

**Efecto de la época de siembra y la densidad poblacional sobre el desarrollo, crecimiento y rendimiento de híbridos de maíz con germoplasma tropical, tropical x templado y templado en el área de riego del Río Dulce, Santiago del Estero.**

*Tesis presentada para optar al título de Magister de la Universidad de Buenos Aires, Área Producción Vegetal.*

Matías Rafael Romani  
Ingeniero Agrónomo  
Universidad Nacional de Santiago del Estero  
2007

E.E.A. Santiago del Estero, INTA.



Escuela para Graduados Ing. Agr. Alberto Soriano  
Facultad de Agronomía – Universidad de Buenos Aires

## COMITÉ CONSEJERO

Director de tesis

.....

**Sergio A. Uhart**

Ingeniero Agrónomo (Universidad Nacional de Buenos Aires)  
Doctor en Ciencias Agrarias (Universidad Nacional de Mar del Plata)

Consejero de estudios

.....

**Mario H. Mondino**

Ingeniero Agrónomo (Universidad Nacional de Córdoba)  
Magister Scientiae (Universidad Nacional de Mar del Plata)

## JURADO DE TESIS

Director de tesis

.....

**Sergio A. Uhart**

Ingeniero Agrónomo (Universidad Nacional de Buenos Aires)  
Doctor en Ciencias Agrarias (Universidad Nacional de Mar del Plata)

JURADO

.....

**Karina E. D'Andrea**

Ingeniero Agrónomo (Universidad Nacional de Buenos Aires)  
Doctor en Ciencias Agrarias (Universidad Nacional de Buenos Aires)

JURADO

.....

**Brenda L. Gambin**

Ingeniero Agrónomo (Universidad Nacional de Buenos Aires)  
Doctor en Ciencias Agrarias (Universidad Nacional de Buenos Aires)

Fecha de defensa de la tesis: 16 de Marzo de 2016

## AGREDECIMIENTOS

Al director de la tesis Sergio Uhart por toda su ayuda y por todo lo que me ha enseñado durante el la realización de este trabajo.

Al INTA Santiago del Estero, por permitirme tener la posibilidad de acceder a la realización de un post grado.

A Mario Mondino por su labor como codirector de tesis.

A Salvador Prieto por toda la ayuda brindada durante la realización de este trabajo.

A Claudia Vega por la ayuda brindada durante la realización de este trabajo.

A Ana Pereyra su ayuda en la parte estadística.

A todas las personas de INTA Santiago del Estero que me ayudaron de alguna manera durante la realización de este trabajo.

## DECLARACIÓN

*“Declaro que el material incluido en esta tesis es, a mi mejor saber y entender, original, producto de mi propio trabajo (salvo en la medida en que se identifique explícitamente las contribuciones de otros), y que este material no lo he presentado, en forma parcial o total, como una tesis en ésta u otra institución.”*

## ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
GLOSARIO DE ABREVIATURAS	x
RESUMEN	xi
SUMMARY	xii
<u>CAPÍTULO 1</u>	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 HIPÓTESIS	8
1.3 OBJETIVOS GENERALES	8
<u>CAPÍTULO 2</u> DESARROLLO Y CRECIMIENTO DEL CULTIVO	9
2.1 INTRODUCCIÓN	9
2.1.1. HIPÓTESIS	12
2.1.2 Objetivos del capítulo	12
2.2 MATERIALES Y MÉTODOS	12
2.2.1 Sitio experimental y manejo del cultivo	12
2.2.2 Tratamientos y diseño experimental	13
2.2.3 Variables meteorológicas	14
2.2.4 Fenología	14
2.2.5 Caracterización del crecimiento	15
2.2.5 Componentes ecofisiológicos del crecimiento	16
2.2.5 Análisis estadístico	17
2.3 RESULTADOS	17
2.3.1 Condiciones de crecimiento	18
2.3.2 Fenología	21
2.3.3 Índice de área foliar y Radiación fotosintéticamente activa interceptada	26
2.3.4 Eficiencia de uso de la radiación	32
2.3.5 Biomasa	34
2.3.5.1 Periodo vegetativo	34
2.3.5.2 Periodo Reproductivo	37
2.3.5.3 Ciclo de crecimiento total del cultivo	37
2.4 DISCUSIÓN	39
<u>CAPÍTULO 3</u> RENDIMIENTO Y SUS COMPONENTES	48
3.1 INTRODUCCIÓN	48
3.1.1 Hipótesis	51
3.1.2 Objetivos del capítulo	52

Contenido	Página
3.2 MEDICIONES	52
3.2.1 Caracterización del crecimiento por planta	52
3.2.2 Rendimiento en grano y sus componentes	54
3.2.3 Análisis estadísticos	55
3.3 RESULTADOS	55
3.3.1 Rendimiento en grano	55
3.3.2 Número de granos por metro cuadrado	58
3.3.2.1 Determinación del número de granos por planta	60
3.3.3 Peso del grano	64
3.3.3.1 Periodo efectivo de llenado de granos	67
3.3.3.2 Tasa de llenado de granos	69
3.3.4 Índice de cosecha	72
3.4 DISCUSIÓN	74
<u>CAPITULO 4</u> DISCUSIÓN GENERAL	81
4.1 CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS	88
4.2 CONCLUSIONES	90
4.3 APORTES AL CONOCIMIENTO	91
4.4 INVESTIGACIONES FUTURAS	92
<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	94

## ÍNDICE DE TABLAS

Contenido	Página
<u>Tabla 2.1:</u> Promedios para temperatura máxima, mínima, media, radiación fotosintéticamente activa, cociente fototermal y déficit de presión de vapor.	21
<u>Tabla 2.2:</u> Fenología del cultivo para 3 híbridos de maíz, tres densidades poblacionales y dos fechas de siembra durante dos ciclos de crecimiento.	22
<u>Tabla 2.3:</u> Radiación fotosintéticamente activa interceptada por el cultivo para para diferentes híbridos, densidades poblacionales y fechas de siembra.	29
<u>Tabla 2.4:</u> Eficiencia de uso de radiación por el cultivo para diferentes híbridos, densidades poblacionales y fechas de siembra.	33
<u>Tabla 2.5:</u> Materia seca total para dos fechas de siembra, tres híbridos y tres densidades poblacionales.	35
<u>Tabla 2.6:</u> Resumen de los efectos de los tratamientos (fecha de siembra, germoplasma y densidades) para diferentes etapas del ciclo del cultivo.	40
<u>Tabla 3.1:</u> Modelos utilizados para la estimación de biomasa por planta al inicio y al final del periodo crítico.	53
<u>Tabla 3.2:</u> Rendimiento, número y peso seco de granos e índice de cosecha durante las campañas 2009 y 2010.	56
<u>Tabla 3.3:</u> Tasa de crecimiento por planta, tasa de crecimiento de espiga y número de granos por planta.	61
<u>Tabla 3.4:</u> Parámetros de los diferentes modelos utilizados para describir las relaciones entre NGP, TCP y TCE.	62
<u>Tabla 3.5:</u> Duración de llenado de granos en días, grados día y tasa de llenado de granos .	68

## ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido	Página
<u>Figura 2.1:</u> Temperatura media del aire, promedio cada 10 días, para las siembras temprana y tardía.	18
<u>Figura 2.2:</u> Radiación fotosintéticamente activa incidente, promedio cada 10 días, para las siembras temprana y tardía .	19
<u>Figura 2.3:</u> Cociente fototermal, promedio cada 10 días, para las siembras de Agosto y Enero.	20
<u>Figura 2.4:</u> Déficit de presión de vapor, promedio cada 10 días, para las siembras de Agosto y Enero.	20
<u>Figura 2.5:</u> Interacciones entre híbridos y fechas de siembra para tiempo térmico acumulado durante las etapas fenológicas.	24
<u>Figura 2.6:</u> Índice de área foliar en función del tiempo térmico acumulado para los años 2009 y 2010.	27
<u>Figura 2.7:</u> Porcentaje de intercepción de RFA incidente en función del tiempo térmico acumulado.	28
<u>Figura 2.8:</u> Radiación fotosintéticamente activa interceptada para tres híbridos y dos fechas de siembra .	30
<u>Figura 2.9:</u> Radiación fotosintéticamente activa interceptada para dos fechas de siembra y tres densidades poblacionales.	32
<u>Figura 2.10:</u> Eficiencia de uso de la radiación para tres híbridos y dos fechas de siembra durante el periodo vegetativo.	34
<u>Figura 2.11:</u> Materia seca total a floración para el año 2010 para dos fechas de siembra, tres híbridos y tres densidades poblacionales.	36
<u>Figura 2.12:</u> Materia seca total acumulada durante el ciclo del cultivo para dos fechas de siembra y tres densidades poblacionales.	38
<u>Figura 2.13:</u> Materia seca total en función de la radiación fotosintéticamente activa interceptada.	39
<u>Figura 3.1:</u> Rendimiento en grano para dos fechas de siembra y tres híbridos de maíz.	57
<u>Figura 3.2:</u> Rendimiento a cosecha en función del número de granos por unidad de superficie.	58
<u>Figura 3.3:</u> Rendimiento en función del número de granos por m <sup>-2</sup> para tres híbridos de maíz a través de dos años de estudio.	59
<u>Figura 3.4:</u> Número de granos por planta a madurez fisiológica en función de la tasa de crecimiento por planta.	61
<u>Figura 3.5:</u> Número de granos por planta a madurez fisiológica en función de la tasa de crecimiento de espiga.	63

Contenido	Página
<u>Figura 3.6:</u> Tasa de crecimiento de espiga en función de la tasa de crecimiento por planta.	63
<u>Figura 3.7:</u> Peso de granos en función del número de granos por unidad de superficie.	64
<u>Figura 3.8:</u> Peso del grano para tres híbridos de maíz y dos fechas de siembra en las campañas 2009 y 2010.	65
<u>Figura 3.9:</u> Peso de granos en función de la tasa de crecimiento del cultivo por grano durante el periodo crítico.	66
<u>Figura 3.10:</u> Peso de granos en función de la materia seca por grano durante el periodo post floración – madurez fisiológica.	66
<u>Figura 3.11:</u> Peso de granos en función de la tasa de llenado de granos.	70
<u>Figura 3.12:</u> Tasa de acumulación de materia seca en grano durante la fase lineal de llenado de grano.	71
<u>Figura 3.13:</u> Tasa de acumulación de materia seca en grano durante la fase lineal de llenado .	72
<u>Figura 3.14:</u> Rendimiento en grano en función de la materia seca aérea a madurez fisiológica.	72
<u>Figura 3.15:</u> Índice de cosecha para tres densidades poblacionales y dos fechas de siembra durante las campañas 2009 y 2010.	73
<u>Figura 3.16:</u> Efecto de los tratamientos sobre el rendimiento.	74
<u>Figura 4.1:</u> Resumen de los tratamientos y su efecto sobre el desarrollo para el año 2009.	83
<u>Figura 4.2:</u> Resumen de los tratamientos y su efecto sobre el desarrollo para el año 2010.	84
<u>Figura 4.3:</u> Resumen de los tratamientos y su efecto sobre el rendimiento en grano y sus componentes para el año 2009.	86
<u>Figura 4.4:</u> Resumen de los tratamientos y su efecto sobre el rendimiento en grano y sus componentes para el año 2010.	87

