



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

-MODALIDAD TESINA-

“Disminución de rendimiento en trigo asociado a  
estrés térmico en diferentes estadios”

ALUMNO: Eduardo Paredes

ASESORA: Ing. Agr. (Mgter) Celsa Noemí Balbi

Lugar de realización del trabajo de Tesina:

Campo Experimental y Didáctico de la Facultad de Ciencias Agrarias –UNNE-.

## ANTECEDENTES

El aumento de las temperaturas esperadas con el cambio climático es probable que reduzca los rendimientos de trigo (Asseng *et al.*, 2015), aunque el impacto puede ser moderado por otros efectos. Sin tener en cuenta las adaptaciones en la variedad del cultivo, el efecto dominante del calentamiento es acelerar el desarrollo del cultivo (Miralles *et al.*, 2003). La evidencia sugiere que el estrés por calor consiste en incluso breves períodos de altas temperaturas por encima de los umbrales críticos específicos de cada cultivo ( Ferris *et al.*, 1998 y Vignjevic *et al.*; 2015 ). Estas condiciones adversas ya están causando grandes reducciones en el rendimiento de los cereales ( Fontana *et al.*, 2015 ). Se espera que los impactos negativos de las altas temperaturas sobre los rendimientos de los cultivos serán más frecuentes con el aumento de la variabilidad del clima y las temperaturas medias más altas ( Field *et al.*, 2012 ).

La producción de trigo en nuestro país es afectada anualmente por diferentes factores limitantes abióticos y bióticos, en especial en el NEA. Entre los primeros revisten gran importancia el déficit hídrico y nutricional y las temperaturas extremas en el estadio crítico del cultivo. Entre los factores bióticos, las enfermedades de origen fúngico se destacan por su incidencia en años húmedos (Nisi *et al.*, 2004).

Por otro lado, el rendimiento se define a través de sus componentes, numéricos y ecofisiológicos; los más importantes son el número de granos por metro cuadrado y el peso unitario de los mismos. El primero está estrechamente asociado a los rendimientos y su valor final queda establecido por la tasa de crecimiento en el período que va desde los 25-30 días previos a la antesis y 10 días posterior a la misma (Warrington *et al.*, 1977; Fischer, 1985), el que se denomina periodo crítico del cultivo. Por otra parte el peso unitario de los granos es función de las condiciones de crecimiento durante el llenado de los mismos. (Warrington *et al.*, 1977; Gibson y Paulsen, 1999). Como la mayor parte de las variaciones ambientales en el rendimiento en grano pueden explicarse por cambios en el número de granos

por unidad de área (NG), Fischer focalizó el estudio de la influencia de la radiación solar y la temperatura sobre ese componente del rendimiento. Este autor encontró que el NG es una función directa de la radiación incidente e inversa de la temperatura durante el período de preanthesis; en consecuencia, definió el cociente fototermal (Q) en trigo, como la razón entre la radiación interceptada promedio y la temperatura media por arriba de 4,5 °C en los 30 días previos a anthesis. El NG es el producto entre (i) el peso seco de espigas en anthesis y (ii) el NG por unidad de peso seco de espigas (Fischer, 1983). El primer término puede considerarse como un estimador de la asignación de fotoasimilados que realiza el cultivo para mantener el crecimiento de las flores diferenciadas (Fischer, 1975; Abbate *et al.*, 1994 y 1997). El Q, entonces, resume los efectos de la radiación solar interceptada y el de la temperatura sobre el peso seco de las espigas. El peso final del grano es la consecuencia de una tasa de acumulación de materia seca y de la duración total del periodo de llenado (Abbate *et al.*, 1995). El acortamiento de la duración del periodo de llenado de los granos, por efecto de las altas temperaturas, está relacionada con la disminución de la fuente fotosintética, ya que es menor el tiempo para el suministro de asimilados a los granos (Fraschina *et al.*, 2004).

