

**UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS  
ESCUELA DE POSTGRADO**

**DETERMINACIÓN DE COEFICIENTES GENÉTICOS EN TRIGO  
CANDEAL (*Triticum turgidum* ssp. durum L.) VARIEDADES  
LLARETA-INIA Y CORCOLÉN-INIA EN CONDICIONES ÓPTIMAS**

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGISTER EN CIENCIAS  
AGROPECUARIAS MENCIÓN EN PRODUCCIÓN DE CULTIVOS

LUIS FELIPE ROMÁN OSORIO

DIRECTORES DE TESIS

GIORGIO CASTELLARO GALDAMES  
PAOLA SILVA CANDIA

PROFESORES CONSEJEROS

CRISTIAN KREMER FARIÑA  
VICTOR GARCIA DE CORTAZAR GARCIA DE CORTAZAR

SANTIAGO DE CHILE  
2009

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**ESCUELA DE POSTGRADO**

**Título**

**DETERMINACIÓN DE COEFICIENTES GENÉTICOS EN TRIGO CANDEAL VARIEDADES  
LLARETA-INIA Y CORCOLÉN-INIA EN CONDICIONES ÓPTIMAS.**

Tesis presentada para optar al Grado de  
Magister en Ciencias Agropecuarias mención  
en Producción de Cultivos

Memoria para optar al Título Profesional de  
Ingeniero Agrónomo mención Fitotecnia.

**Luis Felipe Román Osorio**

	Calificación (Memoria de título)	Calificación (Tesis de grado)
Directores de Tesis		
Giorgio Castellaro G., Ing. Agr. M. S.	Aprobado	7,0
Paola Silva C., Ing. Agr. Dr.	Aprobado	7,0
Profesores Consejeros		
Cristian Kremer F., Ing. Agr. Ph. D.	Aprobado	6,8
Víctor García De Cortázar G. de C., Ing. Agr. M.S. Dr.	Aprobado	7,0

Santiago, Chile

2009

*Gracias*

*a mi madre por su amor e incondicionalidad  
y a Javier por su lealtad y apoyo como hermano,  
los amo.*

## AGRADECIMIENTOS

Son muchas las personas que debería nombrar en estas líneas, pero me quedaré con las más trascendentales, con aquellas que no han bajado la guardia y siempre me han apoyado, tanto a lo largo del desarrollo de esta Tesis como a lo largo de mi vida.

Primero, debo dar gracias a mi madre, Elena. A aquella incansable mujer que desde que era pequeño me ha guiado y acompañado en los momentos en que más le he necesitado. Por su apoyo, por su incondicionalidad de madre y principalmente por su amor que no espera nada a cambio. Mamá, todo mi trabajo va dedicado a ti. A mi hermano Javier Ignacio, por ser el apoyo, el consejo y tu lealtad ante todo. Escucharme cuando lo necesito y apoyarme siempre, pero sobretodo por el inmenso amor que siento de tu parte. A mi Coquita, mi abuelita María Elena, que me cuida desde el cielo y siempre quiso lo mejor para mí, soy tu orgullo y te cumplí como siempre lo soñaste, te amaré siempre.

Doy gracias también a mis amigos, con los cuales he formado vínculos indisolubles, en especial a Hugo, Jonathan, Felipe, Gabriel, Juan, Danae, Cristhian. Han sido mi cable a tierra, mi apoyo en los buenos y malos momentos. Gracias por estar siempre, aunque ahora este lejos, siempre los tengo conmigo.

A mi profesor guía Giorgio Castellaro por las tardes enteras dedicadas a desarrollar ideas posibles de acuerdo a modelos a implementar, mejorar los cálculos y en el constante apoyo para solucionar todo lo atingente a mi vida. También como formador en el ámbito de la modelación de sistemas Agropecuarios y abrir mi mente hacia otras disciplinas, junto con los profesores Luis Morales y Francisco Matus.

A mi profesora guía Paola Silva por ayudarme a implementar los ensayos y facilitarme todo el material con el que fueron posibles todas las mediciones de esta tesis, también por la dedicación a mi tesis y el cariño que siento cada vez que compartimos.

A Don Edmundo Acevedo, por ser quién más admiro como académico e investigador, que siempre pese a las dificultades creyó en mí y me incluyó siempre en sus planes para ser parte de su equipo y estar presente en mi formación. A Don Víctor García de Cortázar, por tener siempre la disposición de ayudarme con las dudas que se me han planteado, facilitarme equipos para la medición y de siempre tener la disposición para mí. A los profesores Antonio Rustom, Alberto Mansilla, Cristian Kremer, Herman Silva, Tomas Cooper y Alvaro Peña, que han ayudado en mi formación como profesional durante todo el periodo universitario.

Finalmente, gracias a todo el equipo del Laboratorio de Suelo-Agua-Planta. En especial a Rosa Elena, Mauricio y Eduardo, por sus consejos y la ayuda que siempre han estado gustosos de entregarme y por los agradables momentos que he compartido, en donde se hace el trabajo más agradable día a día.

A todos ustedes gracias.

## INDICE

<b>RESUMEN</b>	<b>7</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>8</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>9</b>
<b>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>11</b>
<b>Producción de Fitomasa aérea</b>	<b>11</b>
<b>Desarrollo del área foliar</b>	<b>11</b>
<b>Intercepción de la Radiación</b>	<b>13</b>
<b>Eficiencia en el uso de la radiación</b>	<b>14</b>
<b>Índice de Cosecha</b>	<b>15</b>
<b>Fenología</b>	<b>16</b>
<b>HIPÓTESIS DE TRABAJO</b>	<b>18</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>18</b>
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>19</b>
<b>Variables meteorológicas</b>	<b>19</b>
<b>Mediciones de crecimiento y desarrollo</b>	<b>19</b>
Establecimiento del cultivo y densidad de plantas	19
Fenología	20
Componentes de la fitomasa aérea del cultivo y área foliar	20
Fracción interceptada de la radiación fotosintéticamente activa	20
Rendimiento y componentes de la fitomasa aérea.	21
<b>Relaciones a establecer</b>	<b>21</b>
Tasa de aparición foliar y filocrono.	21
Área foliar específica	22
Área foliar por planta	22
Coeficiente de extinción de radiación fotosintéticamente activa	22
Radiación solar fotosintéticamente activa interceptada	22

Eficiencia de Uso de la Radiación fotosintéticamente activa interceptada en producción de materia seca	23
Evolución del índice de cosecha.	23
<b>Análisis Estadístico</b>	<b>23</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>25</b>
<b>Fenología</b>	<b>25</b>
<b>Desarrollo del área foliar e intercepción de la radiación.</b>	<b>26</b>
<b>Eficiencia de uso de la radiación</b>	<b>30</b>
<b>Área foliar específica</b>	<b>32</b>
<b>Área Foliar por planta</b>	<b>33</b>
<b>Evolución del Índice de Cosecha</b>	<b>35</b>
<b>Rendimiento, sus componentes y rastrojo</b>	<b>36</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>37</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>38</b>
<b>APÉNDICE</b>	<b>47</b>

## RESUMEN

La información existente para simular la productividad en trigo candeal es escasa. Para esto son necesarios los coeficientes genéticos, cuyos valores no se ven significativamente afectados por su interacción con el medio ambiente. Estos coeficientes están involucrados con el desarrollo, la intercepción de la radiación, conversión a materia seca de la energía solar y partición de los asimilados a grano. En este trabajo se determinó si existen diferencias significativas de estos coeficientes entre las variedades Llareta-INIA y Corcolén-INIA. Las determinaciones de los coeficientes genéticos (tasa de aparición foliar, filocrono, tiempo térmico fenológico, coeficiente de extinción, eficiencia de uso de la radiación) se hicieron con datos provenientes de ensayos de campo en un suelo de origen aluvial localizado en Antumapu, Santiago, Chile, con diseño en bloques al azar, en ausencia de estreses bióticos y ambientales, cuyos resultados se analizaron mediante regresiones y análisis de varianza. Ambas variedades tuvieron un desarrollo fenológico similar al tener similares requerimientos termales. Lo mismo sucedió con el filocrono ( $112,18\text{ }^{\circ}\text{C día hoja}^{-1}$  para Corcolén-INIA y  $107,33\text{ }^{\circ}\text{C día hoja}^{-1}$  para Llareta-INIA) y en el comportamiento del índice de área foliar (IAF). No obstante, Corcolén-INIA se caracterizó por tener un menor coeficiente de extinción de la radiación en la canopia ( $k$ ) (0.438) que Llareta-INIA (0,511). La eficiencia del uso de la radiación (EUR), es decir cantidad de energía para producir un gramo de fitomasa aérea seca, medida en todo el ciclo del cultivo fue similar en ambas variedades:  $2,96\text{ g MJ}^{-1}$  Corcolén-INIA y  $2,86\text{ g MJ}^{-1}$  en Llareta-INIA. A pesar de ello, al analizar dicha eficiencia por separado para el período vegetativo y reproductivo, se detectaron diferencias significativas. Corcolén-INIA tuvo una tasa de reparto de asimilados hacia el grano similar ( $0,049\% \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}\text{ día}^{-1}$ ) que Llareta-INIA ( $0,0486\% \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}\text{ día}^{-1}$ ). Las diferencias observadas entre ambas variedades no influyeron sobre el rendimiento de grano.

Palabras clave: Coeficientes Genéticos, Eficiencia de Uso de la Radiación, Índice de Área Foliar, Intercepción de Radiación y Trigo Candeal.

## ABSTRACT

Available information to simulate durum wheat productivity is very scarce. For this purpose, genetic coefficients, whose values are not significantly affected by their interaction with the environment, are needed. These coefficients are involved in the development, interception of radiation, solar energy conversion to dry matter and assimilate partitioning to grain. This work attempted to determine whether there are significant differences in the coefficients between the Llaretta-INIA and Corcolén-INIA varieties. The determinations of genetic coefficients (phyllochron, rate of leaf appearance, thermal time, extinction coefficient and radiation use efficiency) were made with data from field trials in alluvial soils located in Antumapu, Santiago of Chile, with a randomised complete block design, without biotic and abiotic stresses, whose results were studied by regression and analysis of variance. Both varieties had a similar phenological development because they had similar thermal requirements. This same situation happened with the phyllochron ( $112.18^{\circ}\text{C day leaf}^{-1}$  for Corcolén-INIA and  $107.33^{\circ}\text{C day leaf}^{-1}$  for Llaretta-INIA) and in the leaf area index behavior. However, Corcolén-INIA had a lower canopy radiation extinction coefficient ( $k$ ) (0.438) than Llaretta-INIA (0.511). The radiation use efficiency (RUE) measured throughout the crop cycle was similar in both varieties ( $2.96\text{g MJ}^{-1}$  Corcolén-INIA and  $2.86\text{g MJ}^{-1}$  in Llaretta-INIA). In spite of it, in analyzing the RUE separately for the vegetative and reproductive stages, both of them showed significant differences. Corcolén-INIA had a dry matter partitioning to grain similar to that of Llaretta-INIA ( $0.049\% \text{ C}^{-1} \text{ day}^{-1}$  and  $0.486\% \text{ C}^{-1} \text{ day}^{-1}$ , respectively). The differences observed between the two varieties produced no effect on final yield.

Keywords: Durum wheat, Genetic coefficients, Interception of Radiation, Leaf Area Index and Radiation Use Efficiency.



## INTRODUCCIÓN

El trigo es el cultivo de mayor superficie a nivel mundial. El 90% corresponde a trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) y el 10% a trigo candeal (*Triticum turgidum* L. ssp. durum). El trigo candeal es utilizado principalmente en la elaboración de pastas, a partir de la semola extraída del almidón.

La investigación y conocimiento fisiológico de trigo candeal es menor que en trigo harinero. La mayoría de la superficie sembrada se encuentra en zonas de clima mediterráneo, donde usualmente la sequía y estrés por temperatura condiciona el rendimiento potencial durante el período de llenado del grano (Simane *et al.*, 1993). Chile ha aumentado la producción de pastas en los últimos 10 años, por ello ha incrementado la superficie sembrada. Existen estadísticas oficiales sobre la superficie sembrada, estimándose en aproximadamente 28.743 ha (INE, 2007). En la Region Metropolitana, Región del Libertador Bernardo O'Higgins, Región del Maule y Región del Bío-Bío, se concentra la mayor superficie sembrada de trigo candeal. En el país se utilizan dos variedades comerciales, Llaretta-INIA y Corcolén-INIA, de las cuales la primera ocupa alrededor del 90% de la superficie (Matus *et al.*, 2005).

Existen una amplia gama de modelos que simulan la productividad de cereales, fundamentalmente orientados al cultivo de trigo harinero (Ritchie y NeSmith, 1991; White *et al.*, 2007). En los modelos de simulación utilizados para trigo candeal, generalmente se han utilizado coeficientes genéticos propios del trigo harinero.

Para utilizar adecuadamente los modelos de simulación en trigo candeal, es necesario estimar los coeficientes genéticos para las variedades locales. Estos coeficientes genéticos son parámetros que se caracterizan propios del genotipo y se asumen que son invariantes bajo cualquier condición ambiental. Algunos de estos coeficientes utilizados se utilizan en la Cuadro 1.

Para establecer el estudio de los coeficientes genéticos es necesario conocer la fisiología de la producción de fitomasa y su relación con el rendimiento de granos, lo cual es explicado por el siguiente modelo general:

$$R = MST \cdot IC \quad (1)$$

Cuadro 1. Coeficientes Genéticos utilizados en la simulación del crecimiento y fenología del trigo (Amir y Sinclair, 2001).

Coeficiente	Definición	Unidades
Filocrono	Suma térmica necesaria para que aparezca una hoja desplegada en un tallo	Día °C hoja <sup>-1</sup>
IAFmax	Índice de área foliar máximo	m <sup>2</sup> hoja m <sup>-2</sup> suelo
PVA	Duración del periodo entre término crecimiento foliar y antesis	Día °C
PFG	Duración del periodo entre emergencia y llenado de grano	Día °C
<i>k</i>	Coeficiente de extinción de la radiación en la canopia, para todo el ciclo del cultivo.	Adimensional
EUR	Eficiencia de uso de la radiación interceptada en producción de materia seca	g MS MJ <sup>-1</sup>
RAF	Relación de área foliar	g MS hoja m <sup>-2</sup>

Donde R es el rendimiento de fitomasa cosechable del cultivo (kg ha<sup>-1</sup>), MST es la fitomasa total aérea (kg ha<sup>-1</sup>) e IC es el índice de cosecha. Esta ecuación resume todos los procesos fisiológicos involucrados en la generación del rendimiento y las relaciones funcionales entre las distintas variables.

Es necesario establecer que existen tres procesos fundamentales que son necesarios de considerar en la modelación de cualquier cultivo y que afectan el rendimiento potencial: i) intercepción de la radiación por parte de órganos fotosintéticamente activos, ii) conversión de la luz a materia seca por la radiación interceptada y iii) la partición de los fotosintetatos a producto cosechable (grano), expresado como índice de cosecha (Hay y Walker, 1989).

Para estudiar estos procesos es necesario determinar su relación con el rendimiento potencial. Estos procesos están íntimamente regulados por factores genéticos siendo modificados en menor medida por los factores ambientales, como temperaturas diarias, radiación incidente sobre el cultivo, la disponibilidad de agua del cultivo, disponibilidad de nutrientes e incidencia de plagas y enfermedades (Sinclair y Muchow, 1999; Reynolds *et al.*, 2000; Kemanian *et al.*, 2004). En el presente trabajo, los coeficientes genéticos se estimaron en un cultivo bajo riego con las condiciones óptimas para su crecimiento, minimizando la posibilidad de ocurrencia de estrés ya sea por falta de agua, nutrimentos, incidencia de plagas y enfermedades.

## REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### Producción de Fitomasa aérea

El crecimiento del cultivo es el resultado de la división y el aumento en el volumen celular. Estos procesos son el resultado de la producción, transporte y acumulación de fotoasimilados y nutrientes. Los fotoasimilados provienen de la fijación de dióxido de carbono, producto de la fotosíntesis (Villalobos *et al.*, 2002).

La tasa de asimilación neta de un cultivo resulta del balance de dos procesos, la fotosíntesis bruta y la respiración. Debido a que la fracción de carbono fijado que se destina a respiración es constante, aumentos en radiación fotosintéticamente activa interceptada (45% de la radiación global) generan aumentos proporcionales en las tasas de crecimiento (Monteith, 1977; Gallagher y Biscoe, 1978).

La radiación interceptada por un cultivo, depende del tamaño de la canopia y de su arquitectura, así como de la intensidad de la radiación solar sobre ésta. La tasa de crecimiento del cultivo puede ser cuantificada por medio de la eficiencia de la cubierta vegetal para convertir la radiación solar interceptada en producción de nueva fitomasa. Integrando este proceso a lo largo del ciclo de desarrollo del cultivo se puede estimar la producción de fitomasa de éste lo cual se expresa por medio de la siguiente ecuación:

$$MST = EUR \int_{t_i}^{t_f} I_0 \cdot f \cdot dt \quad (2)$$

Donde MST es la fitomasa aérea del cultivo ( $\text{g m}^{-2}$ );  $I_0$  es la radiación fotosintéticamente activa incidente diaria ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ );  $f$  es la fracción de la radiación diaria que es interceptada por el cultivo; EUR es la eficiencia en el uso de radiación interceptada en producción de materia seca ( $\text{g MJ}^{-1}$ ) y  $(t_f - t_i)$  es la duración del periodo de crecimiento en días, desde la emergencia del cultivo hasta su madurez fisiológica.

