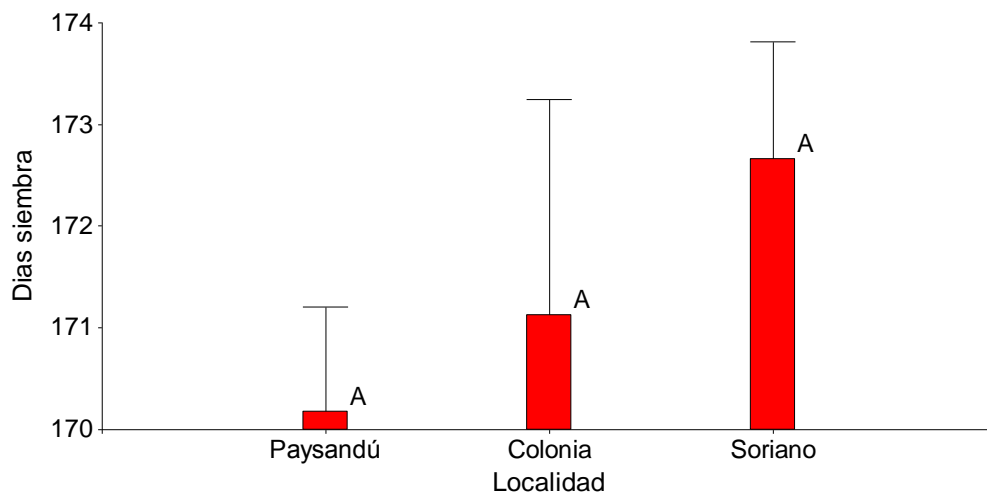
9. APÉNDICES

APÉNDICE 1: Analisis de varianza de dia siembra según año y localidad



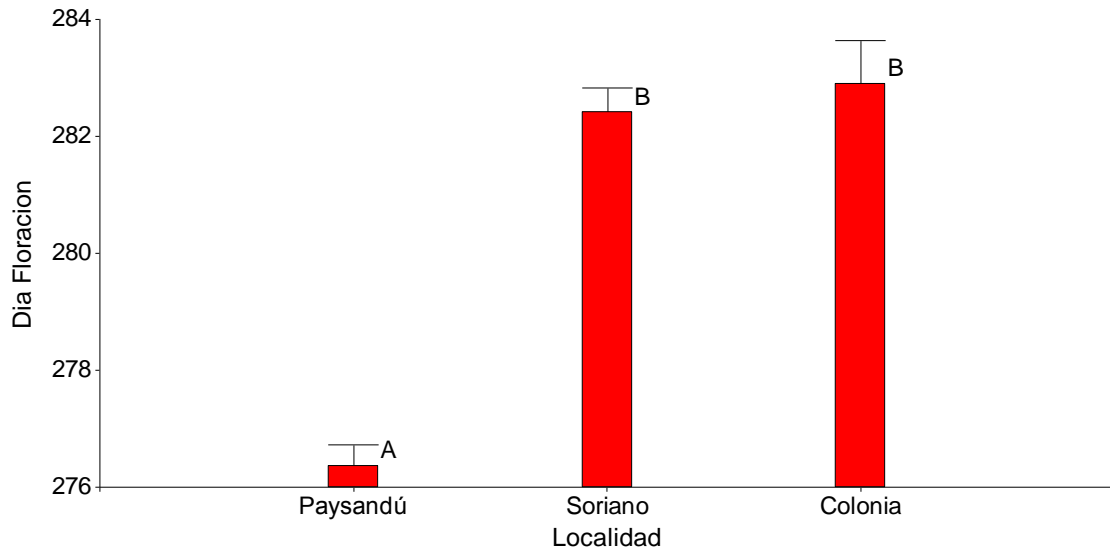
Letras diferentes significan diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

APÉNDICE 2: Analisis de varianza de Dia de siembra según localidad



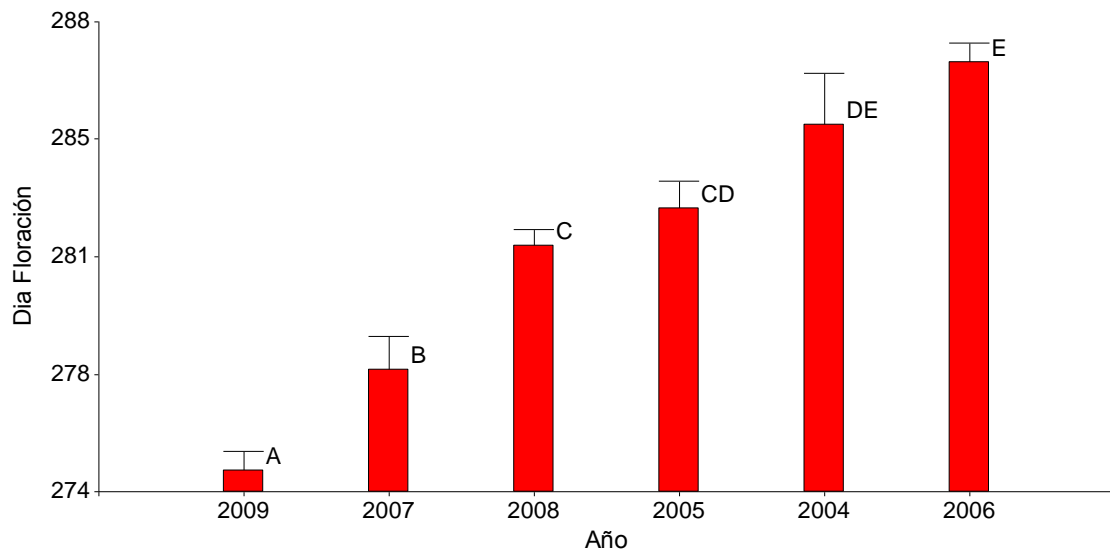
Letras diferentes significan diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