## GLOSARIO DE ABREVIATURAS

FS: fecha de siembra

TR: tropical

TE: templado

TXT: tropical \* templado

pl m<sup>-2</sup>: plantas por metro cuadrado

RFAinc: radiación fotosintéticamente activa incidente

Q: cociente fotothermal

NG: número de granos

PG: peso de granos

IAF: índice de área foliar

ASI: antesis–silking interval

MF: madurez fisiológica

°C d: grados día

ei: eficiencia de intercepción

RFA: radiación fotosintéticamente activa

DPV: déficit de presión de vapor

Pcr: periodo crítico

TT: tiempo térmico

GER: germoplasma

NS: no significativo

DEN: densidad

Em: emergencia

Fl: floración

RFAInt: radiación fotosintéticamente activa interceptada

K: Coeficiente de extinción

EUR: eficiencia de uso de la radiación

MS: materia seca

TCP: tasa de crecimiento por planta

TCE: tasa de crecimiento por espiga

IC: índice de cosecha

NGP: número granos por planta

## RESUMEN

El rendimiento potencial del maíz está controlado por el ambiente fototérmico explorado por el cultivo. El número de granos (NG), es el principal componente del rendimiento en cereales y está estrechamente ligado a factores ambientales, de manejo y genotípicos. Utilizando riego este cultivo puede implantarse en Santiago del Estero desde Agosto hasta Enero, ya que existen condiciones adecuadas para obtener altos rendimientos. Sin embargo, no es bien conocido para esta región el efecto de la fecha de siembra, la densidad poblacional, el cultivar (considerando germoplasma de distinto origen) y sus interacciones sobre el desarrollo, crecimiento y rendimiento de maíz, así como tampoco los mecanismos involucrados en la respuesta a modificaciones en las variables mencionadas. Se implantaron ensayos con el objetivo de determinar los efectos de cultivares de distinto fondo genético, épocas de siembra y densidades poblacionales sobre el desarrollo, crecimiento, producción y partición de materia seca, rendimiento en grano y sus componentes ecofisiológicos y numéricos. Asimismo se estudiaron los mecanismos involucrados en la respuesta del rendimiento del cultivo a los tratamientos señalados. La mejor época de implantación para el cultivo fue Agosto, debido a la mayor radiación a la que estuvo expuesto. A través de ambas fechas de siembra el germoplasma que mayor rendimiento alcanzo fue híbrido tropical x templado (TXT) por medio de un número de granos por planta intermedio y un alto peso de granos. Las densidades más altas fueron las que mejores rendimientos generaron para todos los híbridos. La eficiencia en la fijación del NG por planta por unidad de tasa de crecimiento por planta presento diferencias entre los germoplasmas, donde el híbrido templado presento la mayor eficiencia, TXT fue intermedia y tropical la más baja.

Palabras clave: Zea mayz, L., fecha de siembra, germoplasma, densidad, eficiencia en la fijación, número de granos.

## **SUMMARY**

Potential grain yield of corn is determined by photothermal environment along the growing cycle. Kernel number (KN) per unit area is the main grain yield component of corn and could be modified by environmental, agronomic and genetic factors. Under irrigation conditions, corn could be planted in Santiago del Estero, Northwestern Argentina, since August until January, due to there are adequate environmental conditions which allow high grain yields. Nevertheless, it is not well known for this region the individual and combined effects of planting dates, population's densities and hybrids with different genetic background and their interactions on corn development, growth and grain yield, as well as the main mechanisms involved in these responses. Trials were conducted during 2009 and 2010 to study the effects of planting dates, population densities and germplasm on corn development, growth and grain yield and its ecophysiological and numeric components. The main mechanisms involved these responses and dry matter partitioning were also studied. The best planting date was August due to higher solar radiation availability around flowering. Through both planting dates the hybrid that showed the higher grain yield was tropical x temperate (TXT) by an intermediate number of grains per plant and a high grain weight. The higher population density produced the best grain yields for all the hybrids. The reproductive efficiency expressed as KN per plant per unit of plant growth rate present differences among germplasm, where the hybrid temperate showed the highest efficiency, TXT was intermediate and tropical the lowest.

Key words: *Zea mayz*, L., planting dates, germplasm, population's densities, reproductive efficiency, kernel number.

# CAPÍTULO 1

## 1.1 INTRODUCCIÓN

Se espera que la demanda mundial de alimentos se triplique para el año 2050 (Green et al. 2005; Gepts 2006; Gowing y Palmer 2008; Stuber y Hancock 2008). El maíz (*Zea mays* L.) es cultivado en todo el mundo tanto para grano como para forraje. Según datos de FAO, el maíz junto con el arroz y el trigo, es uno de los tres cereales más importantes del mundo para alimentación humana y animal (FAOSTAT, 2011), constituyendo un tercio de la producción mundial de cereales. Esta última fue de 2554 millones de toneladas en 2014 y se prevé que alcance 3000 millones de toneladas para el 2050. Esta cifra resultaría insuficiente para abastecer la demanda mundial, por lo que es necesario alcanzar mayores incrementos en la producción como resultado de sistemas de producción más eficientes y sustentables y esfuerzos integrados de genetistas, fisiólogos y agrónomos (FAO, 2009).

Argentina ocupa el sexto lugar en el mundo como productor de maíz, con 19 millones de toneladas anuales, sin embargo es el segundo exportador mundial, después de Estados Unidos, con 70% de su producción destinada a este fin (Fischer et al., 2014).

El área de riego del Río Dulce se ubica en la meseta que se extiende a ambos márgenes del mismo en la provincia de Santiago del Estero. Dicha área se caracteriza por presentar un clima semiárido sub cálido, altas temperaturas con grandes amplitudes diarias y estacionales, escasez de precipitaciones, alta evapotranspiración y balance hídrico negativo (Jañez et al., 1990).

Los meses de primavera presentan temperaturas medias que varían entre los 17 y 23 °C, mientras que en los meses de verano, la temperatura oscila entre los 26 a 28 °C, registrándose máximas absolutas de hasta 47 °C. El periodo libre de heladas comprende

unos 270 días, con un promedio de 10 heladas por año, que pueden ocurrir entre el 20 de mayo y el 28 de Agosto (Cáceres, 1986).

Utilizando riego, el cultivo de maíz puede ser implantado en el área del Río Dulce desde el mes de Julio hasta el mes de Enero, ya que existen condiciones adecuadas para el crecimiento, desarrollo y rendimiento del mismo. Sin embargo, las altas temperaturas constituyen una de las limitantes más importantes para los cultivos en el centro-norte del país, lo que determina dos estrategias posibles de siembra para la obtención de altos rendimientos. La primera plantea una siembra muy temprana (Julio-Agosto), con el consecuente aumento del riesgo de heladas tardías, mientras que la segunda propone una siembra tardía en Diciembre para conseguir que la etapa reproductiva (floración y llenado de grano) ocurra con posterioridad a los periodos de altas temperaturas (Maddonni, 2012).

En ambientes tropicales el rendimiento de maíz se encuentra limitado por destinos reproductivos (Andrade, 1992). La menor productividad del cultivo en dichos ambientes, comparada con zonas templadas, se debe a diferentes factores entre los que se incluyen días cortos, un periodo de crecimiento de menor duración, baja intensidad de radiación a causa de la nubosidad, y temperaturas más altas, principalmente durante la noche. Adicionalmente, el estrés producido por factores bióticos y abióticos generalmente es más severo (Edmeades et al., 1996; Paliwal et al., 2001).

La fecha de siembra temprana puede incrementar el riesgo de estrés térmico-hídrico durante la floración y el llenado de granos. El cultivo de maíz, es más susceptible a reducciones de fuente durante la floración que durante el llenado de granos en zonas templado cálidas y cálidas (Andrade, 1995). Durante este último periodo el estrés no afecta el número de granos, disminuye el peso de los mismos y aumenta la removilización de reservas almacenadas en tallos (Uhart y Andrade, 1991) tornando al

cultivo más susceptible al vuelco y quebrado. El maíz presenta poca capacidad para compensar pérdidas en el número de granos con aumentos en el peso de estos, lo cual hace crítica la etapa donde se define el número de granos (Vega y Andrade, 2002).

La fecha de implantación tardía incrementa la presión de plagas y enfermedades sobre el cultivo, factores que pueden limitar de manera importante el logro de altos potenciales productivos (MAIZAR, 2007). La disminución en la longitud del ciclo, producto del retraso en la fecha de siembra, reduce el aprovechamiento de la radiación solar, pese a que la intensidad de la misma aumenta a medida que se acerca el solsticio de verano. Por otro lado al retrasar la siembra aumenta la velocidad de aparición y expansión foliar debido a mayores temperaturas durante la etapa vegetativa, lo cual permite un rápido establecimiento del canopeo y una eficiente intercepción de la radiación en dicha etapa (Cirilo y Andrade, 1994a).

Los cultivares utilizados en siembras de Diciembre en el área de riego del Río Dulce son en su mayoría tropicales, mientras que en fechas de siembra tempranas se emplean híbridos templados por su alto potencial productivo, aunque estos son más sensibles a altas temperaturas y presión de plagas y enfermedades. Existe escasa información sobre las ventajas y desventajas de utilizar cultivares templados ó tropicales. Muchos productores de la región, extrapolan las prácticas de manejo realizadas en el centro – sur del país donde se utilizan híbridos templados por su mayor potencial de rendimiento.