### Desarrollo del área foliar

La cantidad de radiación solar interceptada acumulada por un cultivo depende de la duración del ciclo de desarrollo foliar. Esto último está ligado a la evolución del índice de área foliar (IAF) (unidad de superficie foliar fotosintéticamente activa por unidad de suelo) (Maddonni y Otegui, 1996). La evolución del IAF es producto de la aparición y expansión

de las hojas. La aparición foliar responde a la acumulación de tiempo térmico o días grado (diferencia entre temperatura media diaria y temperatura basal de crecimiento) necesarios para la aparición de una hoja (filocrono) (Wilhelm y McMaster, 1995). Este valor varía entre especies y entre genotipos, pero es relativamente constante en el periodo de crecimiento del cultivo, por lo cual se considera un coeficiente genético. El área foliar en conjunto con la tasa de aparición foliar o su recíproco el filocrono (Friend *et al.*, 1965; Baker *et al.*, 1986), tienen un papel relevante en explicar la intercepción de la energía solar, la acumulación de materia seca y el rendimiento en grano del cultivo (McMaster, 1997; Xue *et al.*, 2004). A menudo el filocrono se mide según la escala de Haun utilizada para cereales (Haun, 1973) que es equivalente a la medición efectuada de hojas desplegadas.

Wilhelm y McMaster (1995) señalaron que variables ambientales pueden afectar de manera positiva, negativa o pueden no influir en el filocrono. Principalmente factores relacionados con el estrés afectan esta relación. La temperatura aumenta el valor de filocrono debido a un aumento de la misma (Cao y Moss, 1989). La luz diaria afecta por su incremento tanto en la cantidad de horas luz día (Friend *et al.*, 1963) como en su calidad dada por las ondas de rojo lejano. Otras variables que afectan esta relación son disponibilidad de nutrientes, agua, salinidad y la cantidad de CO<sub>2</sub> (Frank y Bauer, 1982).

Frank y Bauer (1995) estimaron valores de filocrono para trigo harinero y candeal. En seis cultivares de trigo harinero, el filocrono varió entre 74,6 y 79,4 °C día hoja<sup>-1</sup>, mientras que en 4 cultivares de trigo candeal, los valores fluctuaron entre 77,2 y 82,0 °C día hoja<sup>-1</sup>.

La temperatura y la disponibilidad de recursos (agua y/o nutrientes) pueden influir de manera importante en el desarrollo del IAF debido a sus efectos sobre la duración en la diferenciación de las hojas (Cirilo y Andrade, 1994). Royo *et al.* (2004) estimó en 25 genotipos cultivados de trigo candeal en condiciones de riego y seco, la evolución del IAF total e IAF verde, utilizando una curva logística asimétrica, cuya variable independiente fueron los días-grado acumulados. Se observaron diferencias hasta un 27% de IAF total y hasta 35% de IAF verde, entre las variedades cultivadas en condiciones de riego y seco, respectivamente. En la condición de seco se observaron menores IAF total y verde, así como un menor tiempo térmico acumulado hasta madurez fisiológica.

La relación entre área foliar y materia seca de hojas es llamada área foliar específica. El área foliar específica ha sido relacionada con la estructura foliar, crecimiento y fotosíntesis neta (Barden, 1977). A menudo es usado en modelos de simulación de cultivos para estimar el área foliar total o peso seco (Aase, 1978; Ramos *et al.*, 1982; Reddy *et al.*, 1989). El área foliar y el área foliar específica son importantes parámetros en muchos procesos ecológicos y agronómicos, incluyendo fotosíntesis, transpiración y balances energéticos, que pueden llegar a ser muy costosos de medir (Payne *et al.*, 1991). Este coeficiente es usado para estimar área foliar en varias etapas fenológicas y muchos modelos predicen área foliar a partir de la materia seca acumulada o viceversa (Cropsyst, Stöckle *et al.*, 2003). El Área foliar específica es usado también junto con el área foliar para estimar balances de nutrientes y estimaciones de crecimiento en cultivos. También es relacionado en modelos que estudian la relación fuente-sumidero de carbohidratos o partición de materia seca

(Penning de Vries *et al.*, 1983) y estudian esta relación para fines de mejoramiento genético (Asseng *et al.*, 2003) (Asseng *et al.*, 2003). Existe una alta correlación lineal entre área foliar y materia seca de hojas (Watson, 1937, citado por Aase, 1978; Zrust *et al.*, 1974; Aase 1978; Ramos *et al.*, 1982; Akram-Ghaderi y Soltani, 2007), sin embargo esta relación puede ser variable durante el ciclo de desarrollo del cultivo (Aase, 1978; Awal *et al.*, 2004). Aase (1978), estudió esta relación. La materia seca foliar y la materia seca total estuvieron correlacionadas con el área foliar ( $r^2=0,951$  y  $r^2=0,948$ , respectivamente), durante cinco etapas de crecimiento, observándose valores de 201,9 y 113,65 cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>, respectivamente. Esto permite aseverar que aumentos en el área foliar en condiciones óptimas, se traducen en aumentos en materia seca.

El IAF tiene un aumento exponencial hasta la aparición de la hoja bandera. Un temprano aumento en el aumento del área foliar y del macollaje incrementa significativamente la tasa fotosintética (Zhong *et al.*, 2002; Royo *et al.*, 2004). La competencia intraplanta y las modificaciones en el ambiente lumínico del cultivo, determinan que disminuya el macollaje y la expansión foliar. El estrés a los que se somete el cultivo aceleran la senescencia cayendo el área foliar después de alcanzar el máximo. Cambios en la cantidad de radiación y en la calidad de la luz que penetra la canopia regulan este proceso (Rousseaux *et al.*, 1996).

Fisher y Kohn (1966) determinaron que el rendimiento en grano está correlacionado ( $r=0,969$ ) con el aumento del área foliar hasta floración. Posteriormente la planta entra en senescencia y no es posible aumentar el área foliar.

### Intercepción de la Radiación

El aumento en la intercepción de la radiación está relacionado con un aumento temprano en el IAF y un alto valor del coeficiente de extinción de radiación interceptada ( $k$ ), determinado por la arquitectura de la planta y el ángulo de inclinación de las hojas. (Sinclair, 1988). El coeficiente de extinción es específico para cada variedad; crece proporcionalmente hasta la anthesis para posteriormente disminuir, producto de la caída en el IAF, especialmente durante el periodo de llenado de grano (Gallagher y Biscoe, 1978; O'Connell *et al.*, 2004). No obstante, se considera el valor de  $k$  constante, debido a la pequeña variación que experimenta a lo largo del ciclo de desarrollo del cultivo. O'Connell *et al.* (2004) determinaron un valor para trigo harinero de 0,63, mientras Pala *et al.* (1996) cita un valor de 0,53 para trigo candeal. Conocido el valor de  $k$ , la fracción de radiación fotosintéticamente activa interceptada por la canopia ( $f$ ), está determinada por la siguiente ecuación definida por la ley de Beer-Lambert (Monsi y Saeki, 1953; Anderson, 1966; Lang, 1987; Maass *et al.*, 1995):

$$f = 1 - e^{-k \cdot IAF} \quad (3)$$

El valor máximo de fracción de radiación interceptada difiere entre especies y genotipos de una misma especie. Para trigo este valor tiende a 1, porque intercepta prácticamente toda la radiación incidente en la canopia. Cuando los cultivos tienen un IAF menor a 1 son ineficientes en la captación de radiación, esta restricción está influida por el ambiente y puede reducirse con prácticas de manejo (densidad de siembra y distancia entre hileras).

Calderini *et al.* (1997), investigaron el efecto varietal de 30 híbridos de trigo harinero en la producción de fitomasa, la intercepción de radiación acumulada y el coeficiente de extinción de radiación, durante todas las fases del crecimiento. La tasa de crecimiento del cultivo fue calculada para cada variedad en pre-antesis y post-antesis. La radiación acumulada interceptada no fue significativamente distinta en los híbridos analizados, debido fundamentalmente a diferencias entre la duración de las fases de crecimiento.

### **Eficiencia en el uso de la radiación**

La eficiencia de uso de la radiación (*EUR*) es definida como la cantidad materia seca producida por unidad de energía solar interceptada o absorbida por el cultivo. Las principales diferencias son atribuibles al tipo de metabolismo del carbono de la especie y por el tipo de composición química de la materia seca producida. Por ejemplo, plantas  $C_4$  (maíz, caña de azúcar) tienen una mayor EUR que las plantas  $C_3$  (trigo y maravilla) por otro lado, plantas oleaginosas son menos efectivas en la conversión de radiación solar interceptada que plantas no oleaginosas (Villalobos *et al.*, 2002). La EUR es específica para cada especie, genotipo y cultivar, no encontrándose diferencias significativas en los valores de un mismo cultivo ubicado en distintas localidades (Gifford *et al.*, 1984). No obstante, se ha visto una variación dentro del ciclo de desarrollo, notándose una cierta disminución después de la floración (Calderini *et al.*, 1997; Miralles y Slafer, 1997). En el cuadro 2 se presentan valores de EUR medidos en el cultivo de trigo.

El estrés durante el crecimiento del cultivo reduce la eficiencia de uso de la radiación, disminuyendo la utilización de los fotosintetatos (Muchow, 1985; Wilson y Jamieson, 1985; Alves *et al.*, 1999; Cárcova *et al.*, 2003). Existen diferencias dependiendo del requerimiento cuántico de luz para fijar una molécula de  $CO_2$ . Para condiciones óptimas de cultivo el requerimiento cuántico de fotones es de  $10 \text{ mol mol}^{-1} CO_2$  (Loomis y Amthor, 1996). La EUR tiende a ser mayor frente a aumentos en el contenido de nitrógeno foliar, pero disminuye su valor cuando el nivel de nitrógeno foliar está fuera del rango óptimo de concentración para el cultivo (Sinclair y Muchow, 1999).

Cuadro 2. Valores de Eficiencia de uso de la radiación (*EUR*, g MJ<sup>-1</sup>), determinados en trigo harinero.

Lugar	Estado	Radiación	EUR		Fuente
			Máximo	Mínimo	
Nueva Zelanda	Ciclo	RFAI <sup>1</sup>	2,38	1,19	Wilson y Jamieson (1985)
Australia	Ciclo	RFAI	1,68	0,84	Gregory y Eastham (1996)
Australia	Vegetativo	RFAI	1,46	0,73	Gregory <i>et al.</i> (1992)
Australia	Vegetativo	RFAI	2,93	1,46	Yunusa <i>et al.</i> (1993)
Argentina	Vegetativo	RFAI	2,77	2,77	Calderini <i>et al.</i> (1997)
Argentina	Reproductivo	RFAI	2,26	2,26	Calderini <i>et al.</i> (1997)
Estados Unidos	Vegetativo y reproductivo	RFAA <sup>2</sup>	3,82	1,62	García <i>et al.</i> (1988)
Australia	Vegetativo	RFAA	3,36	1,51	Fisher (1993)

<sup>1</sup> RFAI: Radiación fotosintéticamente activa interceptada.

<sup>2</sup> RFAA: Radiación fotosintéticamente activa absorbida.

García *et al.* (1988) no encontraron efectos significativos de las condiciones climáticas en el valor de EUR en trigo cuando se sembró en tres localidades contrastantes. García *et al.* (1988), Gregory *et al.* (1992) y Calderini *et al.* (1997), trabajando en trigo harinero, señalan una caída en el valor de EUR en la etapa reproductiva. No obstante, Sinclair y Horie (1989) demostraron que la EUR es estable en un amplio rango de IAF, excepto cuando el IAF fue menor a 1, porque el cultivo es menos eficiente en convertir la energía solar en materia seca. Sands (1996) también evidenció la pérdida de sensibilidad de la EUR a cambios en IAF. De acuerdo a este último autor, el cambio en la elevación solar o latitud, no tuvo efectos significativos sobre los valores de EUR.

### Índice de Cosecha

El índice de cosecha (*IC*) refleja la fracción de materia seca utilizada en producir granos. El índice de cosecha es un coeficiente utilizado como estimador del rendimiento primario bajo condiciones óptimas (Hay, 1995; Aparicio *et al.*, 2000). También es utilizado como el principal indicador de rendimiento económico (Moragues *et al.*, 2006). El *IC* varía con el genotipo, el ambiente y con la interacción genotipo-ambiente. Sus cambios son notablemente menores comparado a los que experimenta fitomasa total (Cárcova *et al.*,

2003). No obstante lo anterior, al intentar predecir la evolución del IC en función del tiempo térmico, la literatura menciona muy pocos antecedentes al respecto.

La producción de trigo bajo condiciones mediterráneas, está frecuentemente limitada por altas temperaturas y sequía durante el periodo de crecimiento del grano (Denčić *et al.*, 2000; García del Moral *et al.*, 2003). Estos autores demostraron que tanto trigos harineros como candeales, cultivados en condiciones mediterráneas más frías, tienen un mayor peso por grano, mientras que el número de espigas por metro cuadrado es significativamente mayor en condiciones mediterráneas más cálidas. Probablemente estas diferencias están relacionadas a la disponibilidad de agua y al “hambre” de nitrógeno que se manifiesta en esta etapa. Ramos *et al.* (1985), Boggini *et al.* (1990), Turner (1997), Denčić *et al.* (2000) y Villegas *et al.* (2001) midieron la susceptibilidad del IC a condiciones de sequía, y demostraron una disminución significativa de su valor en condiciones de estrés hídrico.

Los métodos para estimar el IC se establecen en dos grandes grupos: i) aquellos que miden componentes del rendimiento, fundamentalmente número de granos por planta (Villalobos *et al.*, 1996), y ii) aquellos que miden la fracción que representan los granos con respecto a la fitomasa aérea del cultivo (Stöckle *et al.*, 1994), desde el inicio del crecimiento de los granos hasta la madurez fisiológica del cultivo. El incremento de IC tiene un comportamiento lineal y ocurre desde después de anthesis hasta que alcanza el máximo valor en madurez fisiológica (Villalobos *et al.*, 1996; Kemanian *et al.*, 2007). Sin embargo, a pesar de la relativa simpleza con que se determina el valor de IC, es frecuente que se sobreestime su valor debido al decrecimiento observado en su incremento en el último tercio de la etapa de crecimiento del grano (Kemanian *et al.*, 2007).

## Fenología

Para el estudio de la fisiología del trigo es necesario tener claro la dinámica de iniciación y crecimiento de los órganos. Hay una prioridad en la repartición de fotoasimilados de acuerdo a las etapas de desarrollo del cultivo. En las primeras etapas se forman estructuras de anclaje, luego ocurre la generación de tallos, hojas y macollos y finalmente después de anthesis, el crecimiento del grano es el destino principal de los fotoasimilados.

La principal variable predictora de fenología es la temperatura. Muchos eventos de la fenología del cultivo (macollaje, espigadura, anthesis, madurez fisiológica) pueden estimarse a partir de la acumulación de días-grado o tiempo térmico (Baker *et al.*, 1980; Baker *et al.*, 1986; Cao y Moss, 1989; McMaster, 1995; Yin y Kropff, 1996). En el cuadro 3 se presentan los siguientes requerimientos térmicos en el trigo.



Cuadro 3. Requerimientos térmicos de algunas etapas fenológicas en dos especies de trigo *T. aestivum* y *T. turgidum* ssp. durum (Pala *et al.* 1996; Stöckle *et al.* 2003).

Tiempo térmico <sup>1</sup> (°C día)	<i>T. aestivum</i> primaveral	<i>T. aestivum</i> invernal	<i>T. turgidum</i> ssp. durum
Emergencia	90 - 100	90 - 100	100
Antesis	500 - 650	1200 - 1350	460
Comienzo de llenado de grano	580 - 730	1300 - 1500	530 - 560
Madurez fisiológica	800 - 1100	1850-2000	770 - 800

<sup>1</sup> Tiempo térmico calculado desde siembra hasta la etapa fenológica señalada, sobre la temperatura base de 0°C y una temperatura crítica de 35°C

## **HIPÓTESIS DE TRABAJO**

Existen diferencias en los coeficientes genéticos entre las variedades de trigo candeal Llareta-INIA y Corcolén-INIA en condiciones de riego que definen la fenología, la evolución del área foliar, la intercepción de radiación, la producción de fitomasa y rendimiento de grano.

## **OBJETIVOS**

General:

- Determinar coeficientes genéticos en trigo candeal en las variedades Corcolén-INIA y Llareta-INIA.

Específicos:

- Determinar los coeficientes asociados al crecimiento de las hojas en ambas variedades.
- Determinar coeficientes asociados a la fenología del cultivo en ambas variedades.
- Determinar coeficientes asociados a la intercepción de la radiación y eficiencia de la misma en la producción de materia seca en ambas variedades.
- Determinar coeficientes asociados a la partición de productos de fotosíntesis hacia grano en ambas variedades.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en la Estación Experimental Antumapu, de la Universidad de Chile, situada en la Región Metropolitana (33°40' Lat. Sur; 70°38' Long. Oeste; 605 m.s.n.m.). El clima es templado mesotermal estenotérmico mediterráneo semiárido (Santibáñez y Uribe, 1992). El suelo pertenece a la serie Santiago (Entic haploxeroll) (USDA Soil Taxonomy, 2006), siendo de origen aluvial y perteneciente a la clase textural franco arenosa.