APÉNDICE 3: Analisis de varianza del Dia de floracion según localidad



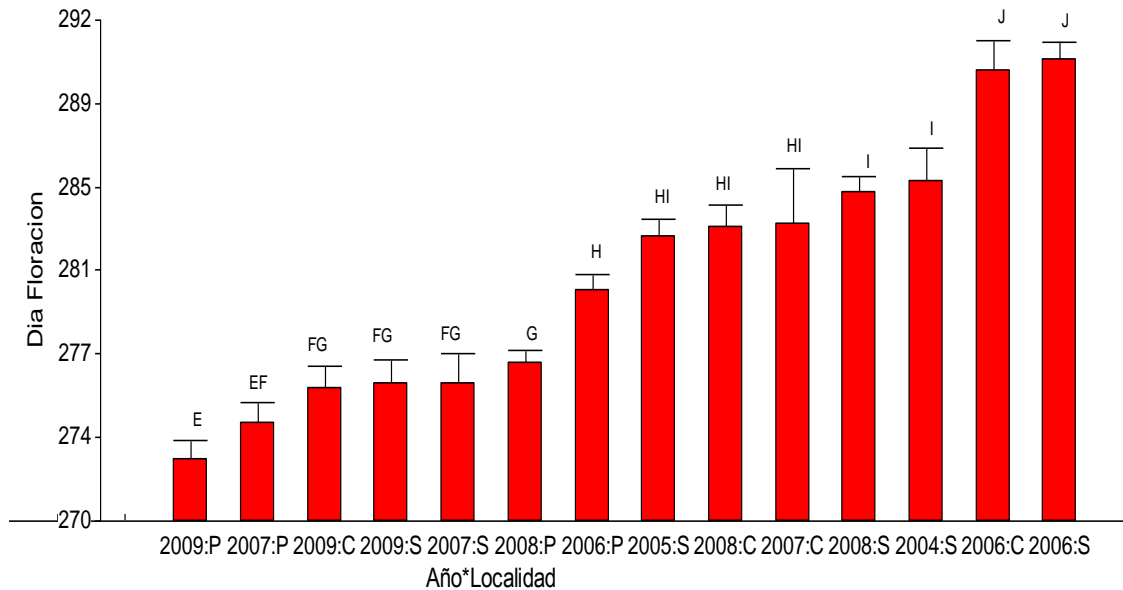
Letras diferentes significan diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

APÉNDICE 4: Analisis de la varianza del día de floracion según año



Letras diferentes significan diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

APÉNDICE 5: Analisis de la varianza del Dia de floracion según año y localidad



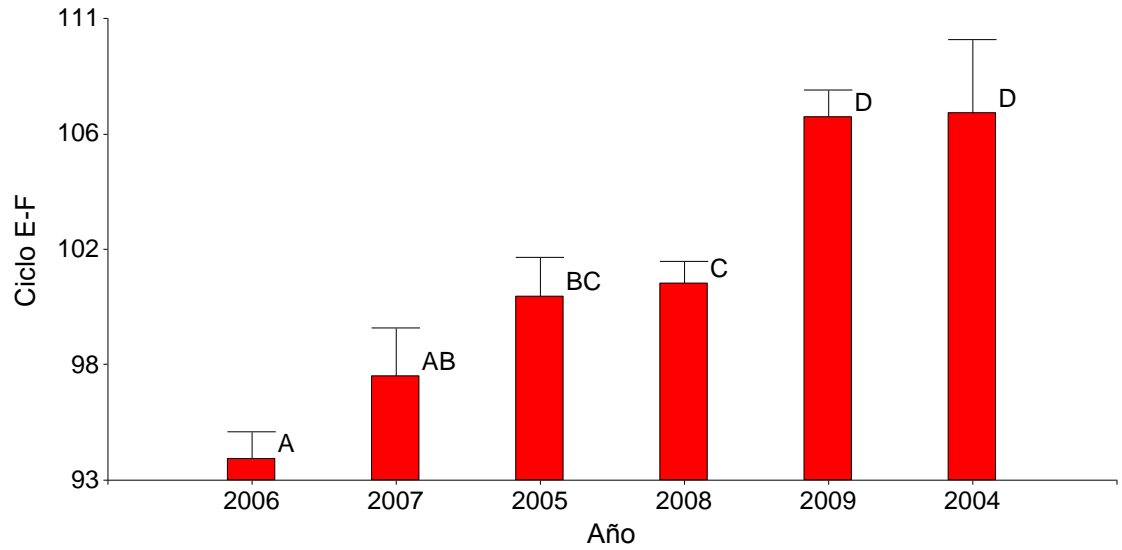
Letras diferentes significan diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

APÉNDICE 6: Cultivares sembrados y distribucion por localidad

Cultivar	Ciclo	Colonia	Paysandú	Soriano
ACA 901	I	5	8	20
Baguette 11	I	3	123	52
Baguette 13	I	17	26	2
Baguette 18	I	0	0	2
Baguette 19	I	0	5	5
Biointa 1000	I	0	0	2
Biointa 1001	I	28	46	33
Biointa 1002	I	1	34	11
Don Enrique	I	0	0	40
INIA Cabure	I	0	0	1
INIA Carancho	I	2	1	5
INIA Mirlo	I	9	44	23
Klein Chaja	I	3	81	28
Klein Flecha	I	2	0	6