El mejoramiento genético en maíces templados incrementó el rendimiento y su estabilidad, permitiendo su adaptación a una amplia ventana de siembra en la región pampeana (Septiembre – Diciembre), aunque con disminuciones en el rendimiento al atrasar la fecha de implantación (Valentinuz, 1997, Cirilo y Andrade 1994b). Así, los cultivares templados presentan densidades óptimas por encima de  $7 \text{ pl m}^{-2}$ , índices de cosecha que exceden 0,50 y el cultivo dedica más del 60% del tiempo al llenado de

grano (Duvick, 1977; Russell, 1984, 1985; Costa et al., 2002; Earl y Davis, 2003). En estos híbridos el desarrollo se inicia a aproximadamente 8 °C, el óptimo se obtiene con valores cercanos a 30 °C (Andrade et al., 1996), y la fotosíntesis es mínima a 10 °C y alcanza valores máximos entre 26 y 32 °C (Duncan y Hesketh, 1968; Larcher, 1980). Los maíces templados han sido mejorados en su capacidad para tolerar estrés por deficiencias en nitrógeno y competencia con malezas (Tollenaar et al., 1997). Para algunos autores, el incremento en el rendimiento de maíz se atribuye mas a la tolerancia a condiciones de estrés abiótico que al rendimiento potencial per se (Duvick, 1977, 1984, 1992; Briggs, 1998; Cassman, 1999; Tollenaar and Lee, 2002; Duvick et al., 2004). Se ha demostrado que el mejoramiento alteró la relación entre el número de granos (NG) y la tasa de crecimiento por planta (TCP) (Tollenaar et al., 1992), disminuyendo el umbral de TCP para fijar granos e incrementando NG potencial y NG por unidad de TCP (Echarte et al., 2001).

Las ganancias de rendimiento en maíces tropicales, generalmente de porte alto, abundante follaje y ciclo largo de crecimiento, fueron explicadas por mejoras en la distribución de la materia seca y en el índice de cosecha reduciendo la altura de planta, el follaje y el ciclo (Fischer y Palmer, 1984; Pandey y Gardner, 1992; Bolaños y Edmeades, 1993; Abadassi y Hervé, 2000; Abadassi, 2015). Asociado a estos cambios, se incrementó también la tolerancia a mayores densidades (Fischer y Palmer, 1984; Paterniani, 1990). El proceso fotosintético en estos cultivares alcanza su máximo a temperaturas entre 30 a 38 °C (Norman et al., 1995) al igual que la eficiencia de conversión de la radiación solar en materia seca, que se incrementa en forma lineal entre los 20 y 38 °C, y declina entre los 38 y 44 °C (Fischer y Palmer, 1984; Hay y Walker, 1989). Así, ante situaciones de estrés térmico, cultivares tropicales han presentado un mejor comportamiento que cultivares templados (Rattalino y Otegui, 2012).

Para maíces tropicales cultivados en densidades de  $5,3 \text{ pl m}^{-2}$  se han reportado valores de índice de cosecha de entre 0,40 a 0,48 (Moser et al., 2006), este parámetro presenta gran variación y depende del híbrido, manejo del cultivo y condiciones de estrés (Hay y Gilbert, 2001).

Los híbridos tropicales modernos muestran también mayor resistencia al vuelco, enfermedades y plagas (Wright y Prichard, 1988; Dowsell et al., 1996). Sin embargo, algunas características como sensibilidad a bajas temperaturas en fechas tempranas, tolerancia a altas densidades e índice de cosecha, deben continuar mejorándose.

Se han desarrollado híbridos comerciales cruzando líneas templadas con tropicales, procurando combinar las características asociadas con el alto potencial de rendimiento de los primeros con aquellas asociadas a la mayor adaptación a ambientes tropicales de los segundos (Griffing y Lindstrom, 1954; Abadassi y Hervé, 2000; Vasic et al., 2006; Whitehead et al., 2006; Fischer et al., 2014). Los híbridos que combinen las características favorables de ambos tipos de germoplasma pueden presentar una mayor adaptación a la totalidad de la ventana de siembra en zonas tropicales y subtropicales (Metzler et al., 2007). No obstante, estudios realizados en zonas templadas registraron rendimientos en grano similares para genotipos templados y tropicales, bajo condiciones no limitantes y densidades poblacionales de  $9 \text{ pl m}^{-2}$  (Rattalino y Otegui, 2012).

Los óptimos poblacionales para híbridos tropicales, tropicales x templados y templados no son generalmente similares, debido a diferencias en la competencia vegetativa-reproductiva, plasticidad reproductiva, partición de materia seca hacia granos y tolerancia a estrés.

El maíz es uno de los cultivos más afectados por variaciones en la densidad poblacional (Fancelli y Dourado-Neto, 2000; Vega et al., 2001a). Este factor de manejo presentó grandes cambios durante las últimas seis décadas, con un incremento en la tolerancia a

altas poblaciones en los nuevos híbridos (Tollenaar and Lee, 2002). Un adecuado manejo de esta variable es clave para aumentar el rendimiento en grano de maíz (Duvick, 2005; Fasoula y Fasoula, 1997, 2000; Tokatlidis y Koutroubas, 2004). En el área de riego del Río Dulce, los productores utilizan densidades poblacionales que varían entre 5 a 7 pl m<sup>-2</sup> y es escasa la información que permita establecer la densidad óptima para los sistemas productivos de maíz. El óptimo poblacional depende de la calidad del ambiente (agua, nutrientes, radiación solar, etc.) y de las características del híbrido (estructura de planta, tolerancia a estrés, etc.) (Andrade et al, 1996; Argenta et al., 2001; Echarte et al., 2000; Maddonni et al., 2001). La comprensión de los mecanismos involucrados en la tolerancia a altas densidades y al estrés en general tiene gran importancia para incrementar el rendimiento de maíz (Sangoi, 2001). La mayor tolerancia a estrés y a altas densidades poblacionales en híbridos modernos está asociada a una menor cantidad de biomasa mínima para fijar granos, a una mayor respuesta de NG por unidad de TCP (Echarte y Andrade, 2003), a incrementos en la eficiencia de uso de nitrógeno (McCullough et al., 1994), mayor tasa fotosintética (Dwyer et al., 1991) y mayor tolerancia a condiciones de estrés hídrico (Dwyer et al., 1992).

El número de granos es el principal componente del rendimiento y se encuentra estrechamente ligado a factores genéticos, ambientales y de manejo (Egli, 1998). El híbrido, la fecha de siembra y la densidad poblacional afectan el número máximo de granos fijados en maíz (Cirilo and Andrade, 1994b; Otegui and Melón, 1997; Otegui, 1997). El rendimiento en grano de un cultivo de maíz, es el resultado de la producción de cada planta individual. Varios autores han registrado reducciones en el rendimiento por planta e incrementos en su variabilidad cuando el cultivo sufrió estrés abiótico (luz, agua y nutrientes) con diferente respuesta entre genotipos. (Edmeades y Daynard, 1979;

Vega y Sadras, 2003; Maddonni y Otegui, 2006; Boomsma et al., 2009; Caviglia y Melchiori, 2011; Mayer et al., 2012, Maddonni y Otegui, 2004; Pagano y Maddonni, 2007).

El número de granos fijados y por lo tanto, el rendimiento por planta, está fuertemente relacionado con la tasa de crecimiento por planta durante el periodo crítico alrededor de floración (Vega et al., 2001b). A su vez, la acumulación de materia seca en la espiga alrededor de floración, depende de la tasa de crecimiento por planta en dicho periodo y de la partición de fotoasimilados hacia este órgano (Andrade et al., 1999; Vega et al., 2001a; Echarte et al., 2004). La eficiencia reproductiva por planta puede definirse como la relación entre el número de granos a madurez fisiológica y la tasa de crecimiento de espiga durante el periodo crítico (Vega et al., 2001a). Diferencias en la partición de biomasa a espiga fueron informadas para líneas e híbridos de maíz (Echarte et al., 2004; Echarte y Tollenaar, 2006; Pagano y Maddonni, 2007; D'Andrea et al., 2008) e incluso entre versiones transgénicas y no transgénicas de un mismo híbrido (Laserna et al., 2012). No obstante, estudios realizados en ambientes templados con híbridos de distinto fondo genético, determinaron valores similares de granos fijados por unidad de tasa de crecimiento por planta y por espiga durante el periodo crítico de determinación del rendimiento (Rattalino y Otegui, 2013). Son escasos los trabajos que han comparado el comportamiento de cultivares tropicales y templados en los aspectos anteriormente mencionados, siendo menor aun, la información disponible en ambientes tropicales.

Para el área de riego de Santiago del Estero no es bien conocido el efecto de la fecha de siembra, la densidad poblacional y el cultivar (tropical, tropical x templado y templado) sobre el desarrollo, crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz y es escasa la información sobre los principales mecanismos involucrados en dichos efectos.

## **1.2 Hipótesis:**

1. Existen interacciones entre fecha de siembra, cultivares de maíz (tropical, tropical x templado y templado) y densidad poblacional para el desarrollo, rendimiento en grano y sus componentes ecofisiológicos y numéricos en el área de riego del Río Dulce, Santiago del Estero.

2. Los cultivares templado y tropical x templado presentan rendimientos más altos en siembras tempranas y altas densidades poblacionales, mientras que el tropical lo hace en siembras tardías y densidades medias. Los rendimientos máximos se logran con el cultivar templado a alta densidad en fechas tempranas.

3. La eficiencia en la fijación de granos por unidad de tasa de crecimiento por planta y los granos fijados por unidad de tasa de crecimiento de espiga es mayor en el híbrido templado, intermedia en el tropical x templado y menor en el tropical.

## **1.3 Objetivos generales**

\* Determinar para el cultivo de maíz en el área de riego del Río Dulce de Santiago del Estero, los efectos de época de siembra, germoplasma y densidad de plantas sobre el desarrollo, crecimiento y rendimiento en grano y sus componentes.

\* Estudiar los mecanismos involucrados en la determinación del rendimiento a través de las relaciones entre número granos por planta, tasa de crecimiento por planta y tasa de crecimiento por espiga.

## CAPÍTULO 2

### DESARROLLO Y CRECIMIENTO DEL CULTIVO

#### 2.1 INTRODUCCIÓN

La duración de las fenofases del cultivo de maíz está regulada por factores ambientales (temperatura y fotoperíodo) (Andrade, 1992; Bonhomme et al., 1991; Cirilo, 1995; Lafitte y Edmeades, 1997) y por factores genéticos (Derieux y Bonhomme, 1982; Derieux y Bonhomme, 1986; Lafitte y Edmeades, 1997). La producción de biomasa total de un cultivo está determinada por la radiación solar incidente, la capacidad del canopeo para interceptarla y la eficiencia de conversión con que la misma es transformada en materia seca (Gallagher, 1978; Monteith, 1972). La integración de la tasa de crecimiento del cultivo a través del tiempo, da como resultado la acumulación de biomasa por parte del mismo. Finalmente, el rendimiento en grano está determinado por la biomasa total acumulada y por la partición de la misma hacia destinos reproductivos (Gifford y Evans, 1981; Andrade et al., 1996).

Las fechas de siembra modifican la duración del período vegetativo, que tiende a prolongarse en siembras tempranas y a acortarse en las tardías (Andrade et al., 1996). Los cambios en la duración de las etapas fenológicas y en los momentos en que estas ocurren, modifican la oferta térmica y lumínica, y el crecimiento y rendimiento del cultivo.