Se sembraron dos variedades de trigo candeal (*Triticum turgidum* L. ssp. durum); Llaret-INIA y Corcolén-INIA en un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Cada parcela fue de 22 hileras de 15 m de largo, con un espaciamiento entre hilera de 17,5 cm. La siembra se realizó el 29 de junio del año 2007 con una dosis de 220 Kg ha<sup>-1</sup>. Se regó por aspersión cada vez que la humedad a 30 cm de profundidad del suelo llegó al 50 % de la humedad aprovechable (la diferencia entre el contenido de humedad gravimétrico a capacidad de campo y punto de marchitez permanente), según mediciones de contenido de humedad de suelo. La fertilización a la siembra fue de 120 Kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>, 60 Kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>, 70 Kg N ha<sup>-1</sup> y 0,7 Kg B ha<sup>-1</sup>. En primer nudo (estado 3.1 de Zadoks) se aplicó 140 Kg N ha<sup>-1</sup>. Las dosis anteriores se determinaron según el análisis de suelo y la experiencia de terreno, teniendo como propósito lograr un rendimiento de 70 qq ha<sup>-1</sup> de grano.

### Variables meteorológicas

Durante todo el ciclo del cultivo se registraron los valores diarios de temperatura, precipitación y radiación solar global, los cuales fueron obtenidos desde la estación meteorológica perteneciente al Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) La Platina, ubicada a 500 m del ensayo.

### Mediciones de crecimiento y desarrollo

#### Establecimiento del cultivo y densidad de plantas

Cuando el cultivo tuvo 2 hojas (estado 1.2 de Zadoks) se contó el número de plantas en un metro lineal, repitiendo esta medición 10 veces por unidad experimental. Los datos se expresaron en número de plantas m<sup>-2</sup>.

## Fenología

Se registró semanalmente de manera visual en cada parcela el estado de desarrollo del cultivo mediante la escala de Zadoks (Zadoks *et al.*, 1974).

## Componentes de la fitomasa aérea del cultivo y área foliar

En cada parcela se realizaron muestreos destructivos de fitomasa con un intervalo de 2 semanas entre el estado de dos hojas (1.2 de Zadoks) y la espigadura (estado 5.5 de Zadoks). Entre la espigadura y la madurez fisiológica (estado 8.6 de Zadoks) las mediciones se efectuaron con un intervalo semanal. En cada oportunidad se cosecharon dos hileras de 50 cm de largo para determinar peso seco. Se obtuvo de cada cosecha una submuestra de cinco plantas representativas, en las cuales se contó el número de hojas del eje principal, del primer macollo y las hojas de los restantes macollos. También se separaron hojas fotosintetizantes, hojas muertas, culmos y espigas. El área foliar ( $AF$ ) se determinó sólo en las hojas con tejido fotosintéticamente activo con un medidor de área foliar (LI-COR®, modelo LI 3000a, USA). Las submuestras de hojas fueron secadas a 70 °C por 48 h en una estufa con aire forzado. Una vez secas (cuando el peso seco permaneció constante), las hojas se enfriaron en un desecador y se pesaron. El índice de área foliar (IAF) se estimó por la siguiente relación:

$$IAF = (AF \cdot planta^{-1}) \cdot (plantas \cdot m^{-2}) \quad (4)$$

## Fracción interceptada de la radiación fotosintéticamente activa

Para efectuar esta medición, se utilizó un interceptómetro óptico (Delta T Devices®, modelo SS1, UK) midiendo de manera oblicua entre dos hileras dentro de cada parcela. La interceptación de radiación se calculó mediante la siguiente expresión (Charles-Edwards y Lawn, 1984):

$$f = \frac{(I_0 - I_z)}{I_0} \quad (5)$$

Donde  $f$  es la fracción de radiación fotosintéticamente activa,  $I_0$  es la radiación fotosintéticamente activa incidente sobre la canopia, medida a 30 cm sobre el ápice más alto en el sector de medición, e  $I_z$  es la radiación que llega a ras de suelo. Todo expresado en ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). La medición se realizó alrededor del mediodía solar, paralelamente con las mediciones de fitomasa.

### **Rendimiento y componentes de la fitomasa aérea.**

Se determinó cosechando a ras de suelo 8 hileras de 1 m de largo al centro de la parcela, separándose 50 tallos con espigas los cuales fueron secados a 70 °C por 48 horas hasta peso constante. El resto del material se pesó y trilló en una máquina estacionaria. Los granos fueron pesados y se determinó su porcentaje de humedad en una estufa de aire forzado. El rendimiento de grano se estandarizó sobre la base de una humedad de un 14,5% (Faiguenbaum, 2003). A partir de estos datos se calculó el rendimiento, fitomasa aérea, índice de cosecha, peso seco de 1000 granos, espigas por m<sup>2</sup>, granos por m<sup>2</sup> y granos por espiga.

### **Relaciones a establecer**

A partir de las variables anteriormente determinadas, se estimaron las siguientes variables del cultivo.

#### **Tasa de aparición foliar y filocrono.**

Para determinar los coeficientes anteriormente mencionados, es necesario estimar los días-grado acumulados, los cuales fueron determinados según la diferencia de la temperatura media diaria ( $TMD$ , °C) y la temperatura base, considerándose para este cálculo sólo valores positivos. La sumatoria de temperaturas efectivas o tiempo térmico ( $TT$ ) fue calculada desde la emergencia del cultivo ( $t_i$ ) hasta madurez fisiológica ( $t_f$ ):

$$TT = \sum_{i=t_i}^{t_f} (TMD_i - Tu) \quad (6)$$

Donde  $Tu$  es la temperatura umbral de crecimiento del cultivo.

Posteriormente se procedió a relacionar linealmente el número de hojas desplegadas del tallo principal ( $NHTP$ ) con la acumulación de días grado o tiempo térmico ( $TT$ ) a partir de la emergencia del cultivo, tomando como temperatura umbral 0° C ( $Tu$ ) (Gallagher, 1979; Baker *et al.*, 1986; Amir y Sinclair, 1991).

$$NHTP = TAF \cdot TT + n \quad (7)$$

Donde  $TAF$  es la tasa de aparición foliar (n° hojas dia<sup>-1</sup> °C<sup>-1</sup>)  $n$  es el número de hojas del tallo principal ( $NHTP$ ) cuando el tiempo térmico es igual a cero. El filocrono se determinará como el inverso multiplicativo de  $TAF$ .

### Área foliar específica

Este coeficiente de área foliar específica ( $AFE$ ,  $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$  MS hoja), se determinó mediante la regresión lineal que relaciona la materia seca de hojas fotosintetizantes ( $MSHV$ ) con el índice de área foliar ( $IAF$ ).

$$IAF = AFE \cdot MSHV + n \quad (8)$$

Donde  $n$  es el índice de área foliar ( $IAF$ ) cuando la materia seca de hojas fotosintetizantes es igual a cero.

### Área foliar por planta

Se calculó a través de una regresión entre el área foliar por planta y el número de hojas ya sea del eje principal o del total de ejes. Esta relación permitió estimar el área foliar del cultivo en un momento determinado (Amir y Sinclair, 1991) (Ecuaciones 15 y 16).

### Coeficiente de extinción de radiación fotosintéticamente activa

Este coeficiente ( $k$ ) fue estimado a partir de la regresión entre los valores observados de fracción de radiación fotosintéticamente interceptada ( $f$ ) y los obtenidos en el  $IAF$ , durante todo el ciclo del cultivo, aplicando la ecuación de la ley de Beer-Lambert (Ecuación 3).

### Radiación solar fotosintéticamente activa interceptada

Se efectuó este cálculo utilizando la ecuación de regresión que da cuenta de la evolución del  $IAF$  en función del tiempo ( $IAF_i$ ) y los valores diarios medidos de radiación solar global ( $RSG_i$ ,  $\text{MJ m}^{-2} \text{día}^{-1}$ ):

$$RFAI_i = (1 - e^{-k \cdot IAF_i}) \cdot RSG_i \cdot 0,45 \quad (9)$$

En la ecuación (11)  $RFAI$  ( $\text{MJ m}^{-2} \text{día}^{-1}$ ) es la radiación solar fotosintéticamente activa interceptada. Se supone que la radiación solar global contiene un 45% de radiación fotosintéticamente activa (Milthorpe y Moorby, 1982).

### **Eficiencia de Uso de la Radiación fotosintéticamente activa interceptada en producción de materia seca**

Este coeficiente eficiencia de uso de la radiación (EUR, g MJ<sup>-1</sup>), se determinó estimando la pendiente de la regresión lineal que relaciona la fitomasa aérea (MST, g m<sup>-2</sup>) y la radiación fotosintéticamente activa Interceptada (RFAI<sub>i</sub>, MJ m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>) acumulada desde el periodo entre la emergencia del cultivo (*t<sub>i</sub>*) hasta madurez fisiológica (*t<sub>f</sub>*) del mismo:

$$MST = EUR \cdot \sum_{i=t_i}^{t_f} RFAI_i \quad (10)$$

### **Evolución del índice de cosecha**

Se estimó semanalmente a partir de la aparición de la espiga, mediante el cálculo de la relación existente entre la materia seca de granos y la fitomasa total del cultivo.

$$IC = m \cdot TT + n \quad (11)$$

Donde *m* es el incremento del índice de cosecha (*IC*) por día °C y *n* el valor del índice de cosecha cuando el tiempo térmico (*TT*) es cero.

### **Análisis Estadístico**

Para el cálculo de las ecuaciones de regresión se utilizó el método de mínimos cuadrados (Steel y Torrie, 1985), en todas aquellas en que fue posible su linealización. Cuando se utilizaron modelos de regresión no lineales, se utilizó el método de optimización de Marquardt-Levenberg (Marquardt, 1963).

Todas las ecuaciones de regresión anteriormente mencionadas, se sometieron a una prueba *t* de Student para detectar diferencias significativas entre los coeficientes de las ecuaciones obtenidas para cada una de las dos variedades de trigo candeal evaluadas. Para el cálculo del estadígrafo *t*, se utilizó la siguiente ecuación general:

$$t_c = \frac{b_{i1} - b_{i2}}{\sqrt{\frac{S^2 b_{i1} \cdot (v_{i1}) + S^2 b_{i2} \cdot (v_{i2})}{v_{i1} + v_{i2}} \left( \frac{1}{v_{i1}} + \frac{1}{v_{i2}} \right)}} \quad (12)$$

En la ecuación 12,  $b_i$  corresponde a los coeficientes a comparar de la regresión,  $S^2b_i$  es la varianza de los coeficientes  $b_i$ ,  $v_i$  son los grados de libertad de cada coeficiente  $b_i$ . Los grados de libertad de cada coeficiente son calculados en función del número de observaciones utilizada para el cálculo de cada regresión ( $n_i$ ) y del número de coeficientes incluidos en el modelo de regresión ( $nc$ ) (Hollander y Wolfe, 1999) (Ecuación 13).

$$v_i = n_i - nc + 1 \quad (13)$$



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El año 2007 en Santiago se caracterizó por ser un año seco, cuya precipitación fue de 163 mm, siendo el promedio histórico de esta localidad de 315 mm. Las temperaturas mínimas fueron más bajas que para un año normal, observándose una acumulación mayor de horas frío. En este sentido las temperaturas pueden haber afectado el crecimiento del cultivo sobre todo cuando existen temperaturas inferiores a 0°C (Cuadro 4).

Cuadro 4. Resumen de variables meteorológicas registradas durante el periodo en que se realizó el estudio.

Mes	Lluvia (mm)	Temperatura (°C)			HR <sup>1</sup> (%)	HF <sup>2</sup> (h)	RSG <sup>3</sup> (MJ m <sup>-2</sup> día <sup>-1</sup> )
		Suelo	Aire	Máxima Mínima			
Junio	46,4	6,2	9,6	27,5 -0,7	65	50	6,41
Julio	50,6	5,8	7,2	21,4 -4,2	78	350	7,04
Agosto	33,6	5,7	7,0	24,2 -3,9	70	393	11,29
Septiembre	2,2	8,8	10,3	25,5 -0,1	69	232	15,00
Octubre	1,4	12,4	14,1	29,8 3,2	61	68	20,67
Noviembre	0,4	15,3	17,0	32,8 3,3	55	16	25,54
Diciembre	0,2	17,0	18,9	31,6 7,1	57	0	26,02

<sup>1</sup>HR: humedad relativa

<sup>2</sup>HF: horas de frío

<sup>3</sup>RSG: radiación solar global

### Fenología

Entre los dos cultivares existieron leves diferencias cronológicas entre las diferentes etapas del desarrollo del cultivo, lo que se tradujo en diferencias numéricas en los requerimientos térmicos para cada una de éstas. No obstante lo anterior, estas resultaron ser de escasa importancia. Lo anterior explica que en términos fenológicos ambos cultivares se comportaron de manera similar (Cuadro 5).

Cuadro 5. Duración de los periodos de desarrollo en días y tiempo térmico acumulado (día °C) en las dos variedades.

Variedad	PV <sup>1</sup>		PF <sup>2</sup>		PFG <sup>3</sup>		PCG <sup>4</sup>		PT <sup>5</sup>	
	días	°C día	días	°C día	días	°C día	días	°C día	días	°C día
Corcolén-INIA	76	653,2	27	375,3	9	151,5	46	824,6	158	2004,5
Llaretta-INIA	73	612,3	30	422,5	7	106,7	46	816,1	156	1957,6

<sup>1</sup> PV: periodo vegetativo (estado 1.0 al 3.7 Zadoks).

<sup>2</sup> PF: periodo de floración (estado 3.7 al 6.0 Zadoks).

<sup>3</sup> PFG: periodo de formación o cuaja del grano (estado 6.0 al 7.0 Zadoks).

<sup>4</sup> PCG: periodo de crecimiento del grano (estado 7.0 al 9.0 Zadoks).

<sup>5</sup> PT: periodo total, desde emergencia hasta madurez fisiológica.

### Desarrollo del área foliar e intercepción de la radiación.

La tasa de aparición foliar (*TAF*) generalmente está asociada al tiempo térmico acumulado (*TT*). Esta relación, la cual resultó ser de tipo lineal (Ecuación 7), fue altamente significativa en ambas variedades ( $p < 0,05$ ). No obstante lo anterior el intercepto de ambas regresiones lineales resultó no ser significativamente distinto del valor cero, por lo cual estas regresiones se forzaron a pasar por el origen, manteniendo su alto grado de significancia (Figura 1).

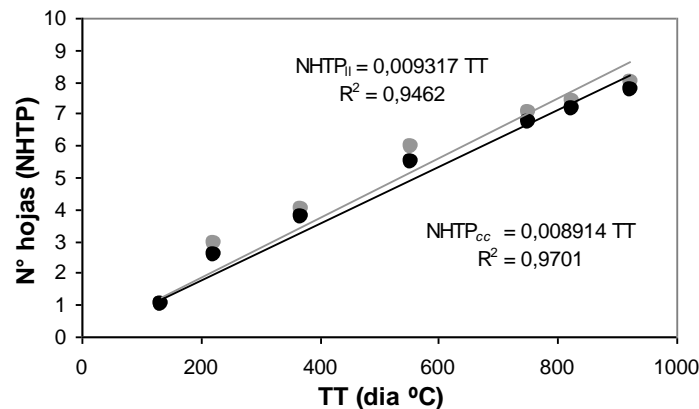


Figura 1. Relación lineal entre número de hojas desplegadas y tiempo térmico acumulado (*TT*) para Llaretta-INIA (●, —) y Corcolén-INIA (●, —). Con líneas continuas, valores estimados y con puntos, valores medidos.

El valor de la pendiente de las ecuaciones de regresión anteriormente señaladas, estiman la tasa de aparición foliar (*TAF*), que para el caso de la variedad Llaretta-INIA representó un valor de  $9,32 \cdot 10^{-3}$  hojas día<sup>-1</sup> °C<sup>-1</sup> y en la variedad Corcolén-INIA se obtuvo un valor de  $8,91 \cdot 10^{-3}$  hojas día<sup>-1</sup> °C<sup>-1</sup>. Los cuales no fueron estadísticamente distintos entre sí ( $p > 0,05$ ).

El valor de filocrono se determinó como el inverso multiplicativo de TAF, obteniéndose un valor de 112,18 día °C hoja<sup>-1</sup> para Corcolén-INIA y 107,33 día °C hoja<sup>-1</sup> para Llaretta-INIA (Figura 1). Los valores de filocrono obtenidos en este estudio fueron más altos en comparación con los citados por Frank y Bauer (1995), los cuales mencionan un rango de variación de esta variable entre 72 día °C hoja<sup>-1</sup> y 82,4 día °C hoja<sup>-1</sup> para variedades de trigo candeal.

Estas diferencias pueden ser atribuidas a que las variedades evaluadas son de ciclo de desarrollo más largo en comparación a las utilizadas en el estudio de los autores antes citados. Sin embargo, en comparación con valores citados por Gallagher (1979), Baker *et al.* (1980), Masle (1985), Biscoe y Wellington (1985), Rodríguez *et al.* (1998), cuyos valores varían entre 95 a 124 día °C hoja<sup>-1</sup> en trigo harinero, los cultivares evaluados en este estudio tuvieron valores cercanos a éstos, probablemente debido a que tienen un largo de ciclo de desarrollo similar.

El IAF fue ajustado a dos funciones sigmoidales, una que representa una fase de crecimiento y la otra que representa una fase de pérdida de área foliar. En ambas funciones se utilizó el tiempo térmico (*TT*) como variable independiente (Chapman *et al.*, 1993; Hammer y Muchow, 1994) (Ecuación 14).

$$IAF = a \left[ \frac{1}{1 + e^{-b(TT-c)}} - \frac{1}{1 + e^{-d(TT-f)}} \right] \quad (14)$$

El coeficiente *a* se relaciona con el máximo IAF potencial teórico. Los coeficientes *c* y *f* indican el tiempo térmico en que se producen los puntos de inflexión de la curva en su fase ascendente y descendente, respectivamente. Los coeficientes *b* y *d* son una medida de la curvatura de la función en ambas fases (Cuadro 6).