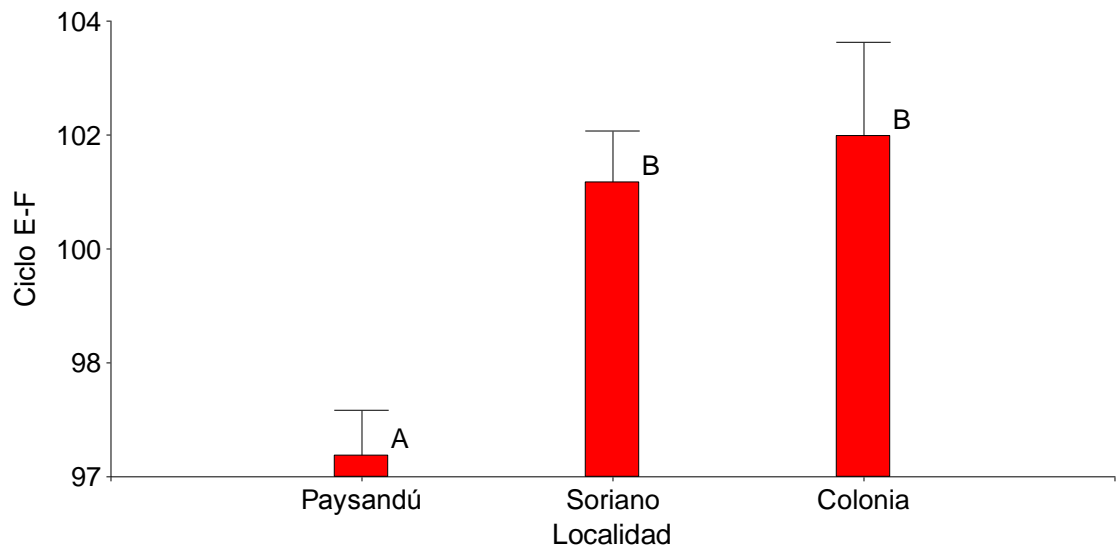
Klein Tauro	I	0	7	2
INIA Tero	I	0	0	2
INIA Madrugador	I	5	0	12
INIA Churrinche	I	19	75	84
INIA Tero	I	1	14	10
Don Alberto	I	28	20	26
INIA Carpintero	I	11	11	20
Nogal	I	2	2	0
Onix	I	2	0	25
Prointa Superior	I	0	4	0
INIA Pelon	I	0	0	6
Safira	I	1	0	0
Baguette 10	L	14	18	101
Biointa 3000	L	0	15	0
Buck Guapo	L	0	0	7
INIA Chimango	L	0	0	3
Klein Capricornio	L	0	4	0
INIA Tijereta	L	11	37	47
INla Gorrion	L	5	14	20
INIA Garza	L	9	0	6
Klein Martillo	L	24	0	0
INIA Torcaza	L	5	0	0

APÉNDICE 7: Analisis de la varianza del ciclo E-F según año



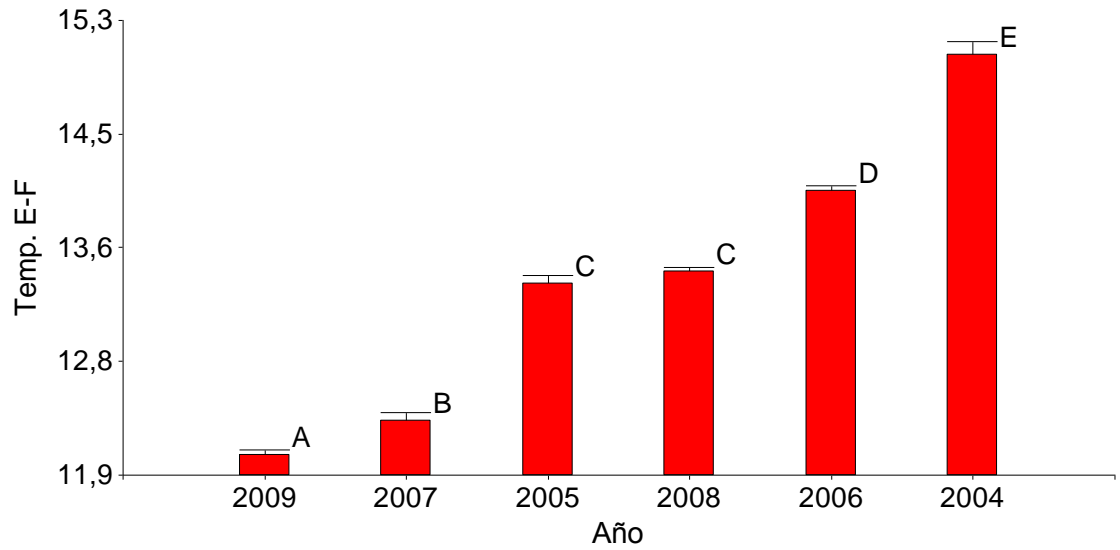
Letras diferentes significan diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

APÉNDICE 8: Analisis de la varianza del ciclo E-F según localidad



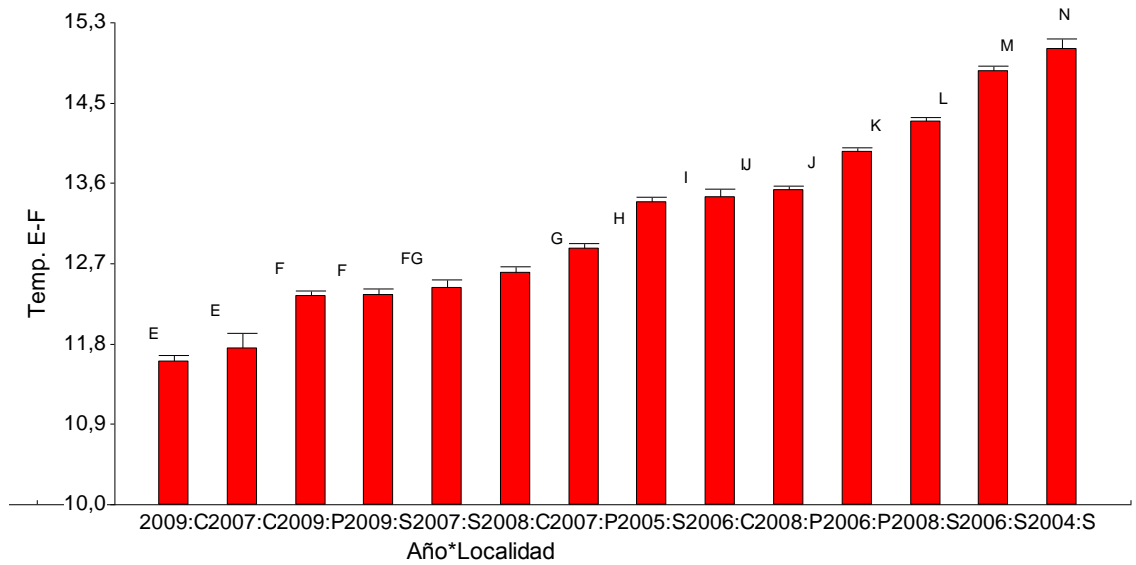
Letras diferentes significan diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