El retraso de la fecha de siembra acelera el desarrollo del cultivo debido a las altas temperaturas que ocurren durante la etapa vegetativa (Cirilo et al., 1992). Si bien el fotoperíodo es de mayor duración en etapas iniciales y los días largos disminuyen la tasa de desarrollo en genotipos sensibles, el incremento de la temperatura en las fases iniciales tiene un mayor impacto sobre el desarrollo acortando los días a floración

(Andrade y Cirilo, 2002). La radiación incidente sobre el canopeo disminuye a medida que progresa la estación de crecimiento, particularmente luego de ocurrida la floración. Este efecto aumenta a medida que se incrementa la latitud (Andrade y Cirilo, 2002). Por lo tanto, la radiación interceptada durante la fase reproductiva disminuye con el retraso de la siembra, generando una mayor tasa de acumulación de materia seca pre floración que post floración, mientras que lo opuesto sucede cuando el cultivo es implantado en fechas tempranas (Andrade y Cirilo, 2002).

Las siembras tardías ubican al periodo reproductivo del maíz no solo en momentos de menor radiación si no también de menor temperatura, disminuyendo el rendimiento potencial del cultivo (Duncan et al., 1973; Knapp y Shaw Reid, 1981; Cirilo y Andrade, 1994b). Existe abundante información sobre la respuesta del desarrollo y crecimiento del cultivo de maíz ante cambios de factores de manejo en zonas templadas, pero son escasos los estudios sobre estos temas en regiones tropicales.

La respuesta de la velocidad de desarrollo a la temperatura es aproximadamente lineal entre una temperatura base, a la cual la velocidad de desarrollo es nula y una temperatura óptima, donde el desarrollo ocurre a velocidad máxima (Warrington y Kanemasu, 1983a; Ellis et al., 1992). Los valores de temperatura base para maíz varían entre 6 °C (Bloc y Gouet, 1976; Derieux y Bonhomme, 1986) y 10°C (Cross y Zuber, 1972; Brown, 1976; Tollenaar et al., 1979), sin embargo, los modelos más difundidos utilizan una temperatura base de 8°C (Jones y Kiniry, 1986; Kiniry y Bonhomme, 1991; Kiniry, 1991). La temperatura óptima por encima de la cual el desarrollo deja de aumentar se ubica entre 30 y 34°C (Gilmore y Rogers, 1958, Blacklow, 1972; Tollenaar et al., 1979; Kiniry y Bonhomme, 1991). Varios autores, han reportado variaciones entre cultivares templados y tropicales, en cuanto a los rangos de temperaturas base, óptimas y máximas (Capítulo 1). Sin embargo, en trabajos realizados recientemente en

una zona templada con híbridos templados y tropicales se han reportado valores similares de temperaturas óptimas de desarrollo (Rattalino et al., 2011, Rattalino y Otegui, 2012). Los maíces tropicales registran ciclos más largos, mayor altura de planta, área foliar y tamaño de panoja que los templados (Johnson et al., 1986; Fischer y Palmer, 1984; Rattalino y Otegui, 2012).

La densidad de plantas es clave para optimizar la productividad del cultivo de maíz. La captación de radiación solar por el canopeo es función del índice de área foliar (IAF). Debe alcanzarse un valor crítico del 95% de radiación interceptada (RFAInt) para asegurar la máxima tasa de crecimiento del cultivo y el máximo rendimiento (Gardner et al., 1985; Varlet-Grancher, 1982). El manejo adecuado de la densidad poblacional permite alcanzar el nivel óptimo de RFAInt al inicio del periodo crítico de determinación del número de granos y del rendimiento (Vega y Andrade, 2002).

La RFAInt depende de la arquitectura del canopeo (Boote y Loomis, 1991) y del tamaño, forma y orientación de las hojas. El efecto de la arquitectura del canopeo en la atenuación lumínica puede ser estimado por medio de una función exponencial que incluye valores de IAF y del coeficiente de extinción de la radiación solar ( $k$ ) (Jones y Kiniry, 1986; Flénet et al., 1996). Se ha demostrado para diferentes genotipos y estructuras de planta que la principal fuente de asimilados para el llenado de granos proviene de la hojas ubicadas en el tercio superior de la planta y aquellas próximas a la espiga (Subedi and Ma, 2005, He et al., 2003; Pommel et al., 2006).

El maíz tiene una muy baja capacidad para ajustar el área foliar por planta ante cambios en el número de individuos por  $m^{-2}$  (Tetio-Kagho y Gardner, 1988a), debido a un relativamente estable número de hojas y tasa de expansión foliar. Además, la mayor parte de los genotipos mejorados poseen una baja capacidad de macollaje (Doebley et al., 1997). Es por esto, que ante cambios en la densidad poblacional, el IAF presenta

importantes variaciones (Williams et al., 1968; Cox, 1996). El maíz presenta alta respuesta a aumentos en el número de plantas por unidad de superficie expresada tanto en RFAint como en materia seca y rendimiento en grano (Valentinuz, 1996).

La densidad óptima en maíz depende del híbrido y del ambiente. Los híbridos pueden presentar diferencias en la arquitectura del canopeo (Maddonni y Otegui, 1996), la tolerancia al estrés, el número de granos fijados por unidad de tasa de crecimiento de planta y el umbral de esta última para producir granos. A medida que la oferta de recursos aumenta, el óptimo poblacional también lo hace (Andrade et al, 1996).

### **2.1.1 HIPÓTESIS RELACIONADAS ESTE CAPÍTULO:**

Existen interacciones entre fecha de siembra, cultivares de maíz (tropical, tropical x templado y templado) y densidad poblacional para el desarrollo, rendimiento en grano y sus componentes ecofisiológicos y numéricos en el área de riego del Río Dulce, Santiago del Estero.

### **2.1.2 OBJETIVOS DEL CAPÍTULO**

Determinar para el área de riego del Río Dulce el efecto del germoplasma (tropical, tropical x templado y templado), fechas de siembra y densidades poblacionales sobre el desarrollo, crecimiento y producción de materia seca del cultivo de maíz.

## **2.2 MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.2.1 Sitio experimental y manejo del cultivo**

El ensayo se llevó a cabo durante los años 2009 y 2010 en la Estación Experimental INTA Santiago del Estero (28° 03' LS; 64° 15' LW; 169 m.s.n.m), Argentina. Los mismos se realizaron sobre un suelo franco limoso, perteneciente a la serie "La María",

con un pH de 6,3; 2,4 % de materia orgánica, 14 ppm de fósforo en los primeros 20 cm de profundidad (Angueira y Zamora, 2007) y 25 años de labranza convencional. Los experimentos fueron sembrados el 13 y 17 de Agosto de 2009 y 2010, para la FS temprana y el 15 y 13 de Enero de 2009 y 2010, para la FS tardía. Se utilizaron híbridos representativos del germoplasma tropical (TR): MASS 636 Hx (origen Brasil, híbrido simple, Suwan x Tuxpeño), templado (TE): DUO 546 Hx (origen Argentina, híbrido simple, SSS x NSSS) y tropical x templado (TXT): 2A120 Hx (origen Brasil, híbrido simple Cateto x SSS) adaptados a la región del Noroeste Argentino (NOA).

Las siembras se realizaron en forma manual, con dos semillas por golpe para luego ralea en V2 (Ritchie y Hanway, 1982) dejando la densidad establecida para cada tratamiento (5; 6,5 y 8 pl m<sup>-2</sup>). Las malezas se controlaron mediante la aplicación de 1,5 lts ha<sup>-1</sup> de atrazina en pre emergencia del cultivo, y manualmente, cuando fue necesario, en estados más avanzados del cultivo. El ensayo se condujo bajo condiciones no limitantes de agua y nutrientes. Se aplicaron riegos que sumaron 600 mm de agua durante el ciclo del cultivo, y se incorporaron 200 kg ha<sup>-1</sup> de fosfato diamónico previo a la implantación y 800 kg ha<sup>-1</sup> de urea divididos en dos momentos, V2 y V9. El control de insectos de suelo se realizó mediante tratamiento de semilla con Clothianidin (0,3 cm<sup>3</sup> por cada 1000 semillas). Los insectos que atacan la parte aérea del cultivo no ocasionaron daños de importancia, ya que la principal plaga de la región, *Spodoptera frugiperda*, fue controlada eficientemente por los híbridos transgénicos HX. No se realizaron aplicaciones de fungicidas para el control de enfermedades.

### **2.2.2 Tratamientos y diseño experimental**

Se utilizó un diseño en parcelas divididas con la fecha de siembra como parcela principal y la combinación factorial de densidad e híbridos como subparcela. La parcela principal se dispuso en bloques completos al azar con tres repeticiones, la unidad

experimental estuvo compuesta por 8 surcos de 12 mts de largo, distanciados a 0,52 mts (50 mts<sup>2</sup>). En cada parcela se dejaron los surcos externos como bordura (primero y último) y los muestreos se realizaron evitando el primero y el último metro dentro de la parcela, con lo que la superficie útil estuvo compuesta por 6 surcos de 10 metros de largo.

### **2.2.3 Variables meteorológicas.**

Se registraron los valores de temperatura media, mínima y máxima diaria, humedad relativa del aire, precipitaciones, radiación global y evapotranspiración potencial (Penman-FAO) utilizando una estación Weather Monitor II (Davis Instruments, CA, USA) ubicada a 500 mts del lote donde fue conducido el experimento. La radiación global fue convertida en radiación fotosintéticamente activa incidente (RFA<sub>inc</sub>) utilizando el coeficiente 0,48 (Varlet Grancher, 1982).

Se calcularon los valores del cociente fototermal (Q), de acuerdo a la siguiente fórmula (Andrade et al., 1992):

$$Q = R_{t_{inc}} \cdot (T_{med} - 8 \text{ } ^\circ\text{C})^{-1}$$

Donde  $R_{t_{inc}}$  es la radiación total diaria incidente y  $T_{med}$  es la temperatura media diaria (medida en  $^\circ\text{C}$ ).

### **2.2.4 Fenología**

Se determinaron la fechas de 50% de emergencia de plantas, antesis (50% de plantas liberando polen) y floración (50% de plantas con estigmas visibles), las dos últimas sobre 15 plantas por parcela. A partir de estos datos se calculó el intervalo entre antesis y estigmas para cada parcela (ASI: antesis – silking interval).

La fecha de madurez fisiológica (MF) se determinó cuando los granos de la parte media de la espiga presentaron “capa negra”. Los muestreos se realizaron cada tres días

tomando 5 granos por espiga de 4 espigas por unidad experimental, marcadas a tal efecto.