El valor del coeficiente *a* fue de 9,62 y 6,03 para Llaretta-INIA y Corcolén-INIA, respectivamente, siendo la diferencia entre ellos no significativa ( $p > 0,01$ ). Entre los coeficientes *c* y *f* existieron diferencias significativas ( $p < 0,01$ ) a diferencia de lo que ocurrió con los coeficientes *b* y *d* donde no se registraron ( $p > 0,01$ ) (Figura 2).

Cuadro 6. Valores de parámetros de la curva de IAF en función del tiempo térmico acumulado (día °C) en las dos variedades.

Variedad	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>f</i>	R <sup>2</sup>
Corcolén-INIA	6,025	0,012	479,37	0,008	1316,5	0,968
Llaretta-INIA	9,677	0,01	517,39	0,004	1105,91	0,962

No obstante lo anterior al ajustar el mismo modelo a todos los datos e incorporando a éste una variable “dummy” que agrupa los puntos experimentales de acuerdo a la variedad esta resultó no ser significativa, por lo que se desprende que estas curvas son iguales ( $p > 0,01$ ).

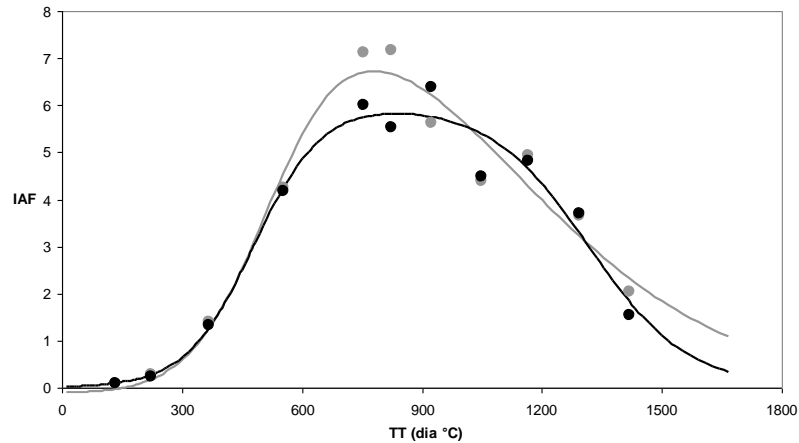


Figura 2. Índice de área foliar (*IAF*) en función del tiempo térmico (*TT*) para Llaretá-INIA (●, —) y Corcolén-INIA (●, —). Con líneas continuas, valores estimados y con puntos, valores medidos.

Los valores de *IAF* máximo y el tiempo termal de desarrollo del *IAF* alcanzados por las variedades estudiadas, fueron más altos y más prolongados respectivamente, en comparación a los valores obtenidos por Royo *et al.* (2004) en variedades de trigo candeal. Estas diferencias pueden ser atribuidas a la precocidad ya que las variedades evaluadas por los investigadores antes citados, corresponden a variedades de ciclos más cortos donde es esperable un menor rendimiento al ser más precoces. La susceptibilidad de ciertos genotipos a estreses hídricos, es determinante tanto en la magnitud como en la duración del área foliar. Las diferencias entre variedades van a depender única y exclusivamente de la magnitud del intercambio de genes que haya ocurrido en el fitomejoramiento.

Los cambios que pueda tener un máximo valor de *IAF* medido dependen de la respuesta positiva que tenga la especie en condiciones de mayor fotoperiodo (Dwyer y Stewart, 1987) o al efecto que tenga el genotipo y su interacción con la densidad de plantas (Sadras y Hall, 1988; Royo *et al.*, 2004).

El coeficiente de extinción de la RFA (*k*) fue calculado con la función de ecuación de Beer-Lambert (Ecuación 3). Los valores estimados de este coeficiente fueron 0,511 y 0,438 para Llaretá-INIA y Corcolén-INIA respectivamente, existiendo entre ellas una diferencia que fue significativa ( $p < 0,05$ ) (Figura 3).

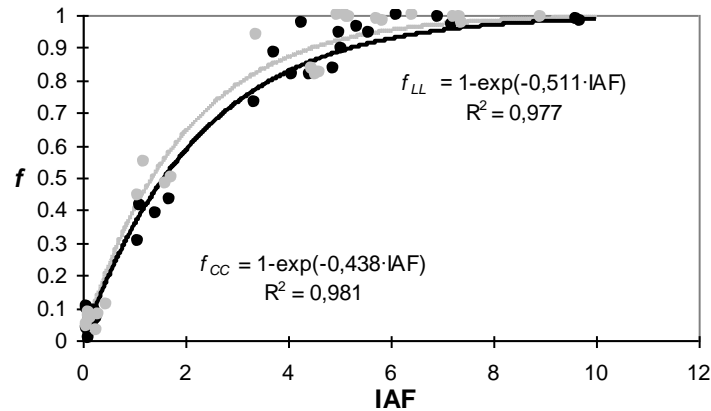


Figura 3. Fracción de la radiación fotosintéticamente activa interceptada ( $f$ ) como función del índice de área foliar (IAF) para Llaretá-INIA (●, —) y Corcolén-INIA (●, —). Con líneas continuas, valores estimados y con puntos, valores medidos.

Las estimaciones de  $k$  de este estudio fueron similares a las reportadas para trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) (Gallagher y Biscoe, 1978; Kiniry *et al.*, 1989; Siddique *et al.*, 1989; Gregory *et al.*, 1992; Yunusa 1993; Gregory y Eastman, 1996; O'Connell *et al.*, 2004), como también para otros cereales de grano pequeño (Flenet *et al.*, 1996; Maddonni y Otegui 1996; Westgate *et al.*, 1997; Kemanian *et al.*, 2004; O'Connell *et al.*, 2004 y Kiniry *et al.*, 2005).

Las diferencias registradas entre las variedades estudiadas, permiten deducir que existe un efecto de la arquitectura de la planta en la extinción de la radiación, tanto en el ángulo de inclinación de las hojas como en la disposición de las hojas en el tallo. La variedad Llaretá-INIA resultó ser más efectiva en interceptar la radiación, debido probablemente a la mayor generación de hojas verdes, como consecuencia del mayor macollaje que tuvo esta especie en relación con Corcolén-INIA.

De acuerdo a los estudios realizados por Yunusa *et al.* (1993); Meinke (1996); O'Connell *et al.* (2004) un aumento en la densidad aumenta considerablemente los valores de  $k$ . Similares conclusiones fueron obtenidas en los trabajos realizados por Flenet *et al.* (1996), Maddonni *et al.* (2001), Kemanian *et al.* (2004) en cereales de grano pequeño. No obstante, Westgate *et al.* (1997) puso de manifiesto que en el maíz existe una disminución del coeficiente de extinción ( $k$ ) con el aumento de densidad, pero no varía con la distancia entre hilera determinada anteriormente al cierre de la canopia.

Con los coeficientes de extinción de RFA obtenidos en este estudio y utilizando la ecuación que define la evolución del IAF en función del tiempo térmico (Figura 2; Ecuación 14), fue posible estimar la evolución de la fracción de radiación fotosintéticamente activa interceptada por el cultivo a lo largo del ciclo de desarrollo ( $f$ ), aspecto que se presenta en la Figura 4.

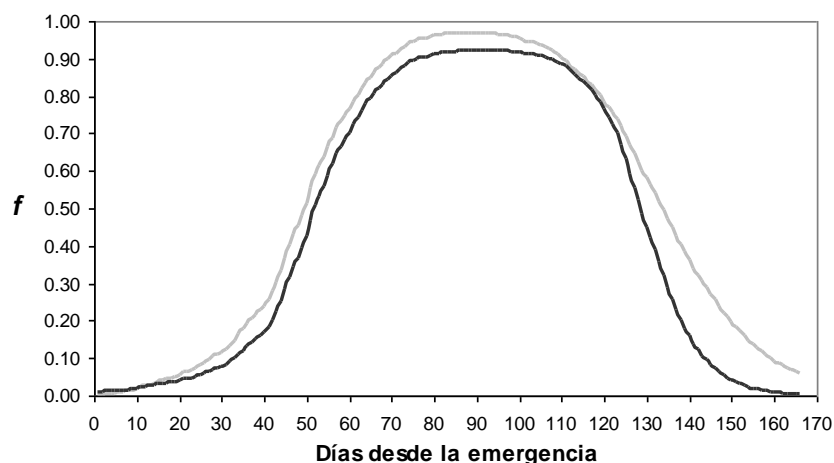


Figura 4. Fracción de la radiación fotosintéticamente activa acumulada interceptada por la canopia ( $f$ ) de Llaretá-INIA (—) y Corcolén-INIA (---).

La variedad Llaretá-INIA logró un valor máximo de interceptación un 96,88% y Corcolén-INIA logró un 92,20%. La caída en la  $f$  obedece al aumento de la senescencia del cultivo, que disminuye los valores de IAF. En términos globales, la primera variedad interceptó un total de  $1618 \text{ MJ m}^{-2}$  y la segunda  $1497 \text{ MJ m}^{-2}$  de RFA.

Una baja interceptación ( $f < 50\%$ ) fue detectada en valores bajos de IAF ( $IAF < 2$ ). Estas cifras son similares a lo investigado en Australia en condiciones de sequía para *Triticum aestivum* L. (Yunusa *et al.*, 2003; O'Connell *et al.*, 2004). O'Connell *et al.* (2004), señalan que una alta interceptación de RFA por parte del cultivo en etapas tempranas del desarrollo, responden al manejo agronómico efectivo (fertilización nitrogenada o densidad de siembra).

### Eficiencia de uso de la radiación

La relación entre la producción de fitomasa aérea del cultivo y la acumulación de RFA interceptada por el cultivo, tanto para el ciclo completo del cultivo, como para la etapa vegetativa y reproductiva, se presentan en la Figura 5.

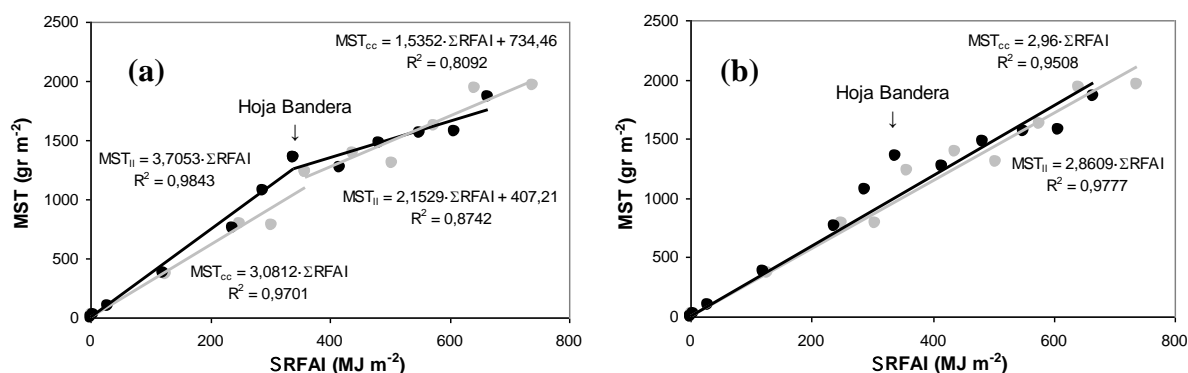


Figura 5. Materia seca total aérea en función de la RFAI acumulada ( $\Sigma RFAI$ ) de las dos variedades (a) en etapa vegetativa y reproductiva y (b) en todo el ciclo del cultivo y para para Llaretá-INIA (●, —) y Corcolón-INIA (○, —). Con líneas continuas, valores estimados y con puntos, valores medidos.

En ambos casos, la relación anterior se ajustó a una función lineal cuyo intercepto no fue significativamente distinto de 0 ( $p > 0,05$ ).

Al analizar el valor de EUR considerando solamente la etapa vegetativa (Figura 5a), se obtuvo un valor de 3,081 y 3,705 g MJ<sup>-1</sup> para Llaretá-INIA y Corcolón-INIA, respectivamente, los cuales difirieron significativamente entre sí ( $p < 0,001$ ). Estos valores resultaron ser similares a los obtenidos por García *et al.*, (1988) y Green (1989), y levemente mayores a los obtenidos por Fisher (1993). Sin embargo, Gregory *et al.*, (1992) reportan valores de EUR muy inferiores a los estimados en esta tesis (Ver cuadro 2). Estas diferencias probablemente estén dadas por el método de medición de la RFA interceptada.

Durante la etapa reproductiva, la cual se inicia a partir del estado 3.7 de la escala Zadoks, los valores de EUR disminuyeron a 1,53 y 2,15 g MJ<sup>-1</sup> para Corcolón-INIA y Llaretá-INIA, respectivamente, manteniéndose diferencias significativas entre variedades ( $p < 0,01$ ). La disminución de EUR en la etapa reproductiva puede ser atribuida al sombreado de las hojas y la menor proporción de hojas verdes en la canopia producto del aumento exponencial de la senescencia del foliar que se produce en esta etapa.

Los estudios de Calderini *et al.* (1997), Foulkes *et al.* (2001) y Steduto y Albrizio, (2005) coinciden en que la EUR manifiesta una caída después de antesis en trigo. Esta caída en los valores es explicable por el hecho que el desarrollo de la semilla se constituye en el principal sumidero de asimilados después de antesis, producto de esto es que debe ocupar asimilados de otras fuentes como las hojas y el tallo.

Una vez iniciada la etapa reproductiva se desencadena un proceso de rápida translocación de nitrógeno desde los tejidos vegetativos (hojas y tallo) hacia el grano, lo que causa senescencia foliar. Lo anterior causa una disminución en la eficiencia fotosintética de la canopia (Sinclair y Horie, 1989; Kemanian *et al.*, 2004). El proceso de senescencia conlleva también un aumento en la tasa respiratoria durante la etapa de llenado de granos

(Penning de Vries *et al.*, 1983), lo que contribuye a disminuir la eficiencia fotosintética del tejido foliar. No obstante lo anterior, existen evidencias que las estructuras reproductivas podrían contribuir a la intercepción de radiación y a la fotosíntesis, cuyos productos serían en gran medida translocados hacia los granos (Blum, 1985; Abbate *et al.*, 1997; Kemanian *et al.*, 2004).

La caída de la EUR en la etapa reproductiva, también puede ser explicada por el hecho de que en esta última etapa fenológica, una mayor cantidad de energía se destina en la producción de componentes de semilla que poseen un alto valor energético, tales como ácidos grasos y carbohidratos, en comparación con otros componentes de la materia seca del cultivo.

No obstante la discusión expuesta en los párrafos anteriores, al estimar la EUR considerando todo el ciclo del cultivo, se obtuvo un valor global de EUR de 2,861 y 2,96 g MJ<sup>-1</sup>, para Corcolén-INIA y Llaretá-INIA, respectivamente (Figura 5b), los cuales no resultaron ser diferentes estadísticamente ( $p > 0,05$ ). Kemanian *et al.* (2004) encontraron que el valor de la EUR permaneció constante desde macollaje hasta fin de la cuaja de granos.

Es probable que al medir la intercepción de la RFA en todo el ciclo del cultivo, existan valores sobreestimados, debido a la presencia de hojas de baja eficiencia fotosintética que interceptan radiación pero que no contribuyen a la acumulación de materia seca aérea, lo cual sería más probable de que ocurriese en la etapa posterior a antesis (Charles-Edwards y Lawn 1984).

### **Área foliar específica**

La relación entre los gramos de materia seca de hojas verdes y el área foliar fotosintéticamente activa expresado como IAF, en ambas variedades fue explicado con un alto grado de significancia por un modelo de regresión de tipo lineal (Ecuación 8) ( $p < 0,001$ ), cuyo intercepto no difirió significativamente de 0 ( $p = 0,17$ ). La relación anterior para las dos variedades estudiadas, se presenta en la Figura 6.



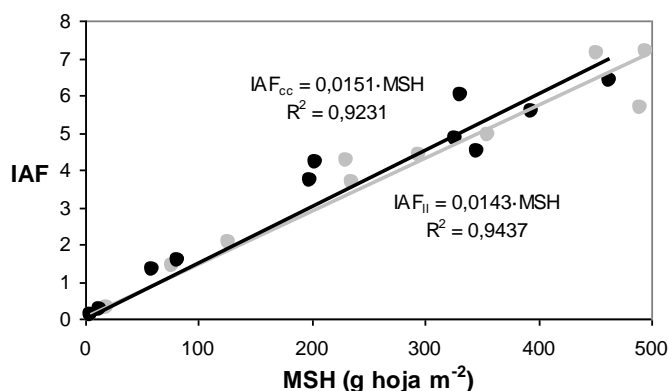


Figura 6. Índice de área foliar (*IAF*) en función de materia seca foliar verde (*MSH*) de las dos variedades en todo el ciclo del cultivo para Llaretá-INIA (●) y Corcolén-INIA (●).