APÉNDICE 9: Analisis de varianza de la temperatura E-F según año



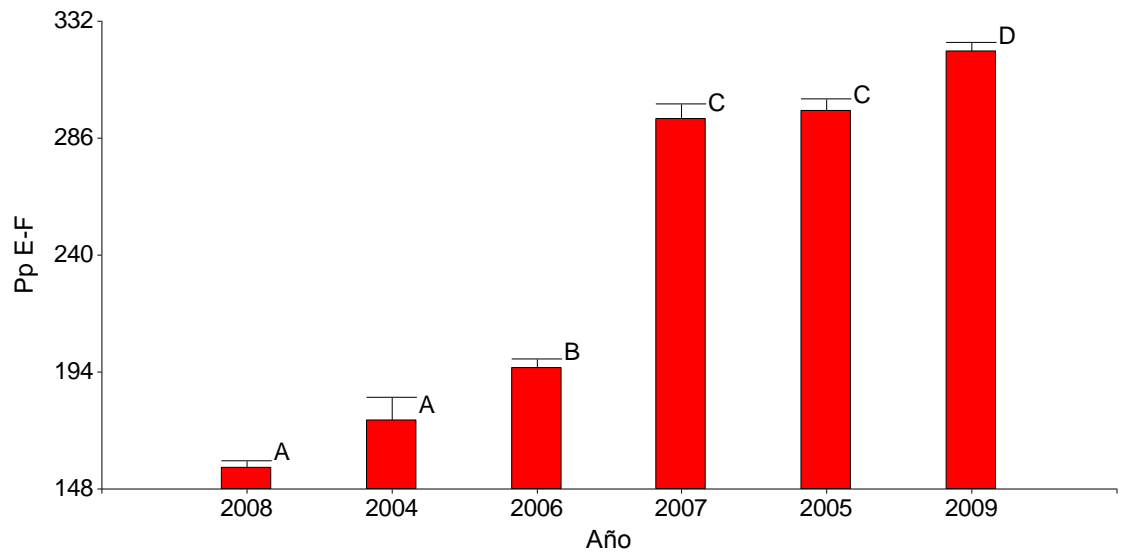
Letras diferentes significan diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

APÉNDICE 10: Analisis de varianza de la temperatura E-F según año y localidad



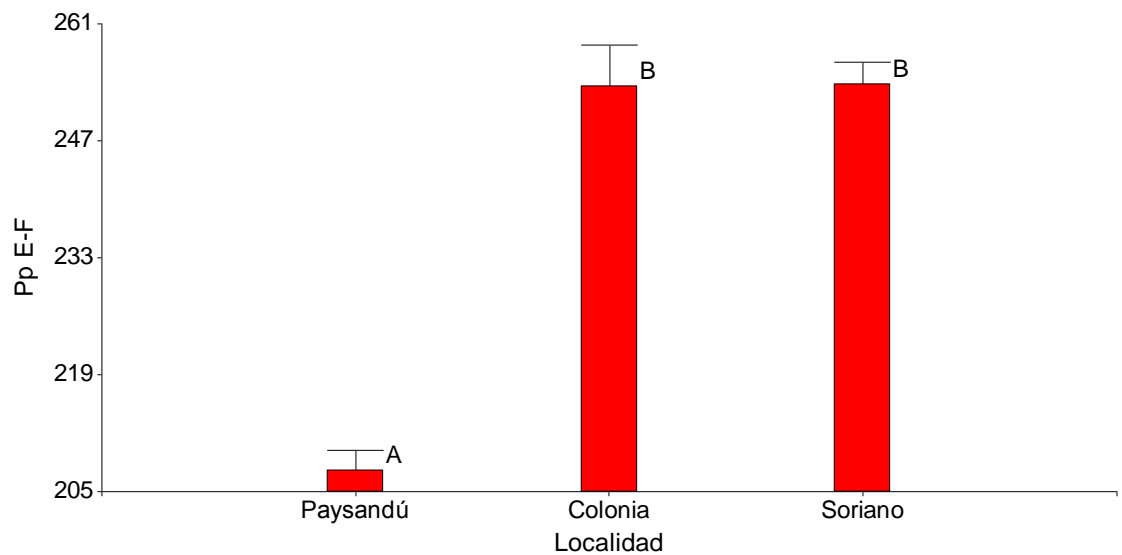
Letras diferentes significan diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

APÉNDICE 11: Analisis de varianza de las precipitaciones E-F según año



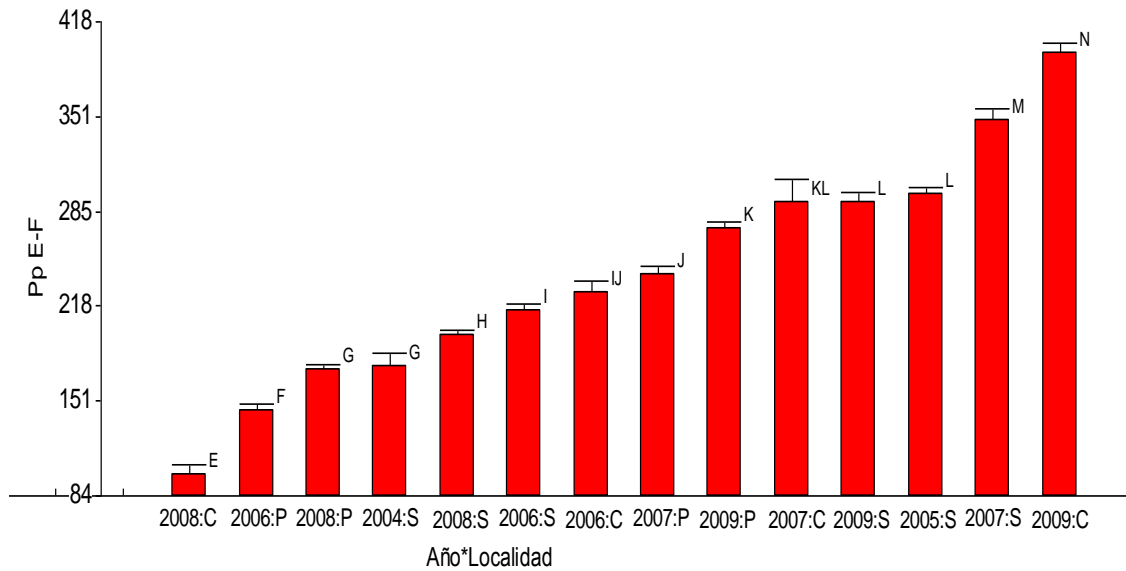
Letras diferentes significan diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