Para el cálculo del tiempo térmico (TT) diario se utilizó el método residual, que resta a la temperatura media diaria, el valor base de crecimiento de 8 °C (Jones y Kiniry, 1986; Otegui et al., 1996; Birch et al., 2003; Capristo et al., 2007; Tsimba et al., 2013), siendo el modelo:

$$TT = ((T_{max} - T_{min}) \cdot 2^{-1}) - 8 \quad (\text{ecuación 1})$$

El método descripto no tiene en cuenta el valor térmico máximo (Tmax) a partir del cual el desarrollo puede detenerse ó retrasarse, por lo que este modelo puede determinar valores incorrectos en ambientes tropicales. Para evitar esto, se utilizo el modelo de corrección de la temperatura máxima diaria cada vez que se registraron valores por encima de 33 °C, de acuerdo con los resultados obtenidos por Rattalino et al. (2011); utilizando el modelo propuesto por Bonhomme et al. (1994):

$$T_{maxc} = 33 - (T_{max} - 33) \quad (\text{ecuación 2})$$

Donde, T<sub>maxc</sub> es la temperatura máxima diaria corregida y T<sub>max</sub> es la temperatura máxima registrada en la estación meteorológica.

### **2.2.5 Caracterización del crecimiento**

Se determinó la materia seca de hojas, tallos + vainas, espiga + grano, grano y chalas, en los estadíos fenológicos V11 (pre floración), floración, 15 después de floración (post floración) y madurez fisiológica (espiga + grano en postfloración y MF, grano en MF). Las muestras incluyeron 5 plantas por unidad experimental. Las mismas se secaron en estufa con circulación forzada de aire (65° C) hasta peso constante.

El índice de área foliar (IAF) se estimó para diferentes momentos del ciclo del cultivo (V6, V11, pre floración, floración, post floración y MF) mediante el uso del modelo

alométrico propuesto por Fournier y Andrieu (1998), utilizando 5 plantas por parcela para realizar las mediciones:

$$Y(n)/Y_M = \exp [a(n/n_M - 1)^2 + b(n/n_M - 1)^3]$$

Donde  $Y(n)$  es el área foliar de la hoja de posición  $n$ ,  $Y_M$  y  $n_M$  son el área y la posición de la hoja de mayor tamaño, respectivamente,  $a$  y  $b$  son dos parámetros los cuales pueden ser estimados a través de los siguientes modelos:

$$a = -10,61 + 0,25 N_t$$

$$b = -5,99 + 0,27 N_t$$

Donde  $N_t$  es el número total de hojas de la planta. Las mediciones de la hoja de mayor tamaño (nudo de la espiga) fueron realizadas con un medidor de área foliar (Laser Área Meter CI 203, CID, Inc.).

El coeficiente de extinción ( $k$ ) fue estimado para el momento de floración a partir de:

$$k = [-\ln(1 - RFA_{int} / RFA_{inc})] / IAF$$

Donde  $RFA_{int}$  y  $RFA_{inc}$  son la radiación fotosintéticamente activa interceptada e incidente, respectivamente y  $IAF$  es el índice de área foliar (Monsi y Saeki, 1953).

### **2.2.6 Componentes ecofisiológicos del crecimiento**

Los valores de radiación fotosintéticamente activa interceptada por el cultivo ( $RFA_{int}$ ) se obtuvieron utilizando un radiómetro LI-COR 188 B conectado a un sensor cuántico lineal LI-COR 191 SB (LI-COR Inc. Lincoln, NE). Se realizaron 5 mediciones por parcela entre las 11.30 y 14.00 hs, en días soleados, de acuerdo a la metodología propuesta por Gallo y Daughtry (1986). El porcentaje de  $RFA_{int}$  ó eficiencia de intercepción ( $e_i$ ) se calculó como  $[1 - (I_t / I_0)] \times 100$  donde  $I_t$  es la RFA medida entre el suelo y la primera hoja verde e  $I_0$  es la  $RFA_{inc}$  por encima del cultivo. La radiación global se registró mediante un piranómetro emplazado en el sitio experimental, utilizando un coeficiente de 0,48 para transformar los valores en radiación

fotosintéticamente activa (Varlet Grancher, 1982). Se realizaron mediciones de intercepción de radiación cada 20 – 25 días y los valores para todo el periodo se estimaron por interpolación lineal.

La eficiencia de conversión de la RFAInt en materia seca se calculó como el cociente entre la materia seca producida por el cultivo y RFAInt para las etapas V11 – floración, floración – madurez fisiológica y V11 – madurez fisiológica. La primera etapa representa la eficiencia de conversión para el periodo vegetativo, la cual fue calculada asumiendo que durante este periodo la relación entre acumulación de materia seca y RFAInt fue lineal.

### **2.2.7 Análisis estadísticos**

Las variables de interés fueron evaluadas mediante ANOVA. Las medias se compararon utilizando la prueba de la diferencia mínima significativa (DMS) considerando un nivel de significancia del 5%. Todos los análisis se realizaron utilizando el software InfoStat (Di Rienzo et al., 2011).

## **2.3 RESULTADOS**

Se presenta el efecto de los tratamientos sobre la producción de MS a través de sus componentes: desarrollo ó duración del ciclo del cultivo y crecimiento. Este último será analizado considerando sus componentes ecofisiológicos:

$$MS = RFAinc * EI * EUR$$

Donde MS: materia seca aérea, RFAinc: radiación fotosintéticamente activa incidente  
EI: eficiencia de intercepción de RFAinc y EUR: eficiencia de uso de RFAInt durante el ciclo del cultivo.

### 2.3.1 CONDICIONES DE CRECIMIENTO

La temperatura media del aire durante el ciclo del cultivo para la FS temprana (Agosto – Enero) fue de 22,3 °C y 21,3 °C en los años 2009 y 2010, respectivamente. Estos registros fueron superiores a los valores correspondientes a la serie histórica 1989/2007 donde el promedio fue de 20,7 °C. Las temperaturas medias del ciclo del cultivo para la siembra tardía (Enero – Mayo) registradas para los años 2009 y 2010 promediaron 22,4 °C y 21,4 °C, respectivamente, siendo estas también superiores al promedio de 20,9 °C correspondiente a la serie histórica 1989 – 2007 (Figura 2.1).

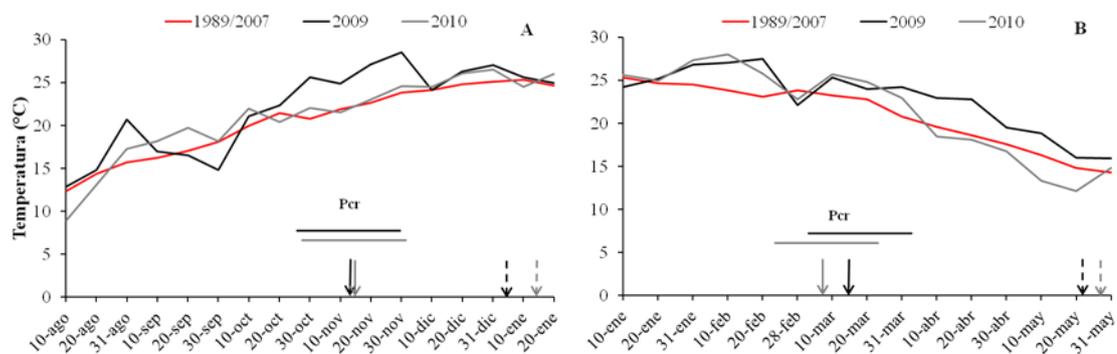


Figura 2.1: Temperatura media del aire, promedio cada 10 días, para las siembras temprana y tardía (A y B, respectivamente) durante las campañas 2009, 2010 y el periodo 1989/2007. Las flechas continuas indican floración, las flechas de línea cortada indican madurez fisiológica y las líneas horizontales marcan la ubicación del periodo crítico de determinación del rendimiento (Pcr) durante las campañas 2009 (símbolos negros), 2010 (símbolos grises) y promedio 1989 – 2007 (símbolos rojos).

La RFAinc durante el ciclo de cultivo en la FS temprana fue menor en el año 2009 que en el 2010 ( $8,9$  vs  $9,3$   $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) siendo este último valor muy próximo al de la serie histórica 1989 – 2007 ( $9,4$   $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ). La FS de Enero registró una mayor cantidad de RFAinc durante el ciclo del cultivo para el año 2009 que para 2010 ( $8,4$  y  $7,6$   $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ , respectivamente). El valor para la serie 1989 – 2007 fue de  $8,0$   $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$  (Figura 2.2).

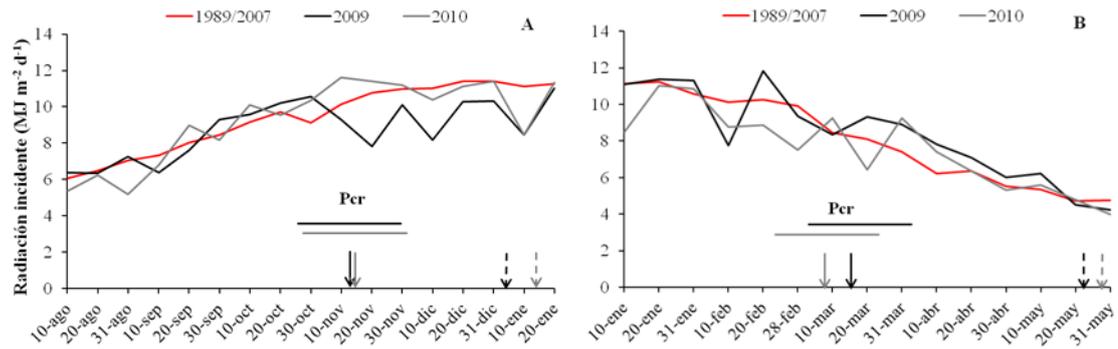


Figura 2.2: Radiación fotosintéticamente activa incidente (RAFinc), promedio cada 10 días, para las siembras temprana y tardía (A y B, respectivamente) durante las campañas 2009, 2010 y el periodo 1989/2007. Las flechas continuas indican floración, las flechas de línea cortada indican madurez fisiológica y las líneas horizontales marcan la ubicación del periodo crítico para la determinación del rendimiento (Pcr) durante las campañas 2009 (símbolos negros), 2010 (símbolos grises) y promedio 1989 – 2007 (símbolos rojos).