A nivel de la hoja, la apertura y cierre estomático están influidos por varios factores como niveles de CO<sub>2</sub>, luz, temperatura, aunque también están estrechamente relacionados a la producción de ABA en ocasiones de estrés hídrico (Curtis *et al.*, 2008). Si en algún momento del ciclo el cultivo sufre algún tipo de estrés hídrico o térmico, el cierre estomático produce aumento de la temperatura de hoja por falta de intercambio de gases en la transpiración, Zia *et al.* (2013) encontraron alta relación entre la conductancia estomática y la temperatura del dosel. Otros autores, reportan las condiciones para que la termografía pueda servir para el fenotipo de diferentes materiales genéticos (Prashar y Jones, 2014). El premejoramiento y el mejoramiento del trigo pueden basarse en rasgos secundarios como la estabilidad de la membrana, tasa fotosintética y peso del grano bajo estrés por calor (Muhammad *et al.* 2011).

Con respecto a las temperaturas, los efectos negativos en el rendimiento pueden darse por altas medias o temperaturas extremas en cortos periodos, ambas

características pueden darse en nuestra región (Maddonni, 2012).

A pesar de lo expuesto, en el NEA existen pocos estudios referentes a el efecto de aumentos de temperaturas medias durante el ciclo del cultivo de trigo.

**Objetivo general:**

- Establecer diferencias en los componentes de rendimiento en función de estreses térmicos aplicados en diferentes momentos fenológicos del cultivo de trigo.
- Encontrar rangos diferenciales de temperatura del dosel sometido a estrés térmico.

**Objetivos específicos:**

- Registrar las variables meteorológicas (temperatura, precipitaciones)
- Realizar un seguimiento de la fenología del cultivo.
- Medir biomasa, rendimiento y componentes numéricos de rendimiento.

## MATERIALES Y METODOS

### *Lugar de Realización y Tipo de Suelo*

El experimento se realizó en la localidad de Corrientes, en el Campo Experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNNE durante el ciclo agrícola 2016 (Fig. 1).

El Campo Didáctico Experimental se encuentra ubicado en las siguientes coordenadas geográficas: Latitud: 27° 28'2723" S, Longitud: 58° 47'0066" O, altitud: 50 m sobre el nivel del mar.



Fig. 1: Ubicación Campo Experimental y ensayo de la tesina.

El suelo está clasificado como tipo Udipsamment álfico, mixto hipertérmico de la serie Ensenada Grande (Escobar *et al.*, 1994). El clima de la región está caracterizado como subtropical o templado cálido, correspondientes a los “bosques siempreverdes” de tipo mediterráneo (Bruniard, 2000), por sus características, según Köppen corresponde a Climas Templados Húmedos (De Fina y Ravelo, 1985)

### *Material Biológico – Características del cultivar*

**Cv. KLEIN GUERRERO** (categoría 1ra multiplicación)

Ciclo: Intermedio - largo

Características botánicas y agrícolas:

- Porte vegetativo: semirrastrero
- Altura de planta promedio los 105 cm.
- Peso de 1000 granos: 41,00 gr

Comportamiento a vuelco y desgrane: resistente

Perfil sanitario: buen comportamiento a las principales enfermedades.

Calidad panadera: Grupo 3

La siembra se llevó a cabo con una sembradora de ensayos de siembra directa (INTA Sombrero-Corrientes) la primer semana de mayo del 2016. La densidad de siembra se realizó con el objetivo de lograr 600 espigas m<sup>-2</sup>.

El cultivo se condujo bajo riego por goteo y fertilizaciones para que no existan deficiencias de nutrientes, intentado que el cultivo muestre su máximo potencial (Fig. 2), lo que se realizó con 3 riegos semanales de 1,5 hs de duración con cintas de 3,8 l. hr<sup>-1</sup>. m lineal<sup>-1</sup>. Los tratamientos fueron 1) condiciones normales, (testigo) 2) estrés térmico desde dos nudos por diez días o 20 días antes de floración hasta 10 días antes de floración, 3) estrés térmico desde 20 días antes de floración hasta floración; 4) estrés térmico 20 días antes a 10 días después de floración y 5) estrés térmico desde 20 días antes hasta 20 días posteriores a floración.