APÉNDICE 12: Analisis de varianza de las precipitaciones E-F según localidad



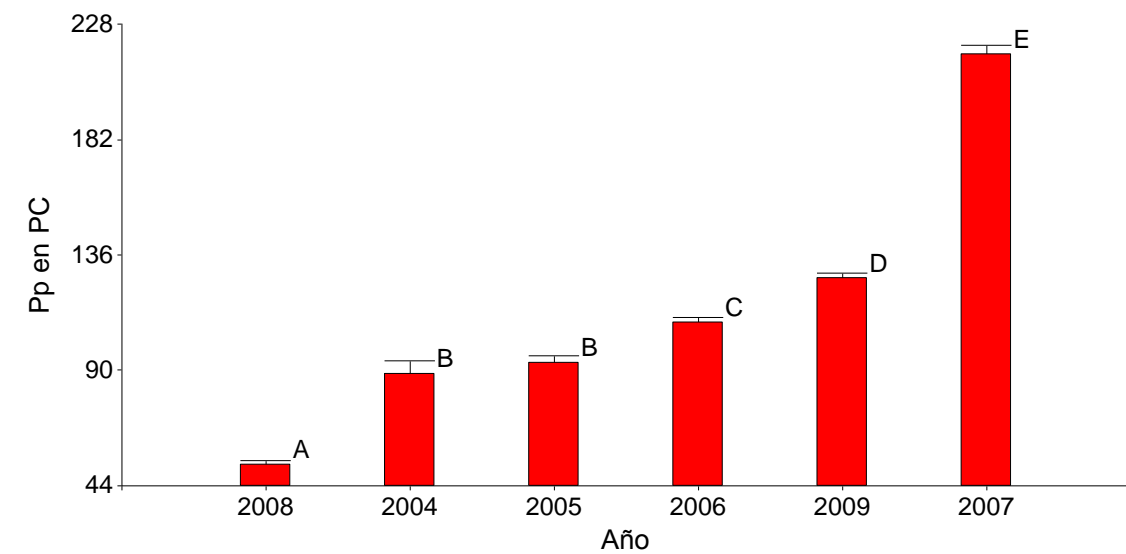
Letras diferentes significan diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

APÉNDICE 13: Analisis de varianza de las precipitaciones E-F según año y localidad



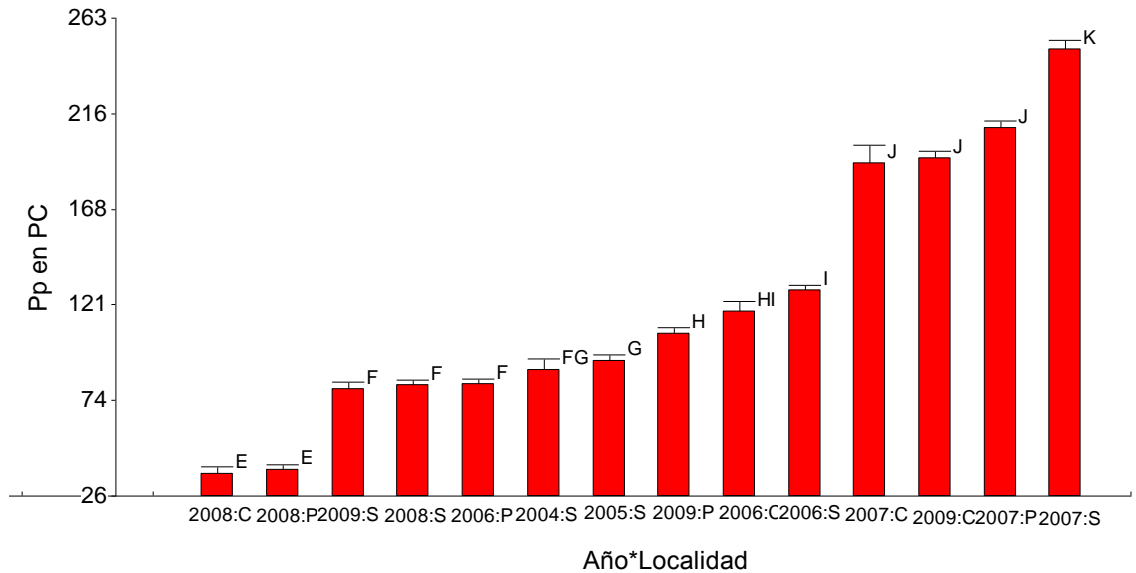
Letras diferentes significan diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

APÉNDICE 14: Analisis de varianza de las precipitaciones en el periodo critico según año



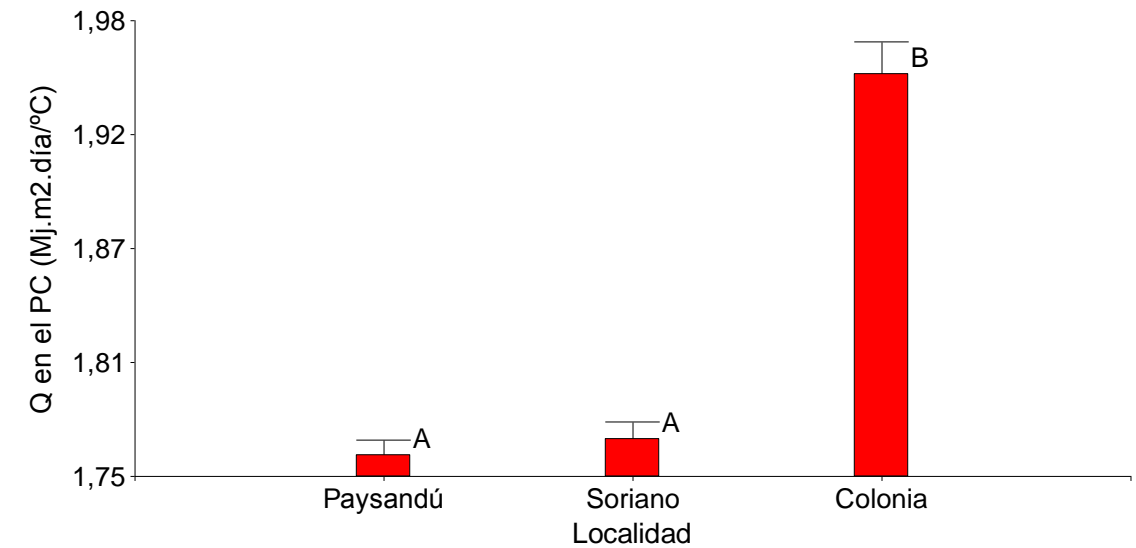
Letras diferentes significan diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