La pendiente de la recta anterior, representa una estimación del AFE. Los valores estimados para esta relación fueron de 151,14 y 142,93 cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>, para Llaretá-INIA y Corcolén-INIA, respectivamente. Entre ambas variedades no se registraron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ). El inverso multiplicativo del valor de la pendiente de cada una de las rectas anteriores, se denomina relación de área foliar (*RAF*). Los valores obtenidos en ambas variedades para *RAF*, fueron de 66,163 y 69,963 g m<sup>-2</sup>, para Corcolén-INIA y Llaretá-INIA, respectivamente. Llaretá-INIA resultó tener hojas levemente más pesadas que Corcolén-INIA. Las variedades utilizadas en este estudio tienen una menor área foliar específica que las citadas por Aase (1978), Ramos *et al.* (1982) y Moragues *et al.* (2006) y como consecuencia son variedades que tienen hojas de mayor peso. El mayor peso de las hojas probablemente está explicado por una mayor acumulación de clorofila que hace más efectiva la asimilación por hoja. Si bien los valores obtenidos en AFE y *RAF* pueden ser considerados constantes para todo el ciclo de desarrollo del cultivo, existe evidencia que dichos coeficientes tendrían un comportamiento variable del área foliar específica a medida que se incrementa el área foliar acumulada (Payne *et al.*, 1991; Awal *et al.*, 2004)

### Área Foliar por planta

El área foliar total por planta (*AFVT*), puede ser estimada en función del número total de hojas de una planta (*NHT*), o bien, en función del número total de hojas del tallo principal (*NHTP*), lo cual puede facilitar su estimación en la medida que se tenga una buena identificación del eje principal de la planta. Ambas relaciones pueden ser utilizadas para estimar el *IAF* del cultivo. En los dos casos, la relación entre dichas variables fue descrita por un modelo de regresión de tipo sigmoideo, que fija un máximo teórico (*AFVmax*), un indicador de la amplitud de la curva (*a*) y un coeficiente de concavidad (*b*) (Figura 7a y 7b).

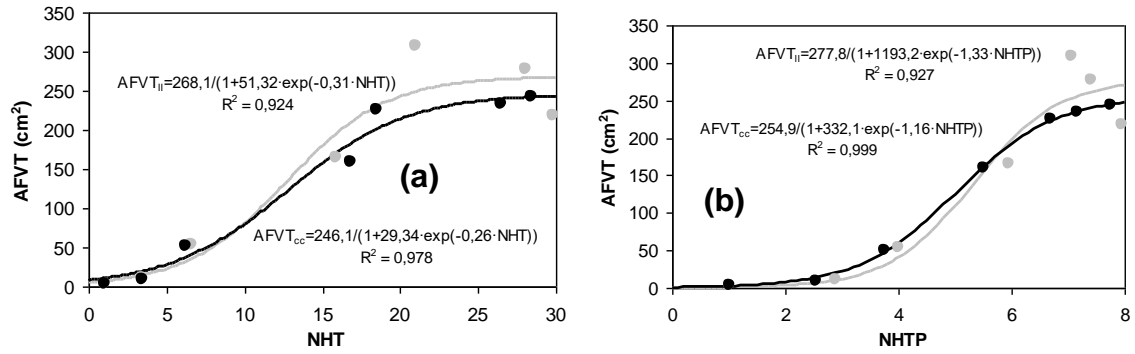


Figura 7. Área foliar verde total (AFVT) (a) en función del número de hojas totales por planta (NHT) y (b) en función del número de hojas del tallo principal (NHTP), para Llaretá-INIA (●, —) y Corcolén-INIA (●, —). Con líneas continuas, valores estimados y con puntos valores medidos.

La ecuación 15 estima la relación el área foliar verde total y el número de hojas totales de la planta:

$$AFVT = \frac{AFV_{\max}}{1 + a \cdot e^{-b \cdot NHT}} \quad (15)$$

En la ecuación anterior, los valores estimados para las variedades Corcolén-INIA y Llaretá-INIA, en cuanto a los coeficientes  $AFV_{\max}$ ,  $a$  y  $b$ , fueron respectivamente de 246,1 y 268,1  $\text{cm}^2$ ; 29,3 y 51,3; 0,263 y 0,309. Los coeficientes  $AFV_{\max}$  y  $a$  resultaron ser significativamente distintos entre variedades ( $p < 0,01$ ), no así para el caso del coeficiente  $b$ , en donde esta diferencia no resultó ser significativa ( $p > 0,01$ ) (Figura 7a).

La ecuación 16 estima la relación el área foliar verde total y el número de hojas del eje principal de la planta:

$$AFVT = \frac{AFV_{\max}}{1 + a \cdot e^{-b \cdot NHTP}} \quad (16)$$

En este caso, los valores estimados para las variedades Corcolén-INIA y Llaretá-INIA, en cuanto a los coeficientes  $AFV_{\max}$ ,  $a$  y  $b$ , fueron respectivamente de 277,8 y 254,9  $\text{cm}^2$ ; 1193,3 y 332,1; 1,33 y 1,16. Al igual que en el caso anterior sólo se obtuvieron diferencias significativas en los coeficientes  $AFV_{\max}$  y  $a$  ( $p < 0,01$ ) (Figura 7b).

En la predicción del área foliar en función del número de hojas desplegadas, diversos autores coinciden en estimar esta relación mediante la utilización de una función exponencial simple (Puckidge, 1963; Amir, 1968 citados por Amir y Sinclair, 1991; Baker, 1985; Amir y Sinclair 1991), lo cual difiere a lo realizado en esta tesis. No obstante lo anterior, en este estudio no está considerado de manera explícita el efecto del macollaje.

Amir y Sinclair (1991), en su trabajo de modelación de trigo primaveral, estiman el área foliar por planta considerando que es función del número de hojas, considerando tanto las que provienen del eje principal como de los macollos, utilizando en ambos casos la misma relación matemática. La aparición del macollo sucede cuando el eje principal tiene tres hojas completamente desplegadas (Porter 1985; (Bauer et al., 1987)). La evolución del área foliar en conjunto con la aparición de macollos, tiende a ser un factor determinante en el área foliar, sin embargo dada la diversidad de variedades, este comportamiento es muy variable porque este factor interactúa directamente con el ambiente y el manejo agronómico. Con respecto a este último factor y en directa relación a la densidad de plantas, cabe mencionar que esta última variable pudiese afectar el valor potencial del área total por planta ya que al incrementar la densidad, se favorecería la competencia intraplanta, lo cual afectaría el desarrollo del área foliar. Este aspecto ha sido cuantificado en otros cultivos (Soltani *et al.*, 1999).

### Evolución del Índice de Cosecha

La relación entre índice de cosecha (IC) y el tiempo térmico (TT) fue descrita de manera significativa por una ecuación lineal (Ecuación 11) en ambas variedades ( $p < 0,05$ ). Estas ecuaciones no difirieron significativamente entre sí ( $p > 0,05$ ) (Figura 8).

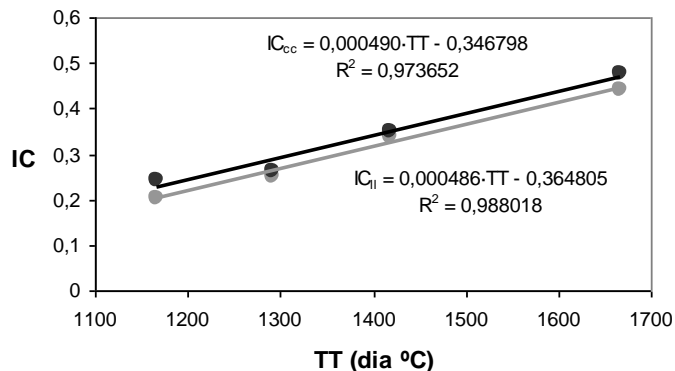


Figura 8. Índice de Cosecha (IC) en función del tiempo térmico (TT) para Llaretá-INIA (○) y Corcolén-INIA (●).

El incremento porcentual del índice de cosecha por grado día ( $m$ ), medido a través de la pendiente de las ecuaciones indicadas en la Figura 8, fue de 0,000490 y 0,000486  $\text{día}^{-1} \text{°C}^{-1}$ , para Corcolén-INIA y Llaretá-INIA, respectivamente, no siendo la diferencia entre variedades significativa ( $p > 0,05$ ). Los valores de IC alcanzaron en madurez fisiológica, valores entre 0,44 y 0,47. El crecimiento de las estructuras reproductivas comienza desde antes del estado de “embuche” (estado 4.5 Zadoks), con el crecimiento previo de floretes y

glumas, por lo que en el momento de la cuaja del grano (estado Zadoks 7.01) el índice de cosecha ya tiene aproximadamente un valor de 0,15 (Figura 8). La evolución lineal del IC coincide con lo planteado por Amir y Sinclair (1991), pero la relación calculada por estos autores, no considera la dependencia de esta variable con el tiempo térmico, sino que es una relación directa calculada en función de los días desde el inicio de llenado de grano.

### Rendimiento, sus componentes y rastrojo

En cuanto a los componentes del rendimiento analizados (número de espigas por m<sup>-2</sup>, número de granos por espiga y peso de los granos) no se encontraron diferencias entre las dos variedades ( $p > 0,05$ ) (Cuadro 5). La situación anterior causó que a nivel de rendimiento final de grano medido a la cosecha tampoco existieran diferencias significativas. Lo mismo sucedió con la cantidad de rastrojo dejado por el cultivo después de la cosecha (Cuadro 5). De lo anterior se desprende que muy probablemente la partición de los fotoasimilados hacia estructuras vegetativas y reproductivas sea muy similar entre las dos variedades evaluadas en esta tesis.

Cuadro 5. Rastrojo, rendimiento y componentes del rendimiento<sup>1</sup>.

Variedad	Rastrojo (qq ha <sup>-1</sup> )	NE <sup>2</sup> (esp m <sup>-2</sup> )	NG <sup>3</sup> (granos espiga <sup>-1</sup> )	PG <sup>4</sup> (g 10 <sup>-3</sup> grano <sup>-1</sup> )	RF <sup>5</sup> (qq ha <sup>-1</sup> )
Corcolén-INIA	111,9±6,91 a	719,4±19,09 a	30,0±0,89 a	32,0±1,39 a	64,2±4,12 a
Llareta-INIA	116,2±6,89 a	668,7±21,67 a	33,9±1,39 a	29,5±1,12 a	60,9±2,36 a

<sup>1</sup>Valores correspondientes a las medias acompañadas con el error estándar. Letras distintas significa que hay diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

<sup>2</sup> NE: n° de espigas por m<sup>2</sup>

<sup>3</sup> NG: n° de granos por espiga

<sup>4</sup> PG: peso de 1000 granos Materia seca.

<sup>5</sup> RF: rendimiento final en Materia seca.

Las variedades de trigo candeal estudiadas usadas en esta tesis, presentaron mayores valores tanto en rendimiento final como en cada uno de sus componentes, al compararlas con otras variedades de trigo candeal evaluadas en condiciones mediterráneas (Pala *et al.*, 1996; Moragues *et al.*, 2006). Al respecto, las variedades evaluadas en los estudios antes citados, corresponden a variedades de ciclos más cortos y por ende, con un menor potencial de producción.

A partir de todos los coeficientes y funciones calculados en este trabajo, se puede plantear un modelo simple de simulación de la fenología, crecimiento y producción de granos de este cultivo.

## CONCLUSIONES

- No existieron diferencias significativas en cuanto a duración y requerimientos termales en las distintas etapas fenológicas analizadas, por lo cual se puede considerar que ambas variedades son similares del punto de vista de su fenología.
- Las variables que definen el desarrollo del área foliar (filocrono, evolución de IAF, AFE y RAF), tienen un comportamiento similar en ambas variedades, presentando sólo leves diferencias en cuanto a la función que estima el área foliar por planta y el número de hojas.
- Respecto a las características asociadas a la interceptación de radiación ( $k$  y RFA interceptada), existieron diferencias significativas entre ambas variedades. A pesar de ello, esto no se traduce en diferencias en la acumulación de materia seca aérea en el cultivo y rendimiento final de granos.
- En cuanto a la EUR, la variedad Corcolén resultó ser más eficiente en el periodo vegetativo, sucediendo lo contrario en el periodo reproductivo. No obstante lo anterior, al analizar la EUR a nivel de ciclo completo esta diferencia no se ve reflejada. Este comportamiento contribuiría a minimizar las diferencias en rendimiento entre ambas variedades.

Las conclusiones anteriores llevan a rechazar la hipótesis planteada en este trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aase, J.K. 1978. Relationship between leaf area and dry matter in winter wheat. *Agronomy Journal*. 70:563-565.
- Abbate, P.E.; Andrade, F.H. and Culot, J.P. 1994. Determinación del rendimiento en trigo. Boletín técnico n° 133. 17 p. Instituto nacional de tecnología agraria (INTA), estación experimental agropecuaria Balcarce, Buenos Aires, Argentina.
- Akram-Ghaderi, F. and Soltani, A. 2007. Leaf area relationship to plant vegetative characteristics in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) grown in a temperate sub-humid environment. *International Journal of Plant Production* 1:63-71.
- Alves, M.; Angulo, R. and Rudrorff, F.T. 1999. Eficiência do uso da radiação e índice de colheita em trigo submetido a estresse hídrico em diferentes estádios de desenvolvimento. *Scientia Agrícola* 56(3):597-603.
- Amir, J. 1968. Metabolism in wheat leaves Turing their development. Ph.D. Tesis. Hebrew University, Jerusalem, Israel, 80 p.
- Amir, J. and Sinclair, T.R. 1991. A model of the temperature and solar-radiation effects on spring wheat growth and yield. *Field Crops Research* 28:47-58.
- Anderson, M.C. 1966. Stand structure and light penetration. *Journal of Applied Ecology* 3:41-54.
- Andrade, F.H.; Uhart, S.A. and Cirilo, A.G. 1993. Temperature affects radiation use efficiency in maize. *Field Crops Research* 32:17-25.
- Aparicio, N.; Villegas, D.; Casadesus, J.; Araus, J.L. and Royo, C. 2000. Spectral vegetation indices as a non-destructive tools for determining durum wheat yield. *Agronomy Journal* 92:83-91.
- Asseng, S.; Turner N.C.; Botwright, T. and Condon A.G. 2003. Evaluating the impact of a trait for Increased Specific Leaf Area on Wheat Yields Using a Crop Simulation Model. *Agronomy Journal* 95:10-19.
- Awal, M.A.; Ishak, W.; Endan, J. and Haniff, M. 2004. Determination of Specific Leaf Area-leaf Mass relationship in Oil Palm Plantation. *Asian Journal of. Plant Science* 3(3): 264-268.
- Baker, C.K.; Gallagher, J.N. and Monteith, J.L. 1980. Daylength change and leaf appearance in winter wheat. *Plant, Cell and Environment* 3:285-287.

- Baker, J.T. 1985. Leaf area development of spring and winter wheat cultivars as affected by temperature, water, growth stage, and plant population. Ph. D. Tesis. Kansas State University. Manhattan. 210 p.
- Baker, J.T.; Pinter, P.J.; Reginato, R.J. and Kanemasu E.T. 1986. Effects of temperature on leaf appearance in spring and winter wheat cultivars. *Agronomy Journal* 78:605-613.
- Bange, M. P.; Hammer, G. L. and Rickert, K. G. 1997. Effect of specific leaf nitrogen on radiation use efficiency and growth of sunflower. *Crop Science* 37:1201–1207.
- Barden, J.A. 1977. Apple tree growth, et photosynthesis, dark respiration and specific leaf weight as affected by continuous and intermittent shade. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 102:191-194.
- Bauer, A.; Frank, A.B. and Black, A.L. 1987. Aerial parts of hard red spring wheat. II. Nitrogen and phosphorus concentration and content by plant development stage. *Agronomy Journal* 79:852-858.
- Biscoe, P.V. and Wellington, V.B.A. 1985. Crop physiological studies in relation to mathematical models. *In: W. Day and R.K. Atkin (Editores), Wheat Growth and Modelling*. Plenum Press, Nueva York, pp 257-269.
- Blum, A. 1985. Photosynthesis and transpiration in leaves and ears of wheat and barley varieties. *Journal of Experimental Botany* 36:432–440.
- Boggini, G.; Palumbo, M. and Calcagno, L. 1990. Characterization and utilization of sicilian landraces of durum wheat in breeding programmes. *In: Srivastava, J.P., Damania, A.B.(eds.), Wheat genetic resources: meeting divers needs*. John Wiley and sons, Chichester, UK, pp. 223–234.
- Calderini, D.F.; Dreccer, M.F. and Slafer, G.A. 1997. Consequences of breeding on biomass, radiation interception and radiation-use efficiency in wheat. *Field Crops Research* 52:271-281.
- Cárcova, J.; Abeledo, L.G. and Lopez-Pereira M. 2003. Análisis de la generación del rendimiento, partición and componentes. *In: producción de granos: bases funcionales para su manejo*. Eds. E. Satorre, R.L. Vence-arnold, G. A. Slafer, E. De la Fuente, D. Miralles, M. Otegui and Roxana Savín. Buenos Aires, Argentina. 783p.
- Cao, W. and Moss, D.N. 1989. Temperature effect on leaf emergence and phyllochron in wheat and barley. *Crop Science* 29:1018-1025.
- Chapman, S.C.; Hammer, G.L.; Meinke, H. 1993. A sunflower simulation model: I Model Development. *Agronomy Journal* 85:725-735.