Fig. 2: Detalle del riego por goteo en la parcela.

Los estreses térmicos se lograron colocando carpas de estructura de hierro y cubiertas con plásticos de 150 micrones de 1,50 m<sup>2</sup> de superficie (Fig. 3), el testigo llevó una carpa, pero sin plásticos en los laterales para darle igualdad de condiciones de radiación. Dentro de las carpas se colocaron sensores de temperatura a efectos de registrar los reales aumentos de temperaturas dentro de las carpas.



Fig. 3: Ubicación de carpas para lograr aumento de temperatura en los tratamientos a) y testigos b)

### **Mediciones realizadas:**

Se registraron temperaturas medias diarias desde emergencia hasta madurez fisiológica fuera y dentro de las carpas (Fig. 4).



Fig. 4: Termómetros dentro de las carpas, data loggers con medición de temperatura continua.

- Registros fenológicos:

Se registraron estados fenológicos siguiendo la Escala Adaptada de Zadoks (Slafer y Rawson, 2004), a efectos de identificar los momentos de instalación de las carpas.

- Mediciones del cultivo:

- Mediciones de biomasa:

Se midió la biomasa aérea de medio metro lineal en pre y pos periodo crítico y en madurez fisiológica, llevando la muestra a estufa a 85°C hasta peso constante.

- Mediciones de rendimiento:

Al momento de cosecha (aprox. 18% de humedad en grano) se recolectaron las espigas de todas las plantas del centro de la parcela tratada. Los granos se pesaron, contaron y se calculó el peso seco de granos (Fig. 5).



Fig. 5: Conteo de factores numéricos del rendimiento.

### **Diseño Experimental y Análisis estadístico:**

Los tratamientos de calor y testigo se distribuyeron en un lote de trigo de 1000 m<sup>2</sup> con cuatro repeticiones ubicadas al azar. Los datos se analizaron con ANOVA y se realizó test de comparación de medias utilizando el software estadístico InfoStat 2020 (Di Rienzo *et al.*, 2020) y las correlaciones y regresiones se realizaron con Excel 2016.

## **RESULTADOS Y DISCUSION**

En la Tabla 1 se observan los resultados obtenidos respecto de los componentes numéricos del rendimiento debido a los tratamientos de calor durante diferentes etapas fenológicas del trigo.

**Tabla 1: Componentes numéricos del rendimiento:** Análisis de la Variancia para rendimiento en grano (Kg ha<sup>-1</sup>), peso 1000 granos (g) y número de granos para

cuatro tratamientos de calor y testigo en trigo Klein Guerrero, en la ciudad de Corrientes.

### COMPONENTES NUMERICOS DEL RENDIMIENTO

| TRATAMIENTO         | RENDIMIENTO | PESO 1000 GR | Nº DE GRANOS |
|---------------------|-------------|--------------|--------------|
| TESTIGO             | 5667,67 C   | 42,75 C      | 13253,33 C   |
| T1                  | 3216,13 A   | 40,62 C      | 7934,43 A    |
| T2                  | 4408,45 B   | 39,94 BC     | 11035,23 B   |
| T3                  | 3798,59 AB  | 37,13 B      | 10205,33 B   |
| T4                  | 3094,50 A   | 26,41 A      | 11795,73 BC  |
| Fuente de variación |             | P valor      |              |
| TRAT CALOR          | 0,0001      | <0,0001      | 0,0011       |
| LSD (0.05) *        | 858,72853   | 3,41936      | 2103,36925   |
| Cv                  | 14,11       | 6,07         | 12,87        |

\* Diferencia límite de significancia para factores individuales

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

El rendimiento en grano de un cultivo de trigo puede expresarse como el producto entre dos componentes: el número de granos  $m^{-2}$  y el peso medio del grano. El número de granos  $m^{-2}$  se define alrededor de antesis y el peso del grano durante el período de llenado (Abbate *et al.*, 1994). En el cultivo de trigo el período crítico (PC) es el período de crecimiento de la espiga (PCE) (Abbate *et al.*, 1994), se considera que este período va desde los 20 días previos a la antesis hasta los 7-10 días posteriores (Abbate *et al.*, 1997), momentos en los cuales se aplicaron los aumentos de temperaturas con carpas.