APÉNDICE 15: Analisis de la varianza de las precipitaciones en el período crítico según año y localida



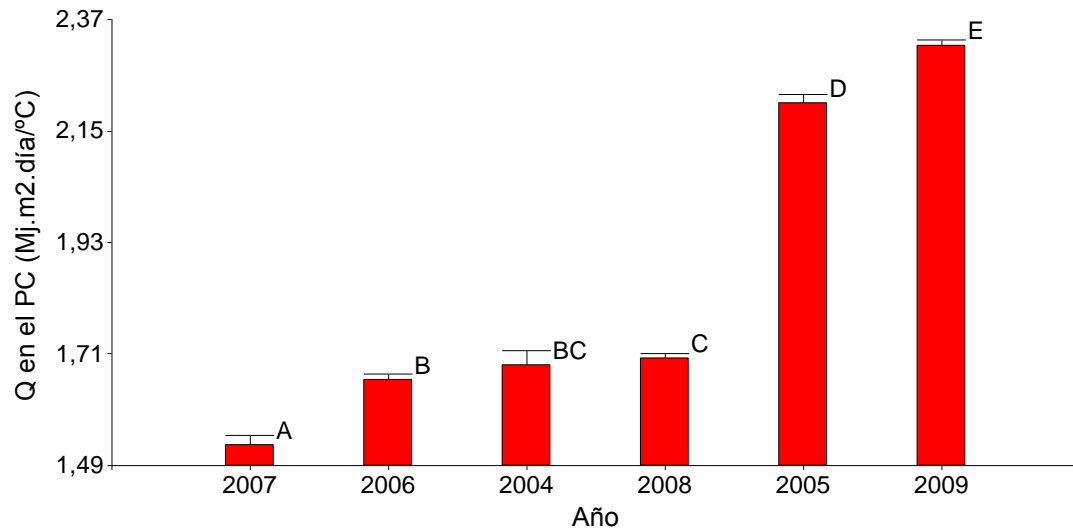
Letras diferentes significan diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

APÉNDICE 16: Analisis de varianza del coeficiente fototermal en el periodo creitico según localidad



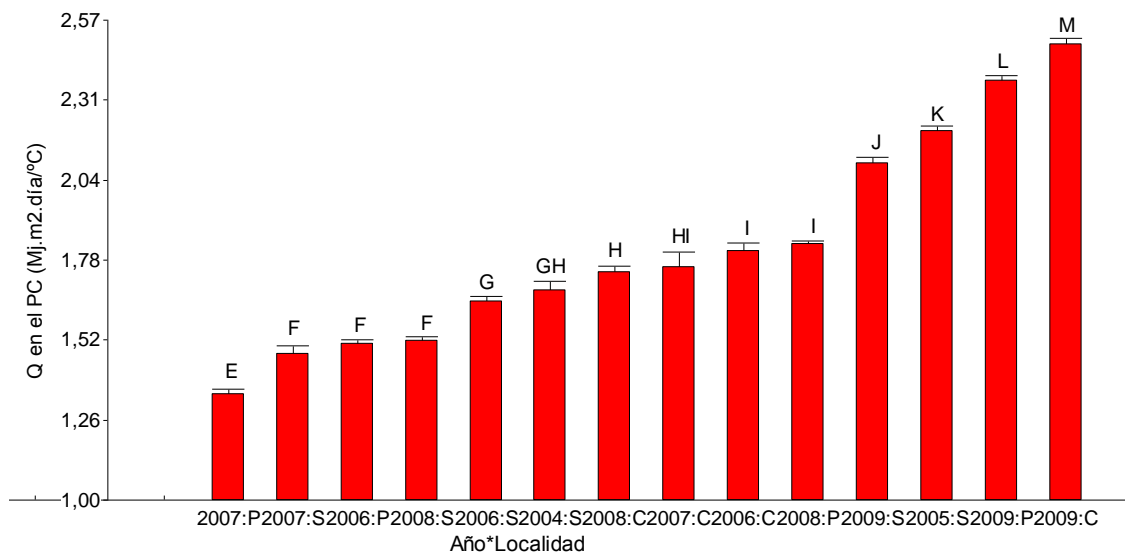
Letras diferentes significan diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

APÉNDICE 17: Analisis de la varianza del coeficiente fototermal en el periodo critico según año