En la figura 2.3 se presentan los valores del cociente fototermal (Andrade, 1992), para ambas campañas de estudio y el promedio histórico. Para la siembra de Agosto se registró  $1,6 \text{ MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1} \text{ °C}^{-1}$  para ambos años, cifra menor al promedio histórico ( $1,8 \text{ MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1} \text{ °C}^{-1}$ ). El valor para la siembra de Enero fue de 1,3 y  $1,4 \text{ MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1} \text{ °C}^{-1}$  en 2009 y 2010, cifras cercanas al de la serie histórica ( $1,4 \text{ MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1} \text{ °C}^{-1}$ ). Los valores máximos del cociente fototermal ocurrieron en la primera y segunda década del mes de mayo de 2010, superando ampliamente al promedio histórico, debido a bajas temperaturas medias ( $13,3$  y  $12,1 \text{ °C}$ , respectivamente). El mismo fenómeno se registró en la tercera década de septiembre de 2009, producto de bajas temperaturas medias ( $14,8 \text{ °C}$ ).

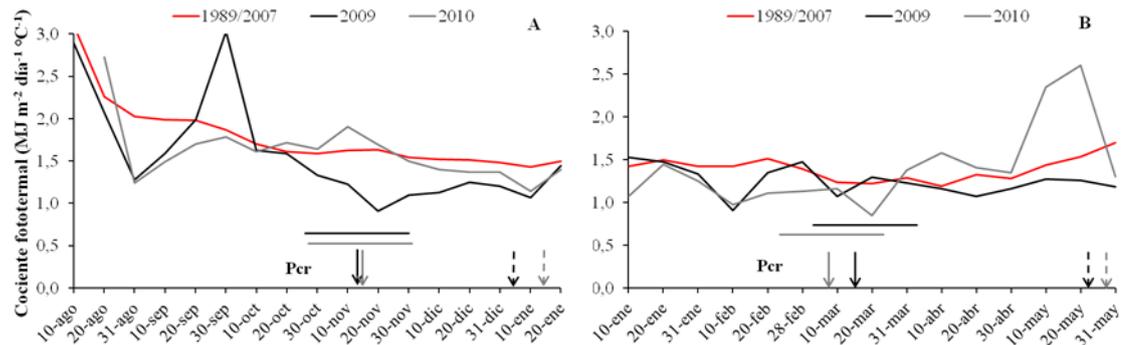


Figura 2.3: Cociente fototermal, promedio cada 10 días, para las siembras de Agosto (A) y Enero (B) durante las campañas 2009, 2010 y el periodo 1989/2007. Las flechas continuas indican floración, las flechas de línea cortada madurez fisiológica y las líneas horizontales marcan la ubicación del periodo crítico de determinación del rendimiento (Pcr) durante las campañas 2009 (símbolos negros), 2010 (símbolos grises) y promedio 1989 – 2007 (símbolos rojos).

En la figura 2.4 se presenta el déficit de presión de vapor (DPV) medido en casilla meteorológica. Los valores de DPV para la implantación temprana fueron 1,76 y 1,56 kPa para 2009 y 2010, respectivamente, mientras que la siembra tardía registró 1,51 y 1,17 kPa para 2009 y 2010, respectivamente.

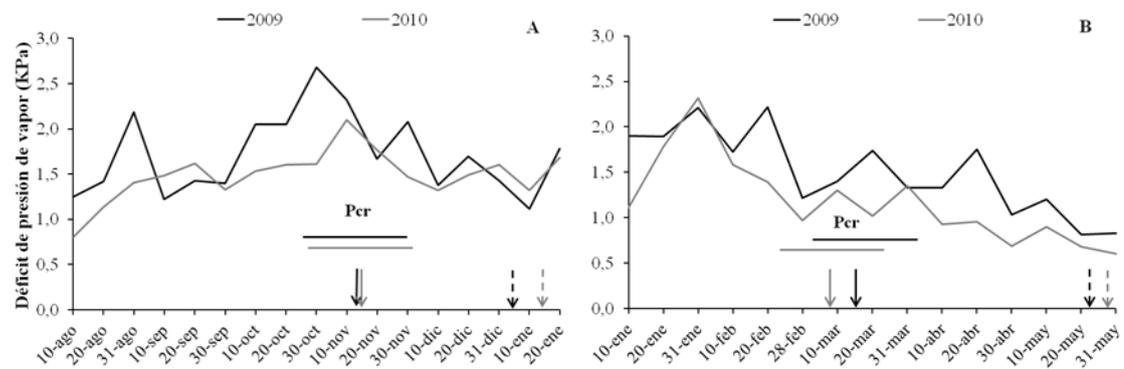


Figura 2.4: Déficit de presión de vapor (DPV), promedio cada 10 días, para las siembras de Agosto (A) y Enero (B) durante las campañas 2009 y 2010. Las flechas continuas indican floración, las flechas de línea cortada madurez fisiológica y las líneas horizontales marcan la ubicación del periodo crítico de determinación del rendimiento (Pcr) durante las campañas 2009 (símbolos negros) y 2010 (símbolos grises).

En la tabla 2.1 se presentan, a modo de resumen, los valores de temperatura, RFAinc, cociente fototermal y DPV para el periodo crítico y 15 días post floración – madurez fisiológica durante ambos años de experimento. En la siembra de Agosto, el periodo

crítico presentó valores de temperaturas más altos y de RFA más bajos en 2009 que en 2010. Durante dicho periodo, los valores de Q fueron más altos en FS tempranas, con un comportamiento atípico en 2009, y DPV también fue mayor en FS tempranas. Durante postfloración – MF Q tendió a ser similar ó menor y DPV mayor para FS tempranas (Tabla 2.1).

Tabla 2.1: Valores promedio para temperatura máxima (Tmax), mínima (Tmin) y media (Tmed), radiación fotosintéticamente activa incidente (RFAinc), cociente fototermal (Q) y déficit de presión de vapor (DPV) durante el periodo crítico y post floración – madurez fisiológica para los años 2009 y 2010.

	Periodo crítico			
	Enero 2009	Agosto 2009	Enero 2010	Agosto 2010
T max	31,6	33,9	30,5	30,8
T min	18,1	20,6	19,2	13,6
T med	24,5	27,0	24,4	22,6
RFAinc	9,5	9,3	8,9	12,2
Q	1,2	1,0	1,1	1,7
DPV	1,5	2,2	1,2	1,8

	15 días Post floración - Madurez fisiológica			
	Enero 2009	Agosto 2009	Enero 2010	Agosto 2010
T max	27,1	31,7	23,3	32,6
T min	12,4	20,1	10,1	18,6
T med	19,3	25,6	16,3	25,6
RFAinc	6,4	10,4	6,1	11,3
Q	1,2	1,2	1,5	1,3
DPV	1,2	1,5	0,8	1,5

### 2.3.2 Fenología

La FS de Agosto produjo un incremento, con respecto a la de Enero, en la duración de la etapa vegetativa de 25,5 y 27,0 días para los años 2009 y 2010, respectivamente, debido a las bajas temperaturas durante los primeros estadios de desarrollo (Tabla 2.2 y Figura 2.1). De manera opuesta, la siembra temprana produjo un acortamiento del

periodo reproductivo de 16,1 y 21,9 días (Tabla 2.2) con respecto a la siembra tardía para los años 2009 y 2010, respectivamente. Estas variaciones en los ambientes térmicos dieron como resultado un incremento de 9,4 y 5,2 días en la duración del ciclo completo del cultivo para FS tempranas comparadas con las tardías en los años 2009 y 2010, respectivamente (Tabla 2.2). Las variaciones en unidades térmicas fueron escasas, aunque significativas en la mayoría de las comparaciones (Tabla 2.2).

Tabla 2.2: Fenología del cultivo para tres híbridos de maíz, tres densidades poblacionales y dos fechas de siembra durante dos ciclos de crecimiento.

Tratamientos		Emergencia - Floración				Floración - Madurez				Emergencia - Madurez			
		Días		°C día		Días		°C día		Días		°C día	
		2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010
Fecha	Agosto	80	78	945	894	52	60	903	935	132	137	1848	1829
	Enero	54	51	904	894	68	81	893	873	123	132	1796	1768
	<b>DMS</b>	<b>0,3</b>	<b>1,9</b>	<b>2</b>	<b>32</b>	<b>1,2</b>	<b>1,1</b>	<b>21</b>	<b>17</b>	<b>1,0</b>	<b>1,3</b>	<b>17</b>	<b>32</b>
Germoplasma	TE	65	63	891	879	61	72	915	914	126	135	1806	1792
	TXT	65	62	889	864	59	71	882	907	124	133	1770	1772
	TR	71	67	993	940	60	69	897	892	132	136	1890	1832
	<b>DMS</b>	<b>0,5</b>	<b>0,8</b>	<b>7</b>	<b>10</b>	<b>0,6</b>	<b>1,4</b>	<b>10</b>	<b>18</b>	<b>0,3</b>	<b>1,4</b>	<b>5</b>	<b>18</b>
Densidad (pl m <sup>-2</sup> )	5	67	64	921	885	60	71	901	917	127	135	1822	1802
	6,5	67	65	923	898	60	70	898	895	127	134	1821	1793
	8	67	65	928	900	60	70	895	901	127	135	1823	1801
	<b>DMS</b>	<b>0,5</b>	<b>0,8</b>	<b>7</b>	<b>10</b>	<b>0,6</b>	<b>1,4</b>	<b>10</b>	<b>18</b>	<b>0,3</b>	<b>1,4</b>	<b>5</b>	<b>18</b>
<b>FUENTE DE VARIACIÓN</b>													
	<b>GER</b>	***	***	***	***	***	***	***	NS	***	***	***	***
	<b>DEN</b>	NS	**	NS	***	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	<b>FS</b>	***	***	***	NS	***	***	NS	***	***	***	***	***
	<b>GERXDEN</b>	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	<b>GERXFS</b>	***	***	***	***	***	**	***	**	***	***	***	***
	<b>DENXFS</b>	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	<b>DENXGERXFS</b>	NS	NS	NS	NS	NS	**	NS	**	NS	NS	NS	NS

Referencias: \*\* p<0,05; \*\*\* p<0,01; NS: no significativo. DMS: Diferencia mínima significativa. Temperatura base utilizada 8°C.

La siembra temprana determinó que la fase reproductiva coincidiera con las temperaturas más altas del año, por el contrario la implantación tardía ubicó a esta etapa en una época con temperaturas en continuo descenso (Figura 2.1), favoreciendo el alargamiento del periodo y minimizando los riesgos de estrés térmico.

Si bien el fotoperiodo se incrementó al pasar de la siembra temprana a la tardía, al comparar las sumas térmicas requeridas para el periodo vegetativo, las diferencias entre FS fueron sólo de 41,7 °C y 0 °C día para 2009 y 2010, respectivamente, indicando que

el efecto de esta variable a través de los híbridos fue nulo ó mínimo en comparación con el efecto de la temperatura. Las sumas térmicas requeridas para completar la etapa reproductiva fueron levemente mayores en la FS de Agosto comparado con la FS de Enero en 10,5 y 61,7 °C día para el primer y segundo año, respectivamente (Tabla 2.2). Así mismo, la duración del ciclo completo fue mayor para la FS temprana en 52,2 y 61,4 °Cd en 2009 y 2010, respectivamente (Tabla 2.2).