- Charles-Edwards, D.J. and Lawn R.J. 1984. Light interception by grain legume row crops, *Plant, Cell and Environment* 7:241-251.
- Cirilo, A.G. and Andrade, F.H. 1994. Sowing date and kernel weight in maize. *Crop Science* 36: 325-331.
- Denčić, S.; Kastori, R.; Kobiljski, B. and Duggan, B. 2006. Evaluation of grain yield and its components in wheat cultivars and landraces under near optimal and drought conditions. *Euphytica* 113: 43-52.
- Faiguenbaum, H. 2003. *Labranza, siembra y producción de los principales cultivos de Chile*. Ed. Ograma S.A. Santiago, Chile 760 p.
- Flenet, F.; Kiniry, J.R.; Board, J.E.; Westgate, M.E. and Reicosky, D.C. 1996. Row spacing effects on light extinction coefficients of corn, sorghum, soybean, and sunflower, *Agronomy Journal* 88:185–190.
- Fischer, R. A. and Kohn, G.D. 1966. The relationship of grain yield to vegetative growth and post-flowering leaf area in the wheat crop under conditions of limited soil moisture. *Australian Journal of Agricultural Research* 17:281-295.
- Fischer, R. A. 1993. Irrigated spring wheat and timing and amount of nitrogen fertilizer. II. Physiology of grain yield response. *Field Crops Research* 33:57-80.
- Frank, A. B. and Bauer A. 1995. Phyllochron differences in wheat, barley, and forage grasses. *Crop Science* 35:19-23.
- Friend, D.J.C. 1965. Tillering and leaf production in wheat as affected by temperature and light intensity. *Canadian Journal of Botany* 43:1063-1076.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 1998. “Evapotranspiración del cultivo”. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio de riego y drenaje N° 56. En línea: <http://www.fao.org/docrep/X0490E/X0490E00.htm>, vista el 13 de julio de 2008.
- Foulkes, M.J.; Scott, R.K. and Sylvester-Bradley, R. 2001. The ability of wheat cultivars to withstand drought in UK conditions: Resource capture. *Journal of Agricultural Science* 137:1–16.
- Gallagher, J.N. and Biscoe P.V. 1978. Radiation absorption, growth and yield of cereals. *Journal of Agricultural Science* 91: 47–60.
- Gallagher, J.N. 1979. Field studies of cereal leaf growth. 1. Initiation and expansion in relation to temperature and ontogeny. *Journal of Experimental Botany* 30:625-636.



- García, R.; Kanemasu, E.T.; Blad, B.L.; Bauer, A.; Hatfield, J.L.; Major, D.J.; Reginato, R.J. and Hubbard, K.G. 1988. Interception and use efficiency of light in winter wheat under different nitrogen regimes. *Agricultural Forest Meteorology*. 44:175-186.
- García del Moral, L.F.; Rharrabti, Y.; Villegas, D. and Royo, C. 2003. Evaluation of grain yield and its components in durum wheat under mediterranean conditions: an ontogenic approach. *Agronomy Journal* 95:266-274.
- Gifford, R.; Thorne, T.H.; Hitz, W.D. and Giaquinta, R.T. 1984. Crop productivity and photoassimilate partitioning. *Science* 225:801-808.
- Green, C.F. 1989. Genotypic differences in the growth of *Triticum aestivum* in relation to absorbed solar radiation. *Field Crops Research*. 19:285–295.
- Gregory, P.J.; McGowan, M.; Biscoe, P.V. and Hunter, B. 1978. Water relations of winter wheat. 1. Growth of the root system. *Journal of Agricultural Science* 91:91-102.
- Gregory, P.J.; Tennant, D. and Belford, R.K. 1992. Root and shoot growth, water and light use efficiency of barley and wheat crops grown on a shallow duplex soil in a mediterranean-type environment. *Australian Journal of Agricultural Research* 43:555-573.
- Gregory, P.J. and Eastham, J. 1996. Growth of shoots and roots, interception of radiation of radiation by wheat and lupin crops on a shallow, duplex soil in response to time of sowing. *Australian Journal of Agricultural Research* 47:427-447.
- Hay, R.K.M. 1995. Harvest index: a review of its use in plant breeding and crop physiology. *Annals of Applied Biology* 126: 197-216.
- Hay, R.K.M. and Walker, A.J. 1989. An introduction to the physiology of crop yield. Essex, UK, Longman Scientific and Technical. 292 p.
- Hollander, M. and Wolfe, D. 1999. *Nonparametric Statistical Methods*, 2nd ed. Wiley, New York, USA. 503 p.
- INE, Instituto Nacional de Estadísticas. 2007. Censo agropecuario. Chile. Disponible en línea: <http://www.censoagropecuario.cl/noticias/07/11/files/7.xls> vista el 2 de enero de 2008.
- Kemalian, A.R.; Stöckle, C.O. and Huggins, D.R. 2004. Variability of barley radiation-use efficiency. *Crop Science* 44:1662–1672.
- Kemalian, A.R.; Stöckle, C.O.; Huggins, D.R. and Viegas L.M. 2007. A simple method to estimate harvest index in grain crops. *Field Crops Research* 107:208-216.
- Köppen, W. 1931. *Die klimata der erde. Grundriss der klimakunde*. 2 auf. Berlin. 182 pp.

- Lang, A.R.G. 1987. Simplified estimate of leaf area index from transmittance of the sun's beam. *Agricultural Forest Meteorology* 41:179–186. *Statistics: A biometrical approach*. McGraw-Hill, New York.
- Loomis, R.S. and Amthor, J.S. 1996. Limits to yield revisited. In: Reynolds M.P., Rajaram S., McNab A., eds. *Increasing yield potential in wheat: breaking the barriers*. Mexico: CIMMYT, 76–89.
- López-Castañeda, C. and Richards, R.A. 1994. Variation in temperate cereals in rainfed environments ii. Phasic development and growth. *Field Crops Research* 37, 63–75.
- Maass, J.M., J.M. Vose, W.T. Swank, and A. Martinez-Yrizar. 1995. Seasonal changes of leaf area index (LAI) in a tropical deciduous forest in west Mexico. *Forest Ecology and Management* 74:171–180.
- Maddoni, G.A. and Otegui, M.E. 1996. Leaf area, light interception, and crop development in maize. *Field Crops Research*. 48:81–87.
- Marquardt, D.W. 1963. An Algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters. *Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics* 11, 431-441.
- Masle, J. 1985. Competition among tillers in winter wheat: Consequences for growth and development of the crop. In: W. Day and R.K. Atkin (Editores), *Wheat Growth and Modelling*. Plenum Press, Nueva York, pp 33-54.
- Matus, I. y Madariaga, R. 2006. Trigos candeales en la zona centro sur. Fechas de siembra, rendimiento y calidad del grano. *Tierra Adentro*. 72:30-32.
- Meinke, H., 1996. Improving wheat simulation capabilities in Australia from a cropping perspective. Ph.D. Tesis. Wageningen Agricultural University, Wageningen, Holanda, 270 p.
- McMaster, G.S. 1995. Accuracy of equations predicting the phyllochron of wheat. *Crop Science* 35:30-36.
- McMaster, G.S. 1997. Phenology, development, and growth of wheat of the wheat shoot apex, a review. *Advances in Agronomy* 59:63-118.
- Milthorpe, F.L. and Moorby, J. 1982. *Introducción a la fisiología de cultivos*. Ed. Hemisferio sur. Buenos Aires, Argentina. 259 p.
- Monsi M. and Saeki T. 1953. Über den Lichtfaktor in den Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduktion. *Japanese Journal of Botany* 14: 22–52.
- Monteith, J.L. 1977. Climate and the efficiency of crop production in Britain. *Philosophical transactions of the royal society of London*. 281:277–329.

- Moragues, M.; García del Moral, L.F.; Moralejo, M. and Royo, C. 2006. Yield formation strategies of durum wheat landraces with distinct pattern of dispersal within the mediterranean basin ii. Biomass production and allocation. *Field Crops Research* 95:182–193.
- O’Connell, M.G.; O’Leary, G.J.; Whitfield D.M. and Connor, D.J. 2004. Interception of photosynthetically active radiation and radiation-use efficiency of wheat, field pea and mustard in a semi-arid environment. *Field Crops Research* 85:111-124.
- Pala M., Stöckle C.O., Harris H.C., 1996. Simulation of Durum Wheat (*Triticum turgidum* ssp. Durum). Growth under Different Water and Nitrogen Regimes in a Mediterranean Environment using CropSyst. *Agricultural Systems* 51:147-163.
- Payne, W.A.; Wendt, C.W.; Hossaner, L.R. and Gates C.E. 1991. Estimating Estimating pearl Millet Leaf Area and Specific Leaf Area. *Agronomy Journal* 83:937-941.
- Penning de Vries, F.W.T.; Van Laar, H.H.; Chardon, M.C.M. 1983. Bioenergetics of growth of seeds, fruits, and storage organs. In: Smith WH, Banta SJ, eds. Potential productivity of field crops under different environments. Los Baños, Filipinas: International Rice Research Institute, 37–59.
- Porter, J.R. 1985. Approaches to modeling canopy development in wheat. In: W. Day and R.K. Atkin (Editores), *Wheat Growth and Modelling*. Plenum Press, Nueva York, 69-81.
- Puckridge, D.W. 1963. The influence of competition for light on the dry matter production and ear formation of wheat plants. M.S. Tesis, Univ. of Adelaide, Australia.
- Ramos, J.M.; Garcia del Moral, L. F. and Recalde, L. 1982. Dry matter and leaf area relationships in winter barley. *Agronomy Journal* 75:308-310.
- Ramos, J.M.; Garcia del Moral, L. F. and Recalde, L. 1985. Vegetative growth of winter barley in relation to environmental conditions and grain yield. *Journal of Agricultural Science* 104, 413–419.
- Reddy, V.R.; Acock, B.; Baker, D.N. and Acock M. 1989. Seasonal leaf area-leaf weight relationships in cotton canopy. *Agronomy Journal* 81:1-4.
- Reynolds, M.P.; Van Ginkel, M., and Ribaut, J. M. 2000. Avenues for genetic modification of radiation use efficiency in wheat. *Journal of Experimental Botany* 51:459-473.

- Ritchie, J.T. and NeSmith, D.S. 1991. Temperature and crop development. In: modeling plant and soil systems. Madison, Wisconsin, USA; American Society of Agronomy 5-29.
- Rodríguez, D.; Keltjens, W.G. and Goudriaan, J. 1998. Plant leaf area expansion and assimilate production in wheat (*Triticum aestivum* L.) growing under low phosphorus conditions. *Plant and Soil* 200:227–240.
- Rousseaux, M.C.; Hall, A.J. and Sánchez, R.A. 1996. Far-red enrichment and photosynthetically active radiation level influence leaf senescence in field-grown sunflower. *Physiologia Plantarum* 96:217-224.
- Royo, C.; García del Moral, L.F.; Aparicio, N.; Villegas, D.; Casadesus, J.; Araus, J. 2000. Tools for improving the efficiency of durum wheat selection under mediterranean conditions. In: Royo, C.; Nachit, M.M.; Di Fonzo, N.; Araus, J.L. (eds.): Durum wheat improvement in the Mediterranean region: New challenges. *Options Méditerranéennes. Serie A. N° 40*:63-70
- Royo, C.; Aparicio, N.; Blanco, R. and Villegas, D. 2004. Leaf and green area development of durum wheat genotypes grown under mediterranean conditions. *European Journal of Agronomy*, 20:419-430.
- Sands, P.J. 1996. Modelling canopy production. III. Canopy light-utilization efficiency and its sensitivity to physiological and environmental variables. *Australian Journal of Plant Physiology* 23:103-114.
- Santibañez, F. y Uribe, J.M. 1992. Atlas agroclimático de Chile. Regiones quinta y metropolitana. 65 p. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Santiago, Chile.
- Siddique, K.H.M.; Belford, R.K.; Perry M.W. and Tennant, D. 1989. Growth, development and light interception of old and modern wheat cultivars in a Mediterranean-type environment. *Australian Journal of Agricultural Research* 40:473-487.
- Simane, B.; Peacock, J.M. and Struik, P.C. 1993. Differences in developmental plasticity and growth rate among drought-resistant and susceptible cultivars of durum wheat (*triticum turgidum* L. var. *Durum*). *Plant Soil* 157:155–166.
- Sinclair, T.R. 1988. Selecting crops and cropping systems for water. Gamon, J.A., L. Serrano, and J. Surfus. 1997. In F.D. Bidinger and C. Johansen (ed.) Drought Research priorities for the dryland tropics. 112:492–501. Patancheru, India.
- Sinclair, T.R. and Horie T. 1989. Leaf nitrogen, photosynthesis, and crop radiation use efficiency: a review. *Crop Science*. 29:90-98.
- Sinclair, T.R. and Muchow, R.C. 1999. Radiation use efficiency. *Advances in Agronomy*. 65:215-265.

- Soltani, A.; Ghassemi-Golezani, K.; Khoorie, F.R. and Moghaddam, M. 1999. A simple model for chickpea growth and yield. *Field Crops Research* 62:213-224.
- Steduto, P. and Albrizio, R. 2005. Resource use efficiency of field-grown sunflower, sorghum, wheat and chickpea. II. Water Use Efficiency and comparison with Radiation Use Efficiency. *Agricultural Forest Meteorology* 130:269-281.
- Steel, R.G.D. y Torrie, J.H. 1985. *Bioestadística: Principios y procedimientos*. Mcgraw-Hill. México. 622 p.
- Stöckle, C.O.; Martin, S.A. and Campbell, G.S. 1994. CropSyst, a cropping systems simulation model: water/nitrogen budgets and crop yield. *Agricultural Systems* 46:335-339.
- Stöckle, C.O.; Donatelli, M. and Nelson, R. 2003. CropSyst, a cropping systems simulation model. *European Journal Agronomy*. 18:289-307.
- Stoskopf, N.C. and Reinbergs, E. 1966. Breeding for yield in spring cereals. *Canadian Journal of Plant. Science* 46:313-319.
- Turner, N.C. 1997. Further progress in crop water relations. *Advances in Agronomy* 58: 293-338.
- United States Department of Agriculture. 2006. *Keys of Soil Taxonomy*. 339 p.
- Villalobos, F.J.; Hall, A.J.; Ritchie, J.T. and Orgaz, F. 1996. Oilcrop-sun: a development, growth, and yield modelo of the sunflower crop. *Agronomy Journal* 88:403-415.
- Villalobos, F.J.; Mateos, L.; Orgaz, F. y Fereres, E., 2002. *Fitotecnia. Bases y tecnologías de la producción agrícola*. Ediciones mundi-prensa. Madrid.
- Villegas, D.; Aparicio, N.; Blanco, R. and Royo, C. 2001. Biomass accumulation and main stem elongation of durum wheat grown under mediterranean conditions. *Annals of Botany* 88, 617-627.
- Westgate, M.E.; Forcella, F.; Reciosky D.C. and Somsen, J. 1997. Rapid canopy closure for maize production in the northern US corn belt: Radiation-use efficiency and grain yield. *Field Crops Research* 49:249-258.
- White, J.W.; Boote, K.J.; Hoogenboom, G. and Jones, P.G. 2007. Regression-based evaluation of ecophysiological models. *Agronomy Journal* 99: 419-427.
- Wilhelm, W.W. and McMaster, G.S. 1995. Importance of the phyllochron in studying development and growth in grasses. *Crop Science* 35:1-3.

- Wilson, D.R. and Jamieson, P.D. 1985. Models of growth and water use of wheat in new zealand. *In*: Day, W., Atkin, R.K. (eds.), wheat growth and modeling. Plenum press, London, pp. 211–216.
- Xue, Q.; Weiss, A. and Baezinger, P.S. 2004. Predicting leaf appearance in field-grown winter wheat: evaluating linear and non-linear models. *Ecological Modeling* 175:261-270.
- Yin, X. and Kropff M.J. 1996. The effect of temperature on leaf appearance in rice. *Annals of Botany*, 77:215-221.
- Yunusa, I.A.M.; Siddique, K.H.M.; Belford, R.K. and Karini, L.M. 1993. Effect of canopy structure on efficiency of radiation interception and use in spring wheat cultivars during the pre-anthesis period in a mediterranean-type environment. *Field Crops Research* 35:113-122.
- Zadoks, J.; Chang, T. and Konzak C. 1974. A decimal code for the growth stage of cereals. *Weed Research* 14:415-421.
- Zhong, X.; Peng, S.; Sheehy, J.E.; Visperas, R. M. and Liu, H. 2002. Relationship between tillering and leaf area index: quantifying critical leaf area index for tillering in rice. *The Journal of Agricultural Science* 138:269-279.
- Zrust, J.E.; Partykova and Necas J. 1974. Relationships of leaf area to leaf weight in potato plants. *Photosynthetica*. 8:118-124.

## APÉNDICE

### 1. Tablas de datos colectados mediante ensayos de campo

- a. Número de hojas totalmente desplegadas del tallo principal en función del tiempo térmico.