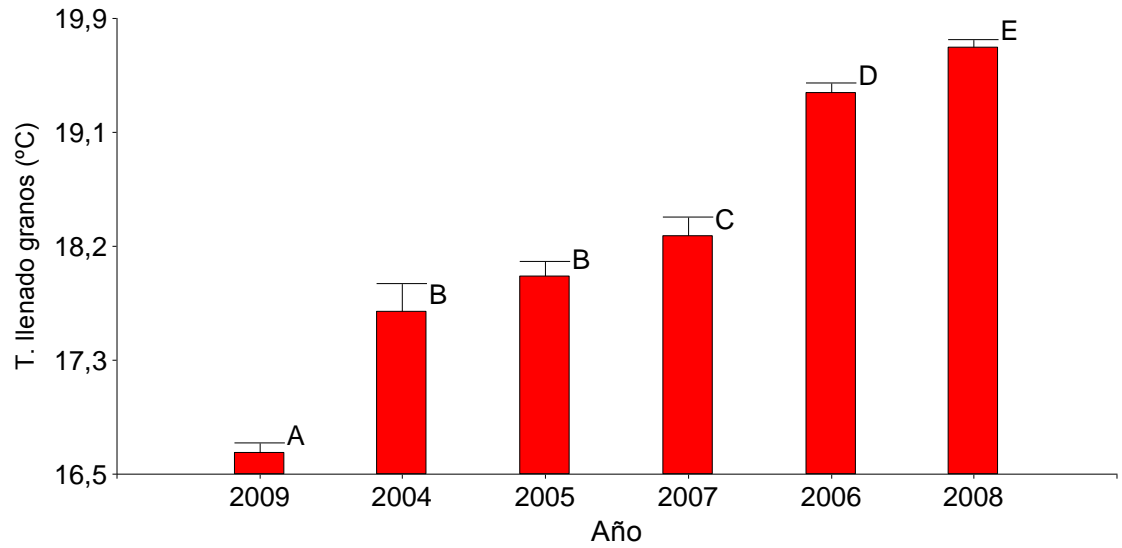
Letras diferentes significan diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

APÉNDICE 18: Analisis de varianza del coeficiente fototermal en el periodo critico según año y localidad



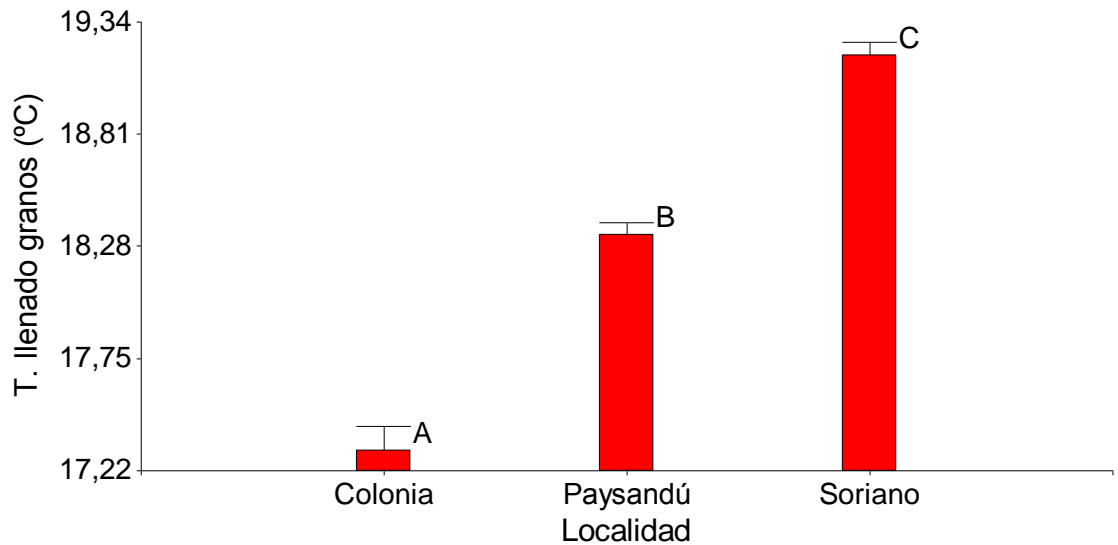
Letras diferentes significan diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

APÉNDICE 19: Análisis de la varianza de la temperatura media durante el llenado de granos según año



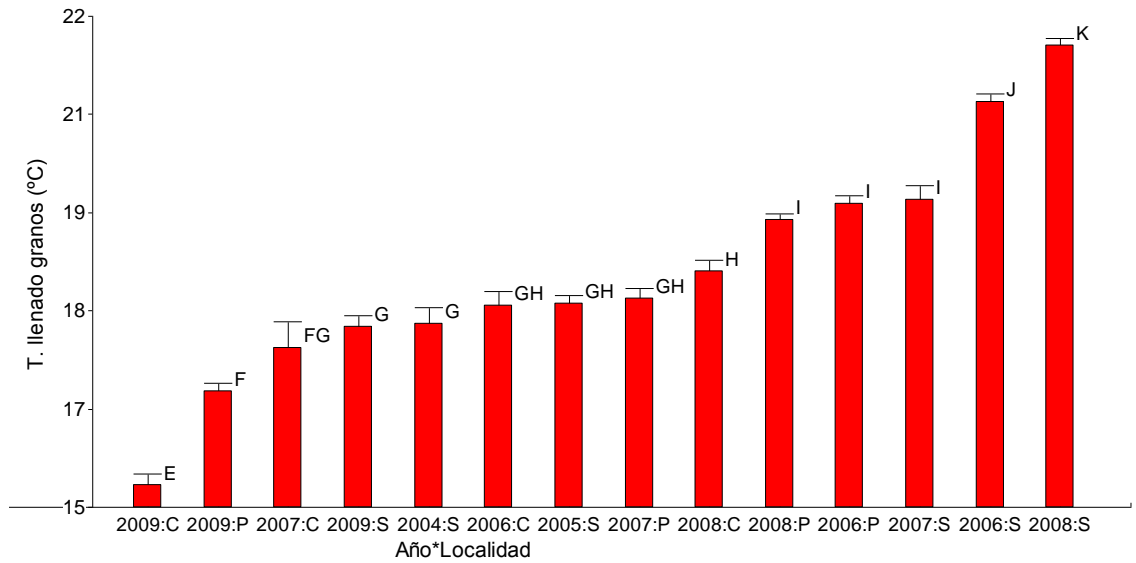
Letras diferentes significan diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

APÉNDICE 20: Análisis de varianza de la temperatura media durante el llenado de granos según localidad