El rendimiento en grano osciló entre 3094,50 y 5667,67 Kg ha<sup>-1</sup> para los cuatro tratamientos de calor y el testigo ( $p=0,0001$ ) tabla 1. Un cultivo conducido sin limitantes hídricas ni nutricionales, permite la obtención de los rendimientos máximos, expresando todo su potencial en este caso para cada material genético. El rendimiento potencial se puede definir como aquel que se obtiene sin limitaciones de agua ni de nutrientes y en ausencia de efectos desfavorables de malezas, plagas, enfermedades y adversidades climáticas. Es decir que el rendimiento potencial del cultivo de trigo está relacionado directamente con la cantidad de radiación fotosintéticamente activa interceptada (Abbate *et al.*, 1997) e inversamente con la temperatura media (Fischer, 1985) durante el período de crecimiento de la espiga. En este trabajo, se lograron aplicar estreses térmicos (abióticos) durante 10 días a 40 días en diferentes momentos del ciclo del cultivo acumulados de a 10 días, y estos mostraron diferencias significativas en rendimiento, debido al componente numérico que se estaba fijando en ese momento, en el trat 1 solo se estaba comenzando a fijar número de granos el que disminuyó respecto del testigo y de los demás tratamientos, luego entre los demás tratamientos 2, 3, 4 y el testigo no mostraron diferencias.

Según Muhammad *et al.* (2011) el estrés por calor reduce la capacidad fotosintética de las plantas a través de limitaciones metabólicas y daño oxidativo a los cloroplastos, con reducciones concomitantes en la acumulación de materia seca y el rendimiento de grano, este efecto fue encontrado en este trabajo.

En los tratamientos se lograron aumentar temperaturas según muestra la Tabla 2, ya que esa diferencia dependía de las condiciones ambientales externas y de la cantidad de materia seca del canopeo en ese momento.

Tabla 2: Temperaturas medias medidas durante los 40 días de tratamientos en el testigo y en los tratamientos tomados como °C sobre el testigo

| MOMENTOS        | TRATAMIENTO | TEMPERATURAS<br>MEDIAS |
|-----------------|-------------|------------------------|
| 20 - 10 DPA     | T1          | T+2,48°C               |
| 20 DPA - A      | T2          | T+3,14 °C              |
| 20 DPA - 10 DDA | T3          | T+3,42 °C              |
| 20 DPA - 20 DDA | T4          | T+3,33 °C              |
| TESTIGO         | T           | 16,00 °C               |

En la Fig. 3 se pueden observar los rendimientos relativos al testigo y las disminuciones en cada componte y momento de aplicación de carpas.