FECHA	TT	NHTP <sup>1</sup> (LL)	NHTP (CC)
08/06/07	132,5	1,00	1,00
08/20/07	222,1	2,90	2,55
09/05/07	368,4	4,00	3,75
09/24/07	554	5,95	5,50
10/10/07	752,7	7,05	6,70
10/16/07	823,3	7,40	7,15
10/22/07	923,6	7,95	7,75

<sup>1</sup> NHTP: nº hojas totalmente desplegadas del tallo principal

- b. Índice de área foliar (IAF) en función del Tiempo térmico (TT)

FECHA	TT	IAF (LL)	IAF (CC)
08/06/07	132,5	0,095	0,092
08/20/07	222,1	0,289	0,236
09/05/07	368,4	1,401	1,330
09/24/07	554	4,254	4,177
10/10/07	752,7	7,126	6,007
10/16/07	823,3	7,159	5,538
10/22/07	923,6	5,638	6,391
10/30/07	1049,5	4,398	4,487
11/06/07	1166,3	4,931	4,821
11/14/07	1292,3	3,646	3,695
11/21/07	1417,6	2,040	1,539

c. Radiación fotosintéticamente activa Interceptada acumulada y Materia seca acumulada

FECHA	$\Sigma$ RFAI <sup>1</sup> (LL) (MJ m <sup>-2</sup> )	MSTOTAL (LL) (g m <sup>-2</sup> )	$\Sigma$ RFAI (CC) (MJ m <sup>-2</sup> )	MSTOTAL (CC) (g m <sup>-2</sup> )
06/08/07	0,009	3,325	0,690	3,492
20/08/07	3,454	19,257	5,032	20,971
05/09/07	29,807	103,643	29,498	96,343
24/09/07	126,970	366,114	120,046	376,229
10/10/07	250,850	789,157	236,847	761,414
16/10/07	304,172	784,829	287,579	1076,914
22/10/07	358,134	1229,386	339,242	1353,871
30/10/07	438,246	1396,071	416,675	1268,914
06/11/07	504,990	1308,600	481,877	1480,143
14/11/07	575,682	1620,386	550,028	1563,186
21/11/07	641,291	1938,029	607,589	1575,729
05/12/07	738,207	1961,871	665,306	1863,614

<sup>1</sup> Radiación fotosintéticamente activa interceptada acumulada

d. Rendimiento y componentes del rendimiento

Rastrojo (CC) (qq ha <sup>-1</sup> )	Rastrojo (LL) (qq ha <sup>-1</sup> )	NG <sup>3</sup> (CC) (granos espiga <sup>-1</sup> )	NG <sup>3</sup> (LL) (granos espiga <sup>-1</sup> )	PG <sup>4</sup> (CC) (g 10 <sup>-3</sup> grano <sup>-1</sup> )	PG <sup>4</sup> (LL) (g 10 <sup>-3</sup> grano <sup>-1</sup> )	NE <sup>2</sup> (CC) (esp m <sup>-2</sup> )	NE <sup>2</sup> (LL) (esp m <sup>-2</sup> )	RF <sup>5</sup> (CC) (qq ha <sup>-1</sup> )	RF <sup>5</sup> (LL) (qq ha <sup>-1</sup> )
99,260	130,550	30,000	36,111	23,440	24,440	668	556	57,833	73,901
100,953	120,473	27,455	30,200	29,640	28,120	685	579	44,793	58,809
127,033	84,229	26,778	29,667	32,040	25,040	650	674	54,347	52,283
104,027	147,583	29,700	27,300	31,400	29,720	683	665	55,652	58,685
139,847	136,307	26,111	36,600	37,200	25,440	728	627	66,800	100,590
136,947	97,814	27,200	29,900	31,440	31,760	844	615	74,921	67,687
102,739	92,211	30,778	29,500	31,600	28,320	749	773	52,149	70,494
57,067	93,283	29,200	37,100	31,080	32,840	819	636	61,061	63,549
106,704	148,907	31,300	34,600	30,400	28,720	786	783	64,484	68,785
144,783	139,204	31,444	38,300	38,720	27,680	649	776	66,218	51,926
119,866	92,329	36,800	44,000	32,240	30,120	679	674	50,598	71,734
103,366	111,036	33,727	33,800	35,000	41,520	693	666	52,186	61,809

<sup>1</sup> NE: nº de espigas por m<sup>2</sup>

<sup>2</sup> NG: nº de granos por espiga

<sup>3</sup> PG: peso de 1000 granos

<sup>4</sup> RF: rendimiento final.



## e. Índice de área foliar y materia seca de hojas

MSH <sup>1</sup> (LL) (g m <sup>-2</sup> )	IAF (LL)	MSH (CC) (g m <sup>-2</sup> )	IAF (CC)
5,127	0,095	4,298	0,092
18,679	0,289	13,321	0,236
77,552	1,401	58,668	1,330
231,238	4,254	203,857	4,177
451,784	7,126	332,226	6,007
495,198	7,159	394,257	5,538
490,560	5,638	462,748	6,391
295,392	4,398	346,085	4,487
356,326	4,931	326,709	4,821
235,876	3,646	198,071	3,695
125,989	2,040	81,946	1,539

<sup>1</sup> MSH: materia seca de hojas

## 2. Análisis de regresiones lineales y no lineales

a. Número de hojas completamente expandidas en función del tiempo térmico.

Análisis de Regresión Lineal: $NH_{cc} = a + TAF \cdot TT$					
Parámetro	Valor Estimado	EE	T	Prob	
a	0,503047	0,317889	1,58246	0,1744*	
TAF	0,00817631	0,000520906	15,6963	0,0000	
Análisis de Varianza					
Origen	SC	GL	CM	F	Prob
Regresión	38.066	1	38.066	246.38	0.0000
Error	0.772523	5	0.154505		
Total	38.8386	6			
R	0.990005				
R <sup>2</sup>	0.980109				
R <sup>2</sup> adj	0.976131				
EE	0.393071				
$NH_{cc} = 0.503047 + 0.00817631 \cdot TT$					

Análisis de Regresión Lineal: $NH_{cc} = TAF \cdot TT$					
Parámetro	Valor Estimado	EE	T	Prob	
TAF	0.00891359	0.00028648	31.114673	0.0000	
Análisis de Varianza					
Origen	SC	GL	CM	F	Prob
Regresión	207.12632	1	207.12632	968.12	0.0000
Error	1.2836779	6	0.2139463		
Total	208.41				
R	0.9969156				
R <sup>2</sup>	99.3841				
R <sup>2</sup> adj	82.7174				
EE	0.46254				
$NH_{cc} = 0.00891359 \cdot TT$					

\* Coeficiente no significativo ( $p < 0,05$ )

Análisis de Regresión Lineal: $NHII = a + TAF \cdot TT$					
Parámetro	Valor Estimado	EE	T	Prob	
a	0.696248	0.435744	1.59784	0.1710*	
TAF	0.00830807	0.000714028	11.6355	0.0001	
Análisis de Varianza					
Origen	SC	GL	CM	F	Prob
Regresión	39.3028	1	39.3028	135.38	0.0001
Error	1.45152	5	0.290304		
Total	40.7543	6			
R	0.98203				
R <sup>2</sup>	96.4384				
R <sup>2</sup> adj	95.726				
EE	0.538799				
$NHII = 0.696248 + 0.00830807 \cdot TT$					

Análisis de Regresión Lineal: $NHII = TAF \cdot TT$					
Parámetro	Valor Estimado	EE	T	Prob	
TAF	0.00931671	0.00037441	24.8836913	0.0000	
Análisis de Varianza					
Origen	SC	GL	CM	F	Prob
Regresión	226.284811	1	226.284811	619.198	0.0000
Error	2.19268903	6	0.36544817		
Total	228.4775				
R	0.99518995				
R <sup>2</sup>	99.0403				
R <sup>2</sup> adj	82.8736				
EE	0.604523				
$NHII = 0.00931671 \cdot TT$					

\* Coeficiente no significativo ( $p < 0,05$ )

## b. Índice de área foliar en función del tiempo térmico

Análisis de Regresión No Lineal:

$$IAF_{cc} = a \cdot \left( \frac{1}{1 + \exp(-b \cdot (TT - c))} \right) - \left( \frac{1}{1 + \exp(-d \cdot (TT - f))} \right)$$

Parámetros iniciales estimados:

a	8,15	Método de estimación: Marquardt
b	0,011	Estimación paró esperó la convergencia de los residuos de la suma de cuadrados.
c	520,0	Numero de iteraciones: 10
d	0,04	Numero de funciones llamadas: 72
f	1200,0	

Parámetro	Valor Estimado	EE asintótico	IC asintótico (95%)	
			Bajo	Alto
a	6,0254	0,50393	4,79232	7,25847
b	0,0118876	0,0035254	0,00326124	0,020514
c	479,369	33,9412	396,318	562,421
d	0,0080756	0,0028593	0,00107913	0,0150721
f	1316,5	38,7676	1221,64	1411,37

Análisis de Varianza

Origen	SC	GL	CM
Regresión	184,599	5	36,9198
Error	1,66768	6	0,277946
Total	186,266	11	
Total (Corr.)	52,8201	10	
R <sup>2</sup>	96,8427		
R <sup>2</sup> adj	94,7379		
EE	0,527206		

$$IAF_{cc} = 6,0254 \cdot \left( \frac{1}{1 + \exp(0,0118876 \cdot (TT - 479,369))} \right) - \left( \frac{1}{1 + \exp(0,0080756 \cdot (TT - 1316,5))} \right)$$

---

Análisis de Regresión No Lineal:

$$\text{IAFl} = a \cdot \left( \frac{1}{1 + \text{EXP}(-b \cdot (\text{TT} - c))} \right) - \left( \frac{1}{1 + \text{EXP}(-d \cdot (\text{TT} - f))} \right)$$

Parámetros iniciales estimados:

---

a	8,15	Método de estimación: Marquardt
b	0,011	Estimación paró esperó la convergencia de los residuos de la suma de cuadrados.
c	520,0	Numero de iteraciones: 10
d	0,04	Numero de funciones llamadas: 73
f	1200,0	

---

Parámetro	Valor Estimado	EE asintótico	IC asintótico (95%)	
			Bajo	Alto
a	9,67675	6,87343**	-7,14197	26,4955
b	0,00965315	0,00607447	0,00521058	0,0245169
c	517,391	40,407	418,518	616,263
d	0,00368375	0,00212293	0,00151088	0,00887839
f	1105,91	389,487	152,871	2058,96

---

Análisis de Varianza

Origen	SC	GL	CM
Regresión	212,729	5	42,5458
Error	2,35308	6	0,39218
Total	215,082	11	
Total (Corr.)	62,4339	10	
R <sup>2</sup>	96,2311		
R <sup>2</sup> adj	93,7185		
EE	0,626243		

---

$$\text{IAFl} = 9,677 \cdot \left( \frac{1}{1 + \text{EXP}(-0,00368 \cdot (\text{TT} - 1105,91))} \right) + \left( \frac{1}{1 + \text{EXP}(-0,00965 \cdot (\text{TT} - 517,391))} \right)$$


---

c. Fracción de radiación fotosintéticamente activa interceptada en función del índice de área foliar

---

Análisis de Regresión No Lineal:

$f_{cc}=1 - \text{EXP}(-k \cdot \text{IAF}_{cc})$

Parámetros iniciales estimados:

---

k	0.1	Método de estimación: Marquardt
Estimación paró esperó la convergencia de los residuos de la suma de cuadrados.		
Numero de iteraciones: 4		
Numero de funciones llamadas: 10		

---

Parámetro	Valor Estimado	EE asintótico	IC asintótico (95%)	
			Bajo	Alto
k	0.438481	0.0213019	0.394694	0.482268

---

Análisis de Varianza

Origen	SC	GL	CM
Regresión	13.257	1	13.257
Error	0.0782983	26	0.00301147
Total	13.3353	27	
Total (Corr.)	4.08133	26	
R <sup>2</sup>	98.0816		
R <sup>2</sup> adj	98.0816		
EE	0.0548769		

---

$f_{cc} = 1 - \text{EXP}(-0.438481 \cdot \text{IAF}_{cc})$

---

---

Análisis de Regresión No Lineal:  
 $f_{ll} = 1 - \text{EXP}(-k \cdot \text{IAFl})$

---

Parámetros iniciales estimados:

k	0.1	Método de estimación: Marquardt		
Estimación paró esperó la convergencia de los residuos de la suma de cuadrados.				
Numero de iteraciones: 5				
Numero de funciones llamadas: 12				

---

Parámetro	Valor Estimado	EE asintótico	IC asintótico (95%)	
			Bajo	Alto
K	0.511833	0.0312505	0.447597	0.57607

---

Análisis de Varianza

Origen	SC	GL	CM
Regresión	14.6765	1	14.6765
Error	0.0999004	26	0.00384232
Total	14.7764	27	
Total (Corr.)	4.26886	26	
R <sup>2</sup>	97.6598		
R <sup>2</sup> adj	97.6598		
EE	0.0619865		

---

$f_{ll} = 1 - \text{EXP}(-0.511833 \cdot \text{IAFl})$

---

d. Materia seca Total en función de la Radiación fotosintéticamente activa (etapa vegetativa)

---

Análisis de Regresión Lineal:  $\text{MSTcc} = a + \text{EUR} \cdot \Sigma \text{RFAIcc}$

Parámetro	Valor Estimado	EE	T	Prob
a	-27.4440	40.2971	-0.681040	0.5261
EUR	3.80922	0.205491	18.5371	8.407E-6

---

Análisis de Varianza

Origen	SC	GL	CM	F	Prob
Regresión	1.75386E6	1	1.75386E6	343.63	0.0000
Error	25520.2	5	5104.04		
Total	1.7794E6	6			
R	0.992804				
R <sup>2</sup>	98.5658				
R <sup>2</sup> adj	98.2790				
EE	71.4425				

---

$\text{MSTcc} = -27.4440 + 3.80922 \cdot \Sigma \text{RFAIcc}$

---

---

Análisis de Regresión Lineal:  $MST_{cc} = EUR \cdot \Sigma RFAI_{cc}$

Parámetro	Valor Estimado	EE	T	Prob
EUR	3.70533760	0.13140124	28.1986509	0.0000

---

Análisis de Varianza

Origen	SC	GL	CM	F	Prob
Regresión	3695858.29	1	3695858.29	795.164	0.0000
Error	27887.5203	6	4647.9200		
Total	3723745.81	7			

---

R 0.99624841  
R<sup>2</sup> 99.2251  
R<sup>2</sup> adj 82.5844  
EE 68.17566

---

$MST_{cc} = 3.70533760 \cdot \Sigma RFAI_{cc}$

---



---

Análisis de Regresión Lineal:  $MST_{II} = a + EUR \cdot \Sigma RFAI_{III}$

Parámetro	Valor Estimado	EE	T	Prob
a	-3.6793	50.3395	-0.07309	0.9446
EUR	3.09435	0.242868	12.7409	0.0000

---

Análisis de Varianza

Origen	SC	GL	CM	F	Prob
Regresión	1.30345E6	1	1.30345E6	162.33	0.0000
Error	40148.5	5	8029.69		
Total	1.34360E6	6			

---

R 0.98495  
R<sup>2</sup> 97.0119  
R<sup>2</sup> adj 96.4143  
EE 89.6086

---

$MST_{II} = -3.6793 + 3.09435 \cdot \Sigma RFAI_{III}$

---



Análisis de Regresión Lineal: $MSTII = EUR \cdot \Sigma RFAIII$					
Parámetro	Valor Estimado	EE	T	Prob	
EUR	3.081220216	0.14924640	20.6451899	0.0000	
Análisis de Varianza					
Origen	SC	GL	CM	F	Prob
Regresión	2855086.161	1	2855086.161	426.224	0.0000
Error	40191.3603	6	6698.56005		
Total	2895277.521	7			
R	0.993034896				
R <sup>2</sup>	98.612				
R <sup>2</sup> adj	81.9452				
EE	81.8447				
$MSTII = 3.081220216 \cdot \Sigma RFAIII$					

- e. Materia seca Total en función de la Radiación fotosintéticamente activa (etapa reproductiva)

Análisis de Regresión Lineal: $MSTcc = a + EUR \cdot \Sigma RFAIcc$					
Parámetro	Valor Estimado	EE	T	Prob	
a	734.4584	194.5738	3.774703	0.0195	
EUR	1.53517	0.372709	4.118983	0.0146	
Análisis de Varianza					
Origen	SC	GL	CM	F	Prob
Regresión	1.74172E6	1	1.74172E6	16.966	0.0146
Error	41064.8	4	10266.20		
Total	2.1524E6	5			
R	0.899562				
R <sup>2</sup>	80.9212				
R <sup>2</sup> adj	76.1515				
EE	101.3224				
$MSTcc = 734.4584 + 1.53517 \cdot \Sigma RFAIcc$					

Análisis de Regresión Lineal: $MSTII = a + EUR \cdot \Sigma RFAIII$					
Parámetro	Valor Estimado	EE	T	Prob	
Intercepto	407.2143	227.5154	0.14798	0.1480	
Pendiente	2.15291	0.408306	5.27278	0.0062	
Análisis de Varianza					
Origen	SC	GL	CM	F	Prob
Regresión	4.42312E6	1	4.42312E6	27.80	0.0062
Error	63637.0	4	15909.26		
Total	5.05949E6	5			
R	0.93499				
R <sup>2</sup>	87.4222				
R <sup>2</sup> adj	84.2778				
EE	126.1319				
$MSTII = 407.2143 + 2.15291 \cdot \Sigma RFAIII$					

f. Materia seca Total en función de la Radiación fotosintéticamente activa (etapa total)

Análisis de Regresión Lineal: $MSTcc = a + EUR \cdot \Sigma RFAIcc$					
Parámetro	Valor Estimado	EE	T	Prob	
a	88.2899	71.5401	1.234132	0.2454	
EUR	2.77546	0.185491	14.9810	0.0000	
Análisis de Varianza					
Origen	SC	GL	CM	F	Prob
Regresión	4.80255E6	1	4.80255E6	224.43	0.0000
Error	213988.6	10	21398.86		
Total	5.01654E6	11			
R	0.978439				
R <sup>2</sup>	95.7343				
R <sup>2</sup> adj	95.3078				
EE	146.284				
$MSTcc = 88.28991 + 2.77546 \cdot \Sigma RFAIcc$					

---

Análisis de Regresión Lineal:  $MST_{cc} = EUR \cdot \Sigma RFAI_{cc}$

Parámetro	Valor Estimado	EE	T	Prob
EUR	2.96001570	0.11192748	26.44583534	0.0000

---

Análisis de Varianza

Origen	SC	GL	CM	F	Prob
Regresión	15677659.62	1	3695858.29	224.430	0.0000
Error	246580.8454	11	21398.8630		
Total	15924240.47	12			

---

R 0.99222748  
R<sup>2</sup> 98.4515  
R<sup>2</sup> adj 89.3606  
EE 149.7212

---

$MST_{cc} = 2.96001570 \cdot \Sigma RFAI_{cc}$

---



---

Análisis de Regresión Lineal:  $MST_{II} = a + EUR \cdot \Sigma RFAI_{III}$

Parámetro	Valor Estimado	EE	T	Prob
a	37.0778	53.4999	0.693045	0.5041
EUR	2.78858	0.129902	21.46679	0.0000

---

Análisis de Varianza

Origen	SC	GL	CM	F	Prob
Regresión	5.60516E6	1	5.60516E6	460.82	0.0000
Error	121633.5	10	12163.35		
Total	5.72679E6	11			

---

R 0.98932  
R<sup>2</sup> 97.8761  
R<sup>2</sup> adj 97.6637  
EE 110.2876

---

$MST_{II} = 37.0778 + 2.78858 \cdot \Sigma RFAI_{III}$

---

Análisis de Regresión Lineal: $MSTII = EUR \cdot \Sigma RFAIII$					
Parámetro	Valor Estimado	EE	T	Prob	
Pendiente	2.860936023	0.07545547	37.9155551	0.0000	
Análisis de Varianza					
Origen	SC	GL	CM	F	Prob
Regresión	16659795.29	1	16659795.29	1437.589	0.0000
Error	127475.73	11	11588.7027		
Total	16787271.02	12			
R	0.996195967				
R <sup>2</sup>	99.241				
R <sup>2</sup> adj	90.1497				
EE	107.651				
$MSTII = 2.860936023 \cdot \Sigma RFAIII$					

g. Índice de cosecha en función del tiempo térmico.