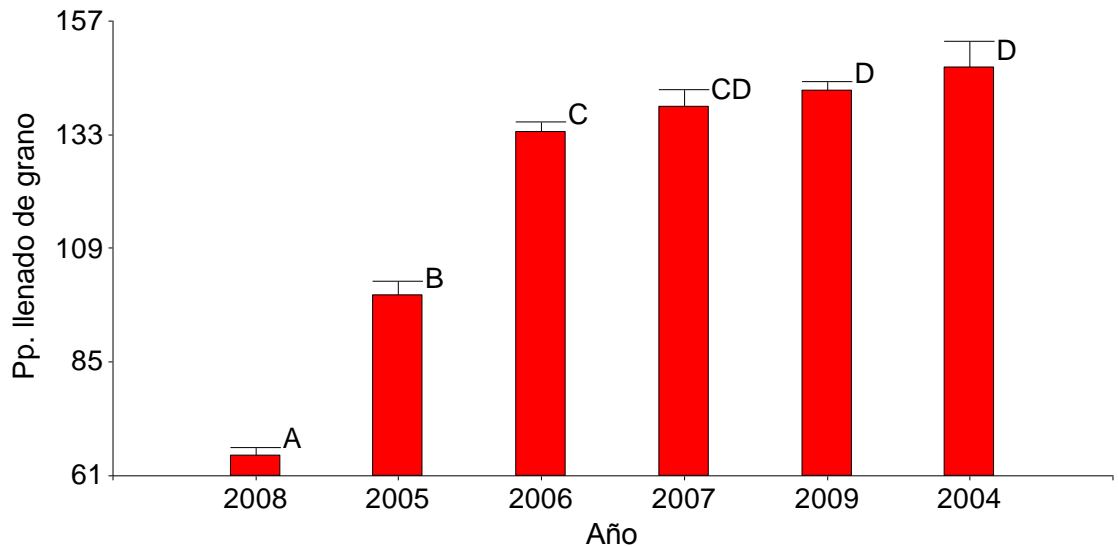
Letras diferentes significan diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

APÉNDICE 21: Análisis de varianza de la temperatura media durante el llenado de granos según año y localidad



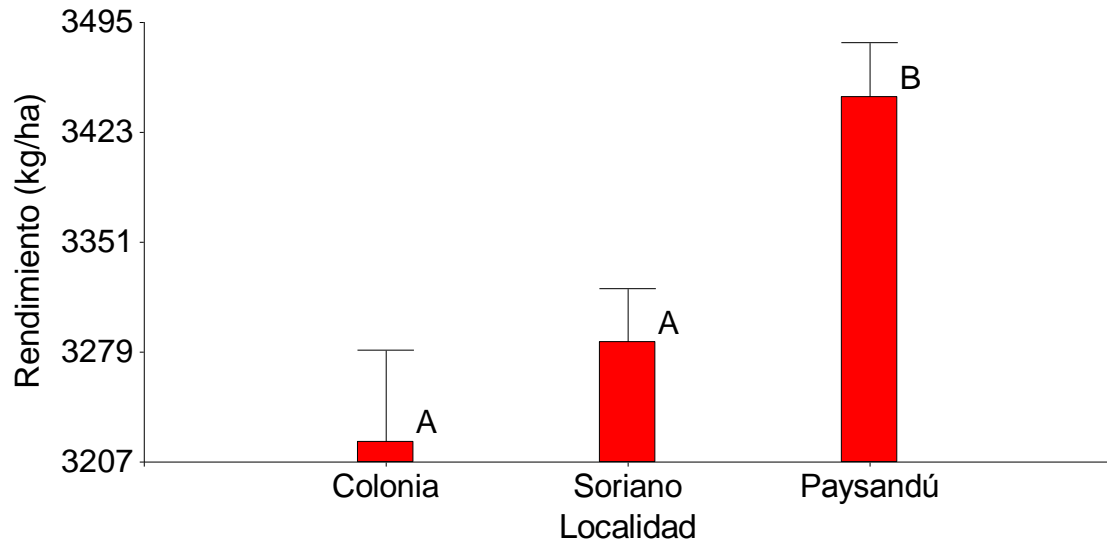
Letras diferentes significan diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

APÉNDICE 22: Análisis de varianza de las precipitaciones durante ocurridas durante el llenado de grano según año



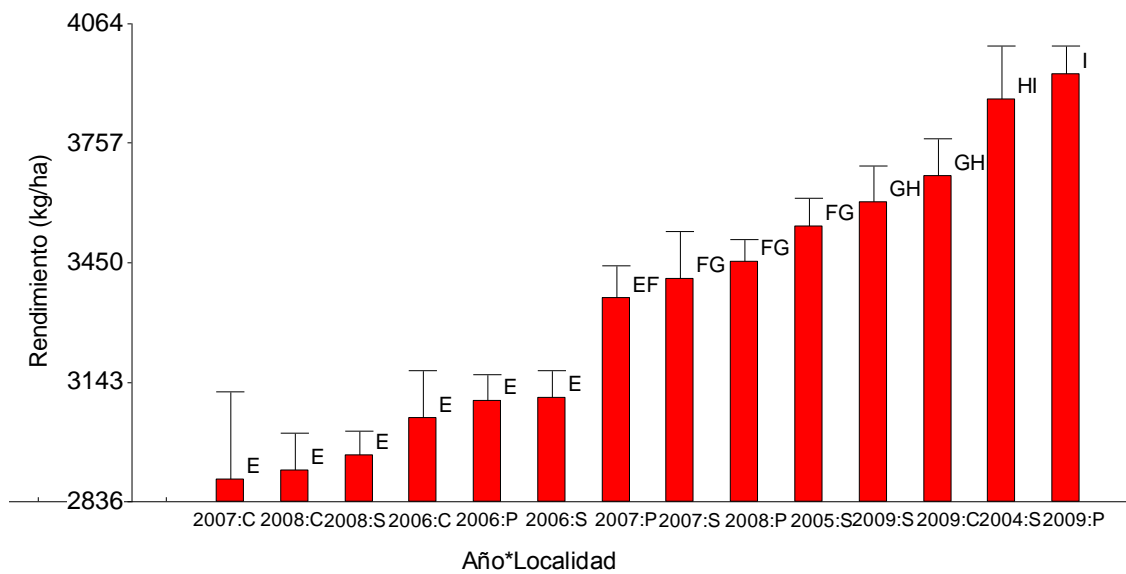
Letras diferentes significan diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

APÉNDICE 23: Análisis de varianza de rendimiento según localidad



Letras diferentes significan diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

APÉNDICE 24: Análisis de varianza de rendimiento según año y localidad



Letras diferentes significan diferencias significativas ($p \leq 0.05$)