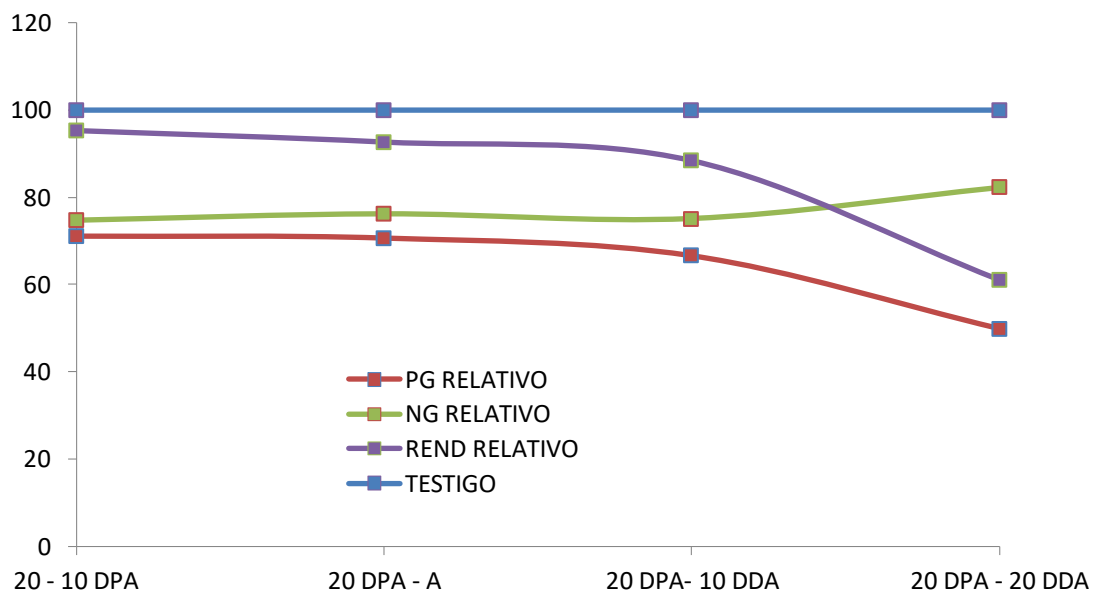


Fig. 3: Rendimiento y componentes numéricos relativos al testigo en tratamientos de calor bajo carpas en diferentes momentos del ciclo del cultivo en Corrientes.

Las temperaturas de aumento logradas llegaron a más de 3°C, representan alrededor de un 20% aumento respecto de la temperatura del testigo, suficiente para disminuir rendimientos, basados en proporcionalmente a peso (PG) como a número de granos (NG), salvo en el último tratamiento donde la mayor disminución fue en peso de granos. Existieron diferencias significativas para ambos componentes del rendimiento, PG ( $p=0,001$ ) y NG ( $p<0,0001$ ).

En T2 se llegaron a temperaturas medias de 19,29°C en el T3 17,59°C y T4 20,38°C, Muhammad *et al.* (2011) encontraron disminuciones de rendimiento de 2 a 4 tn.ha<sup>-1</sup> con aumentos de temperaturas de 16 a 18°C durante estadios cercanos a espigazón y floración por efectos directos en el número de granos por espiga.

Por otro lado, según Mostafa Abdelrahman *et al.* (2020) la exposición de las plantas de trigo en su etapa reproductiva o de llenado de granos a altas temperaturas afecta la duración y la velocidad de llenado de granos y, por lo tanto, tiene un impacto negativo en la productividad del trigo, en este trabajo no se tomó en cuenta las diferencias en fenología. Aunque si disminuyeron el peso de granos en los diferentes tratamientos.

## **CONCLUSIONES**

Los aumentos de temperatura durante diferentes periodos del cultivo de trigo en etapas de 10, 20, 30 y 40 días en los tratamientos, disminuyen el rendimiento final, principalmente afectando el número de granos.

En los tratamientos más tardíos es mayormente afectado el peso de granos.

Con el uso de carpas de polietileno se logró aumentar en más de 3°C la temperatura del dosel de trigo.

## **Bibliografía:**

Abbate, P.; Andrade, F. and Culot, J. 1995. The effects of radiation and nitrogen on number of grains in wheat. *J. Agric. Sci.* 124:351-360.

Abbate, P.; Andrade, F. y Culot, J. 1994. Boletín Técnico N°133. EEA INTA Balcarce. 17 p.

Abbate, P.E., Andrade, F.H., Culot, J.P. 1997. Grain yield in wheat: Effects of radiation during spike growth period. *Field crops Research* 54:245-257.

Bruniard, E. 2000. Los regímenes climáticos y la vegetación natural. Aportes para un modelo fitoclimático mundial. Academia Nacional de Geografía. Publicación Especial N° 16. Bs. As., Argentina. 79 pp.

De Fina, A.L. y Ravelo A.C. 1985. *Climatología y Fenología Agrícolas*. 4° Ed. EUDEBA. Buenos Aires, Argentina. 354 págs.

Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>

Escobar, E.H., Ligier, D., Melgar, M., Matteio, H. y Vallejos, O. 1994. Mapa de suelos de los Departamentos de Capital, San Cosme e Itatí de la Provincia de Corrientes, Argentina. p. 129. Publicación del Convenio del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA-ICA) y Provincia de Corrientes-CFI, Argentina.

Ferris, R.; Ellis, R.H.; Wheeler, T.R.; and P. Hadley. 1998. Effect of High Temperature Stress at Anthesis on Grain Yield and Biomass of Field-grown Crops of Wheat. *Annals of Botany*. Volume 82, Issue 5, pp. 631-639.

Field, C.B.; Barros, V.; Stocker, T.F. and Q. Dahe. 2012. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press (2012)

Fischer, R.A. 1985. Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature *J. Agric. Sci., Camb*, 105, 447-461.

Fontana, G.; Toreti, A.; Ceglar, A. and G. De Sanctis. 2015. Early heat waves over Italy and their impacts on durum wheat yields. European Commission, Joint Research Centre, Ispra (VA), Italy. *Nat. Peligros Syst Tierra. Sci.*, 15 (2015), pp. 1631-1637

Fraschina, J.; Formica, B.; Masiero, E. 2004. Caracterización del crecimiento de grano de trigo. *Revista IDIA XXI*: N°6 Junio de 2004. pp 40-42

Maddonni, G.A. 2012. Analysis of the climatic constraints to maize production in the current agricultural region of Argentina, a probabilistic approach. *Theoretical and Applied Climatology*. 107:325-345

Miralles D.J., Windauer L.B y Gomez N.V. 2003. Factores que regulan el desarrollo de los cultivos de granos. En: Satorre, E., Benech-Arnold, R., Slafer, G.A., de la Fuente, E., Miralles, D., Otegui, M.E., y Savín, R. (eds), Editorial Facultad de Agronomía. Pp. 61-74. ISBN 950-29-0713-2

Mostafa Abdelrahman, David J Burritt, Aarti Gupta, Hisashi Tsujimoto, Lam-Son Phan Tran. 2020. Heat stress effects on source–sink relationships and metabolome dynamics in wheat, *Journal of Experimental Botany*, Volume 71, Issue 2, 7 January 2020, Pages 543–554, <https://doi.org/10.1093/jxb/erz296>.

Muhammad Farooq, Helen Bramley, Jairo A. Palta y Kadambot HM Siddique. 2011. Estrés por calor en el trigo durante las fases reproductiva y de llenado de granos, *Revisiones críticas en ciencias de las plantas*, 30: 6, 491-507, DOI: 10.1080 / 07352689.2011.615687.

Prashar, A. and H. G. Jones. 2014. Infra-Red Thermography as a High-Throughput Tool for Field Phenotyping. *Agronomy* 2014, 4(3), 397-417.

Slafer GA, Rawson H. 1994. Sensitivity of wheat phasic development to major environmental factors: A re-examination of some assumptions made by physiologist and modellers. *Australian Journal of Plant Physiology*. 21: 393-426.

Vignjevic, M.; Wang, X. ; Olesen, J. and B. Wollenweber. 2015. Traits in Spring Wheat Cultivars Associated with Yield Loss Caused by a Heat Stress Episode after Anthesis. *J. Agron. Crop Sci.*, 201 (2015), pp. 32-48.

Warrington, I.J.; Dunstone, R.L.; Green, L.M. 1977. Temperature effects of three development stages on yield of heat ear. *Aust. J. Agric. Res.* 28:11-27.

Zia, S.; Romano, G.; Spreer, W.; Sanchez, C.; Cairns, J.; Araus, J.L.; Muller, J. 2013. Infrared Thermal Imaging as a Rapid Tool for Identifying Water-Stress Tolerant Maize Genotypes of Different Phenology. *Journal Agro Crop Sci.* 199:75-84.