Análisis de Regresión Lineal: $ICcc = a + b \cdot TT$					
Parámetro	Valor Estimado	EE	T	Prob	
A	-0.297031	0.0584523	-5.08159	0.0071	
b	0.000458105	0.0000458046	10.0013	0.0006	
Análisis de Varianza					
Origen	SC	GL	CM	F	Prob
Regresión	0.0748963	1	0.0748963	100.03	0.0006
Error	0.00299509	4	0.000748772		
Total	0.0778914	5			
R	0.980586				
R <sup>2</sup>	96.1548				
R <sup>2</sup> adj	95.1935				
EE	0.0273637				
$ICcc = -0.297031 + 0.000458105 \cdot TT$					

Análisis de Regresión Lineal: ICII = a + b· TT					
Parámetro	Valor Estimado	EE	T	Prob	
A	-0.398408	0.0593648	-6.71118	0.0026	
b	0.000510596	0.0000465197	10.9759	0.0004	
Análisis de Varianza					
Origen	SC	GL	CM	F	Prob
Regresión	0.0930434	1	0.0930434	120.47	0.0004
Error	0.00308933	4	0.000772331		
Total	0.0961327	5			
R	0.983801				
R <sup>2</sup>	96.7864				
R <sup>2</sup> adj	95.983				
EE	0.0277909				
ICII = -0.398408 + 0.000510596· TT					

h. Relación entre área foliar verde en función de la materia seca de hojas.

Análisis de Regresión Lineal: AFVTcc = a + AFE·MSHcc					
Parámetro	Valor Estimado	EE	T	Prob	
A	79.1069	68.0951	1.16171	0.2788	
AFE	144.576	13.0034	11.1183	0.0000	
Análisis de Varianza					
Origen	SC	GL	CM	F	Prob
Regresión	1.70011E6	1	1.70011E6	123.62	0.0000
Error	110024.0	8	13753.0		
Total	1.81013E6	9			
R	0.969132				
R <sup>2</sup>	93.9218				
R <sup>2</sup> adj	93.162				
EE	117.273				
AFVTcc = 79.1069 + 144.576·MSHcc					

Análisis de Regresión Lineal: $AFVT_{cc} = AFE \cdot MSH_{cc}$					
Parámetro	Valor Estimado	EE	T	Prob	
AFE	157.274	7.216817	21.79271	0.0000	
Análisis de Varianza					
Origen	SC	GL	CM	F	Prob
Regresión	6780771.88	1	6780771.88	474.9224	0.0000
Error	128498.776	9	14277.6418		
Total	6909270.66	10			
R	0.99065735				
R <sup>2</sup>	98.140				
R <sup>2</sup> adj	87.029				
EE	119.489				
$AFVT_{cc} = 157.274 \cdot MSH_{cc}$					

Análisis de Regresión Lineal: $AFVT_{II} = a + AFE \cdot MSH_{II}$					
Parámetro	Valor Estimado	EE	T	Prob	
A	55.53	76.1973	0.728766	0.4847	
AFE	138.658	12.7968	10.8354	0.0000	
Análisis de Varianza					
Origen	SC	GL	CM	F	Prob
Regresión	2.39746E6	1	2.39746E6	117.41	0.0000
Error	183783.0	9	20420.4		
Total	2.58124E6	10			
R	0.963743				
R <sup>2</sup>	92.8801				
R <sup>2</sup> adj	92.089				
EE	142.9				
$AFVT_{II} = 55.53 + 138.658 \cdot MSH_{II}$					

Análisis de Regresión Lineal: $AFVT_{II} = AFE \cdot MSH_{II}$					
Parámetro	Valor Estimado	EE	T	Prob	
AFE	146.349	7.604274	20.71687	0.0000	
Análisis de Varianza					
Origen	SC	GL	CM	F	Prob
Regresión	8353231.51	1	8353231.51	429.1887	0.0000
Error	194628.415	10	19462.8415		
Total	8547859.92	11			
R	0.98854982				
R <sup>2</sup>	97.723				
R <sup>2</sup> adj	87.723				
EE	139.5093				
$AFVT_{II} = 146.349 \cdot MSH_{II}$					

## i. Área foliar verde en función del número de hojas totales.

---

 Análisis de Regresión No Lineal:  $AFVTcc = AFVmax / (1 + a \cdot EXP(-b \cdot NHTcc))$ 

Parámetros iniciales estimados:

---

AFVmax	240	Método de estimación: Marquardt
A	35	Estimacion paró esperó la convergencia de los resuduos de la suma de cuadrados.
B	0.2	Numero de iteraciones: 5

---

Numero de funciones llamadas: 22

---

Parámetro	Valor Estimado	EE asintótico	IC asintótico (95%)	
			Bajo	Alto
AFVmax	246.104	17.2816	198.123	294.086
a	29.339	22.8344	-34.0597	92.7377
b	0.263403	0.0589981	0.0995976	0.427209

---

Análisis de Varianza

Origen	SC	GL	CM
Regresión	191464.	3	63821.3
Error	1579.02	4	394.755
Total	193043.	7	
Total (Corr.)	70568.3	6	
R <sup>2</sup>	97.7624		
R <sup>2</sup> adj	96.6436		
EE	19.8684		

---

 $AFVTcc = 246.104 / (1 + 29.339 \cdot EXP(-0.263403 \cdot NHTcc))$ 


---

---

Análisis de Regresión No Lineal:  $AFVTII = AFVmax/(1+a \cdot EXP(-b \cdot NHTII))$

Parámetros iniciales estimados:

---

AFVmax	240	Método de estimación: Marquardt
a	35	Estimacion paró esperó la convergencia de los resuduos de la suma de cuadrados.
b	0.2	Numero de iteraciones: 19

---

Numero de funciones llamadas: 97

---

Parámetro	Valor Estimado	EE asintótico	IC asintótico (95%)	
			Bajo	Alto
AFVmax	268.117	30.5531	183.288	352.946
a	51.3213	103.028	-234.732	337.375
b	0.30942	0.150622	-0.108774	0.727615

---

Análisis de Varianza

Origen	SC	GL	CM
Regresión	243119.	3	81039.6
Error	7311.54	4	1827.88
Total	250430.	7	
Total (Corr.)	96078.9	6	
R <sup>2</sup>	92.3901		
R <sup>2</sup> adj	88.5851		
EE	42.7538		

---

$AFVTII = 268.117 / (1 + 51.3213 \cdot EXP (-0.30942 \cdot NHTII))$

---



## j. Área foliar verde en función del número de hojas del tallo principal.

---

 Análisis de Regresión No Lineal:  $AFVTcc = AFVmax / (1 + a \cdot EXP(-b \cdot NHTPcc))$ 

Parámetros iniciales estimados:

---

AFVmax	240	Método de estimación: Marquardt
a	35.0	Estimación paró esperó la convergencia de los residuos de la suma de cuadrados.
b	0.2	Numero de iteraciones: 8

---

Numero de funciones llamadas: 35

---

Parámetro	Valor Estimado	EE asintótico	IC asintótico (95%)	
			Bajo	Alto
AFVmax	254.937	4.56441	242.264	267.61
a	332.128	93.3954	72.8205	591.436
b	1.15506	0.0617639	0.983579	1.32655

---

Análisis de Varianza

---

Origen	SC	GL	CM
Regresión	192989.	3	64329.7
Error	53.851	4	13.4628
Total	193043.	7	

---

Total (Corr.)	70568.3	6	
R <sup>2</sup>	99.9237		
R <sup>2</sup> adj	99.8855		
EE	3.66916		

---

 $AFVTcc = 254.937 / (1 + 332.128 \cdot EXP(-1.15506 \cdot NHTPcc))$ 


---

---

Análisis de Regresión No Lineal:  $AFVTII = AFVmax/(1+a \cdot EXP(-b \cdot NHTPII))$

Parámetros iniciales estimados:

---

AFVmax	240	Método de estimación: Marquardt
A	35.0	Estimacion paró esperó la convergencia de los residuos de la suma de cuadrados.
B	2.0	Numero de iteraciones: 1

---

Numero de funciones llamadas: 52

---

Parámetro	Valor Estimado	EE asintótico	IC asintótico (95%)	
			Bajo	Alto
AFVmax	277.624	44.3694	154.435	400.814
a	1193.23	4497.06	-11292.7	13679.1
b	1.33008	0.737037	-0.716269	3.37643

---

Análisis de Varianza

Origen	SC	GL	CM
Regresión	243451.	3	81150.3
Error	6979.19	4	1744.8
Total	250430.	7	
Total (Corr.)	96078.9	6	
R <sup>2</sup>	92.736		
R <sup>2</sup> adj	89.104		
EE	41.7708		

---

$AFVTII = 277.624 / (1 + 1193.23 \cdot EXP(-1.33008 \cdot NHTPII))$

---

### 3. Análisis de varianza para rendimiento y sus componentes.

Análisis de Varianza: Rastrojo (qq ha <sup>-1</sup> )					
Factor	SC	GL	CM	F	Prob
Variedad	109.8	1	109,80037	0,19196179	0,66556071
Error	12584	22	571,990759		
Total	12694	23			

Análisis de Varianza: Espigas m <sup>-2</sup>					
Factor	SC	GL	CM	F	Prob
Variedad	15453	1	15453,375	3,08911406	0,09272597
Error	110056	22	5002,52652		
Total	125509	23			

Análisis de Varianza: Granos espiga <sup>-1</sup>					
Factor	SC	GL	CM	F	Prob
Variedad	90,423	1	90,4228378	5,52794567	0,02808544
Error	359,86	22	16,3574035		
Total	450,29	23			

Análisis de Varianza: Peso de 1000 granos					
Factor	SC	GL	CM	F	Prob
Variedad	38.,71	1	38,7096	2,15759601	0,15602138
Error	394,7	22	17,9410788		
Total	433,41	23			

Análisis de Varianza: Rendimiento final (qq ha <sup>-1</sup> )					
Origen	SC	GL	CM	F	Prob
Regresión	439,94	1	439,940307	3,43233485	0,07739549
Error	2819,9	22	128,175229		
Total	3259,8	23			

#### 4. Comparaciones entre coeficientes de las regresiones analizadas

Gráfico	Coficiente	Variedad	n	gl	Valor	EE	t <sub>c</sub>	p-valor
NH = a + TAF · TT	a	Corcolén-INIA	7	5	0.503047	0.317889	-0.631	0.2710
		Llaretá-INIA	7	5	0.696248	0.435744		
	TAF	Corcolén-INIA	7	5	0.00817631	0.000520906	-0.326	0.3752
		Llaretá-INIA	7	5	0.00830807	0.000714028		
NH = TAF · TT	TAF	Corcolén-INIA	7	6	0.00891359	0.00028648	-0.504	0.3112
		Llaretá-INIA	7	6	0.00931671	0.00037441		
IAF = a · ((1 / (1 + EXP (-b · (TT - c)))) - (1 / (1 + EXP (-d · (TT - f))))))	a	Corcolén-INIA	13	8	6.0254	0.50393	0.987	0.1692
		Llaretá-INIA	13	8	9.6768	6.8734		
	b	Corcolén-INIA	13	8	0.0118876	0.0035254	-0.127	0.4501
		Llaretá-INIA	13	8	0.00965315	0.00607447		
	c	Corcolén-INIA	13	8	479.369	339.4120	441.825	0.0000*
		Llaretá-INIA	13	8	517.391	40.4070		
	d	Corcolén-INIA	13	8	0.0080756	0.0028593	-0.066	0.4742
		Llaretá-INIA	13	8	0.00368375	0.00212293		
	f	Corcolén-INIA	13	8	1316.5	387.6760	1260.398	0.0000*
		Llaretá-INIA	13	8	1105.91	389.4870		
f = 1 - EXP (-k · IAF)	k	Corcolén-INIA	28	27	0.438481	0.0213019	-2.719	0.0052
		Llaretá-INIA	28	27	0.511833	0.0312505		
MST = a + EURv · ΣRFAI	a	Corcolén-INIA	8	6	-27.444	40.2971	-26.897	0.0000*
		Llaretá-INIA	8	6	-3.6793	50.3395		
	EUR	Corcolén-INIA	8	6	3.80922	0.205491	-2.726	0.0087*
		Llaretá-INIA	8	6	3.09435	0.242868		
MST = EURv · ΣRFAI	EUR	Corcolén-INIA	8	7	3.7053376	0.13140124	-4.520	0.0004*
		Llaretá-INIA	8	7	3.08122022	0.1492464		
MST = a + EURr · ΣRFAI	a	Corcolén-INIA	7	5	734.4584	194.5738	706.428	0.0000*
		Llaretá-INIA	7	5	407.2143	227.5154		
	EUR	Corcolén-INIA	7	5	1.53517	0.372709	-1.910	0.0371*
		Llaretá-INIA	7	5	2.15291	0.408306		

Gráfico	Coeficiente	Variedad	n	gl	Valor	EE	t <sub>c</sub>	p-valor
MST = a + EUR · ΣRFAI	a	Corcolón-INIA	13	11	88.2899	71.5401	83.601	0.0000*
		Llaretá-INIA	13	11	37.0778	53.4999		
	EUR	Corcolón-INIA	13	11	2.77546	0.185491	-4.247	0.0002*
		Llaretá-INIA	13	11	2.78858	0.129902		
MST = EUR · ΣRFAI	EUR	Corcolón-INIA	13	12	2.9600157	0.11192748	-6.387	0.0000*
		Llaretá-INIA	13	12	2.86093602	0.07545547		
IC = a + b · TT	a	Corcolón-INIA	4	2	-0.297031	0.0584523	1.344	0.1250
		Llaretá-INIA	4	2	-0.398408	0.0593648		
	b	Corcolón-INIA	4	2	0.00045811	4.58046E-05	-0.075	0.4709
		Llaretá-INIA	4	2	0.0005106	4.65197E-05		
AFVT = a + RAF · MSH	a	Corcolón-INIA	11	9	79.1069	68.0951	72.569	0.0000*
		Llaretá-INIA	11	9	55.53	76.1973		
	RAF	Corcolón-INIA	11	9	144.576	13.0034	105.971	0.0000*
		Llaretá-INIA	11	9	138.658	12.7968		
AFVT = a + RAF · MSH	RAF	Corcolón-INIA	11	10	157.274	7.216817	103.513	0.0000*
		Llaretá-INIA	11	10	146.349	7.604274		
AFVT = AFVmax / (1 + a · EXP(-b · NHTP))	AFVmax	Corcolón-INIA	7	4	246.104	17.2816	191.280	0.0000
		Llaretá-INIA	7	4	268.117	30.5531		
	a	Corcolón-INIA	7	4	29.339	22.8344	22.870	0.0000
		Llaretá-INIA	7	4	51.3213	103.028		
	b	Corcolón-INIA	7	4	0.263403	0.0589981	-0.692	0.2634
		Llaretá-INIA	7	4	0.30942	0.150622		
	AFVmax	Corcolón-INIA	7	4	254.937	4.56441	198.811	0.0000
		Llaretá-INIA	7	4	277.624	44.3694		
AFVT = AFVmax / (1 + a · EXP(-b · NHTP))	a	Corcolón-INIA	7	4	332.128	93.3954	307.222	0.0000
		Llaretá-INIA	7	4	1193.23	4497.06		
	b	Corcolón-INIA	7	4	1.15506	0.0617639	-0.950	0.1851
		Llaretá-INIA	7	4	1.33008	0.737037		

\* Existen diferencias significativas entre coeficientes ( $p < 0,05$ )