Si bien, las variaciones en las sumas térmicas fueron leves, estas podrían explicarse por los altos valores de DPV (Figura 2.4) y temperaturas máximas absolutas (Tabla 2.1) en FS tempranas, las cuales obligaron a utilizar modelos de cálculo de sumas térmicas alternativos a los comúnmente empleados.

En ambos años de ensayo el cultivar TR tuvo una duración más larga del periodo vegetativo que los cultivares TE y TXT, los cuales se comportaron de manera similar, tanto en días como en tiempo térmico (TT).

En el caso del periodo reproductivo, las diferencias entre los híbridos tanto en días como en tiempo térmico fueron muy pequeñas, con valores levemente mayores para el híbrido TE (Tabla 2.2).

Al analizar ambas etapas fenológicas en conjunto, se determinó una duración del ciclo del cultivo en un orden TR>TE>TXT en ambos años de ensayo, tanto en tiempo térmico como en días, siendo muy similares los valores para TE y TXT (Tabla 2.2).

Para ambos años de ensayo, la interacción entre híbridos y época de siembra fue significativa (Tabla 2.2) para las etapas emergencia – floración, floración – madurez fisiológica (sólo en 2009) y emergencia – madurez fisiológica, tanto en días como en tiempo térmico. Estas interacciones se debieron a variaciones dispares entre híbridos en la cantidad de días ó °Cd para completar las etapas fenológicas cuando varió la fecha de siembra (Figura 2.5).

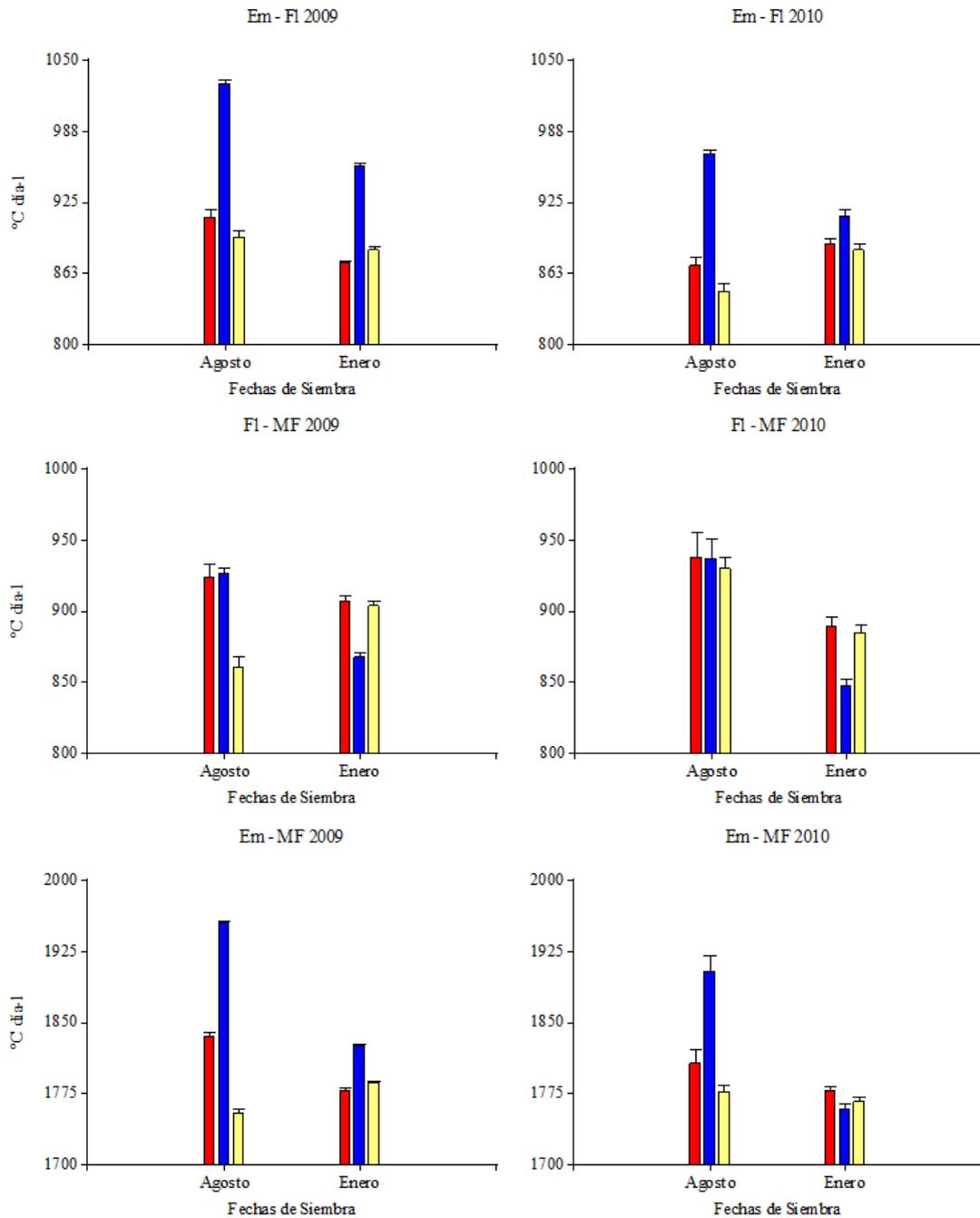


Figura 2.5: Interacciones entre híbridos y fechas de siembra (FS) para tiempo térmico acumulado durante las etapas vegetativa, reproductiva y ciclo completo durante los años 2009 y 2010. Rojo; TE, azul; TR y amarillo; TXT. Promedio de 3 densidades. Las barras indican el error estándar.

Durante la etapa vegetativa en 2009, la fecha temprana presentó TT en el orden TR>TE>TXT, mientras que en la tardía el orden fue TR>TXT>TE. En el segundo año

el híbrido TR registró un leve incremento y los híbridos TE y TXT una disminución del TT a floración al pasar de la fecha tardía a la temprana (Figura 2.5)

Para el periodo reproductivo, en cambio, la variación más importante se debió al comportamiento diferencial del cultivar TR, que requirió una menor suma térmica que TE y TXT cuando la siembra fue realizada en Enero, mientras que en la siembra de Agosto presentó un comportamiento muy similar a TE. Ello pudo deberse a una mayor base térmica real en TR (10 °C) que la considerada (8 °C) acumulando mas grados día en la fecha temprana. El híbrido TXT registró en la siembra temprana del primer año una caída pronunciada en la suma térmica para completar la fase reproductiva acortando la duración de este periodo con respecto a los demás híbridos, hecho que no se repitió en el segundo año donde la interacción no fue significativa y los tres híbridos tuvieron un comportamiento similar (Figura 2.5). Esta respuesta de TXT en 2009 podría deberse a una mayor incidencia de enfermedades foliares, particularmente *Cercospora sp*, patógeno al cual este híbrido es sensible (datos no mostrados).

Para el periodo emergencia – madurez fisiológica, la siembra temprana incrementó el rango de variación entre híbridos comparada con la siembra tardía y modificó el orden TR>TE>TXT en la primera por TR>TXT=TE en la segunda. Para el segundo año la interacción se debió a que TE y TXT presentaron un incremento en las sumas térmicas a floración y TR una leve disminución al llevar la implantación de Agosto al mes de Enero, generando un orden TR>TE>TXT en Agosto y TE>TXT=TR en Enero (Figura 2.5). La interacción GER x FS en el primer año pudo deberse al efecto de estrés térmico por las altas temperaturas ocurridas en noviembre y diciembre y a la incidencia de enfermedades foliares en TXT, mientras que en el segundo año pudo deberse a una menor adaptación de TR a temperaturas moderadas durante la etapa reproductiva.

Las variaciones en la densidad de plantas no modificaron la duración en días y tiempo térmico de la etapa reproductiva y del ciclo completo a madurez fisiológica (Tabla 2.2).

### **2.3.3 Índice de área foliar y Radiación fotosintéticamente activa interceptada (RFAInt).**

El índice de área foliar (IAF) presentó variaciones entre FS, híbridos y densidades poblacionales (Figura 2.6). En 2009 los valores promedio de IAF fueron inferiores a los registrados en 2010 (4,8 y 6,5; respectivamente), debido a las altas temperaturas registradas en el primer año (Figura 2.1; Tabla 2.1), que afectaron el desarrollo foliar durante la etapa vegetativa.

La implantación de Enero generó un desarrollo más rápido de IAF. En 2009, sólo TR en FS temprana sobresalió con un mayor IAF, mientras que TXT presentó en la FS tardía una senescencia más acelerada, explicada por una mayor incidencia de *Cercospora sp* que afectó a este híbrido más que a los demás (datos no mostrados). En 2010, se observaron mayores valores de IAF para todos los cultivares en FS de Enero, dicha situación se explica por las mayores temperaturas en comparación con Agosto (Figura 2.6).

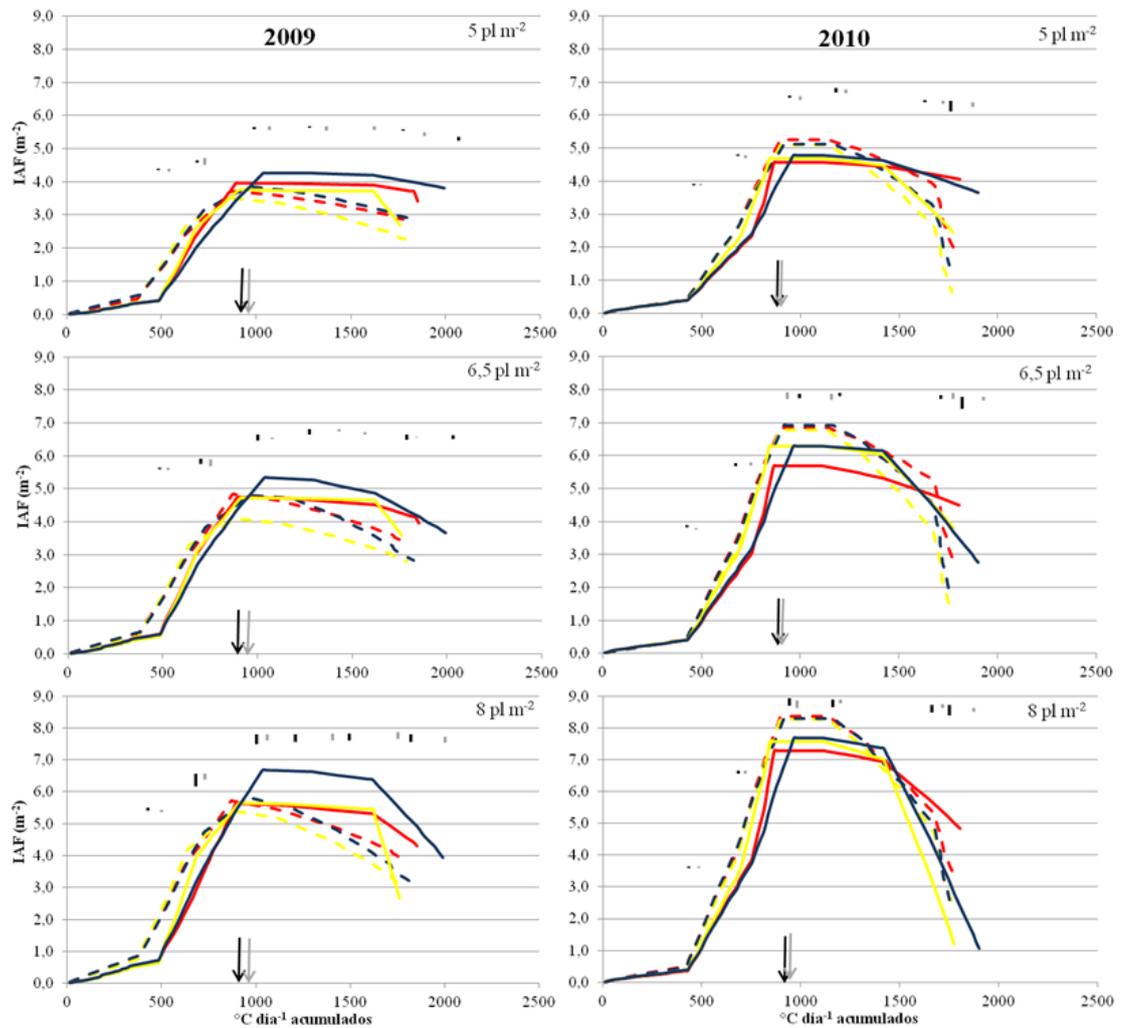


Figura 2.6: Índice de área foliar (IAF) en función del tiempo térmico para tres densidades poblacionales, tres híbridos y dos fechas de siembra durante los años 2009 y 2010. Líneas punteadas; Enero y líneas llenas; Agosto. Rojo; TE, azul; TR y amarillo; TXT. Las flechas marcan el momento de floración para cada fechas de siembra (Enero: negras y Agosto: grises). Las barras verticales indican el error estándar.

Al analizar el coeficiente de extinción (K) la FS de Enero presentó valores a floración significativamente más altos que la fecha temprana en 2009 (Tabla 2.3). Esto puede explicarse por variaciones en la estructura de planta (más planófila) y en el IAF (similar en 2009 y mayor en 2010) en la fecha tardía comparada con la temprana.

Las diferencias de K entre FS fueron más notorias en 2009 que en 2010 (Tabla 2.3), debido al estrés térmico ocurrido durante el primer año y a que en el segundo año, sin estrés térmico, la fecha tardía presentó una estructura de planta menos planofila

reduciendo las diferencias en porcentaje de RFAInt respecto de la siembra temprana (Figura 2.7).

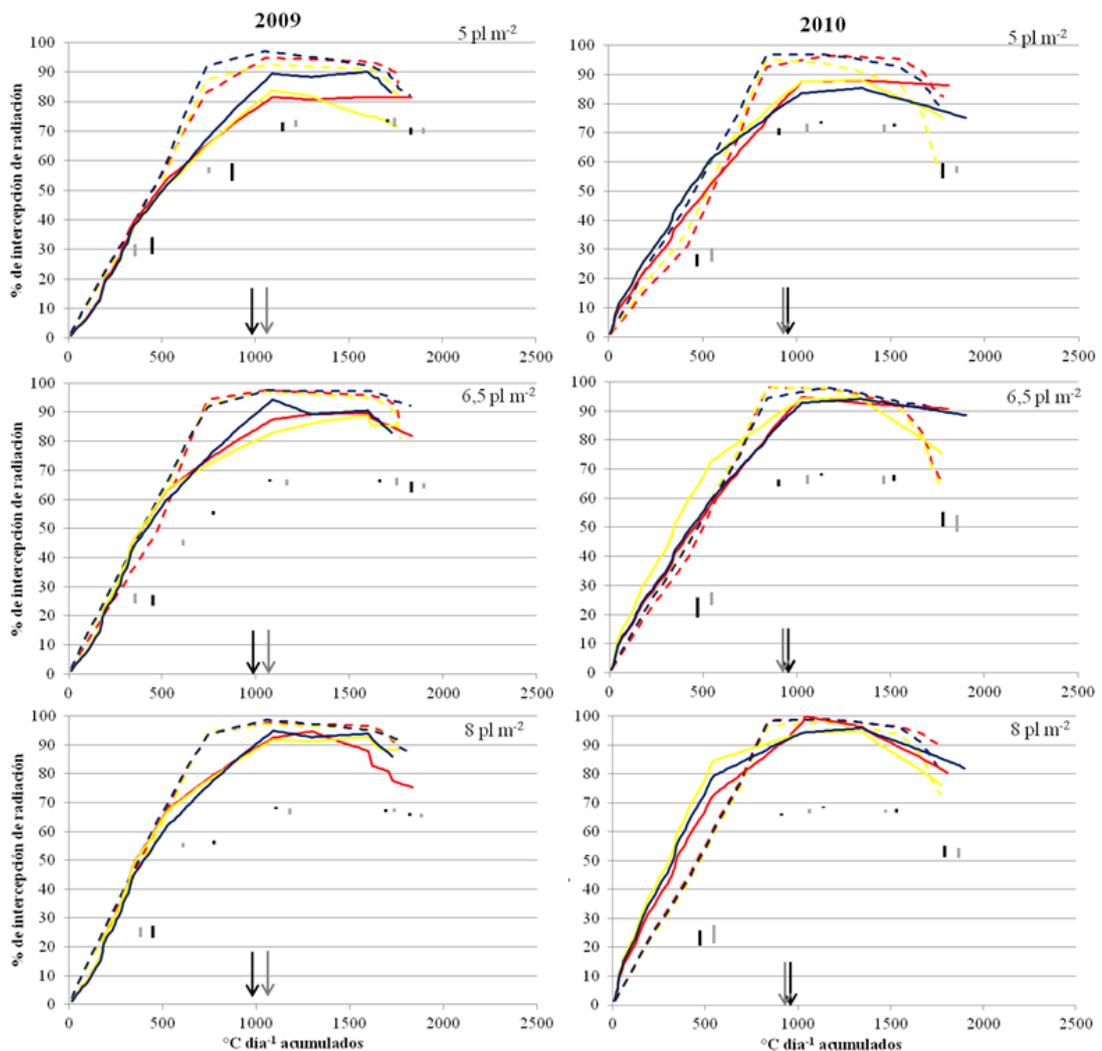


Figura 2.7: Porcentaje de intercepción de RFA incidente en función del tiempo térmico acumulado para tres densidades poblacionales, tres híbridos y dos fechas de siembra durante los años 2009 y 2010. Símbolos: Líneas punteadas; Enero, líneas llenas; Agosto. Rojo: TE, azul: TR y amarillo: TXT. Las flechas indican el momento de floración para cada fecha de siembra (Enero: negras y Agosto: grises). Las barras indican el error estándar.

Los altos valores de K en la implantación tardía, permiten explicar las diferencias en el porcentaje de RFAInt en 2009 (Figura 2.7), donde en general todos los híbridos, salvo TR, presentaron un IAF similar.

Se detectaron efectos significativos sobre RFAInt de todos los tratamientos (germoplasma, densidad poblacional y fecha de siembra) en la mayoría de los periodos

y años evaluados, presentando interacciones significativas FS x germoplasma y FS x densidad (Tabla 2.3).

Tabla 2.3: Radiación fotosintéticamente activa interceptada por el cultivo (RFAInt) y coeficiente de extinción (K) para diferentes híbridos, densidades poblacionales y fechas de siembra.

Tratamientos		RFAInt Em - Fl		RFAInt Fl - MF		RFAInt Em - MF		K Floración	
		(Mj m <sup>-2</sup> día <sup>-1</sup> )		(Mj m <sup>-2</sup> día <sup>-1</sup> )		(Mj m <sup>-2</sup> día <sup>-1</sup> )			
		2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010
<b>Fecha</b>	Agosto	354	419	469	597	823	1016	0,45	0,42
	Enero	311	243	467	490	778	733	0,65	0,44
	<b>DMS</b>	<b>23</b>	<b>26</b>	<b>18</b>	<b>12</b>	<b>40</b>	<b>33</b>	<b>0,09</b>	<b>0,03</b>
<b>Germoplasma</b>	TE	311	309	475	549	786	858	0,55	0,44
	TXT	319	326	442	537	761	863	0,56	0,43
	TR	367	357	487	544	854	901	0,54	0,42
	<b>DMS</b>	<b>12</b>	<b>11</b>	<b>7</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>17</b>	<b>0,03</b>	<b>0,02</b>
<b>Densidad</b> (pl m <sup>-2</sup> )	5	305	298	450	524	755	824	0,61	0,49
	6,5	337	327	474	550	811	875	0,54	0,44
	8	355	367	480	556	835	923	0,50	0,36
	<b>DMS</b>	<b>12</b>	<b>11</b>	<b>7</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>17</b>	<b>0,03</b>	<b>0,02</b>
<b>FUENTE DE VARIACIÓN</b>									
<b>GER</b>		***	***	***	NS	***	***	NS	NS
<b>DEN</b>		***	***	***	***	***	***	***	***
<b>FS</b>		**	***	NS	***	**	***	**	NS
<b>GERXDEN</b>		NS	NS	***	NS	NS	NS	NS	NS
<b>GERXFS</b>		NS	***	***	***	***	***	NS	NS
<b>DENXFS</b>		**	***	NS	***	***	***	***	***
<b>DENXGERXFS</b>		NS	NS	NS	NS	NS	NS	***	NS

Referencias: \*\* p<0.05; \*\*\* p<0,01; NS: No significativo. DMS: Diferencia mínima significativa.

La FS de Agosto generó mayores valores de RFAInt que la de Enero en ambos años, para todos los periodos considerados (excepto Fl – MF en 2009), presentado interacciones con los demás tratamientos. La interacción FS X GER siempre fue significativa salvo para el periodo vegetativo en 2009 (Tabla 2.3; Figura 2.8).

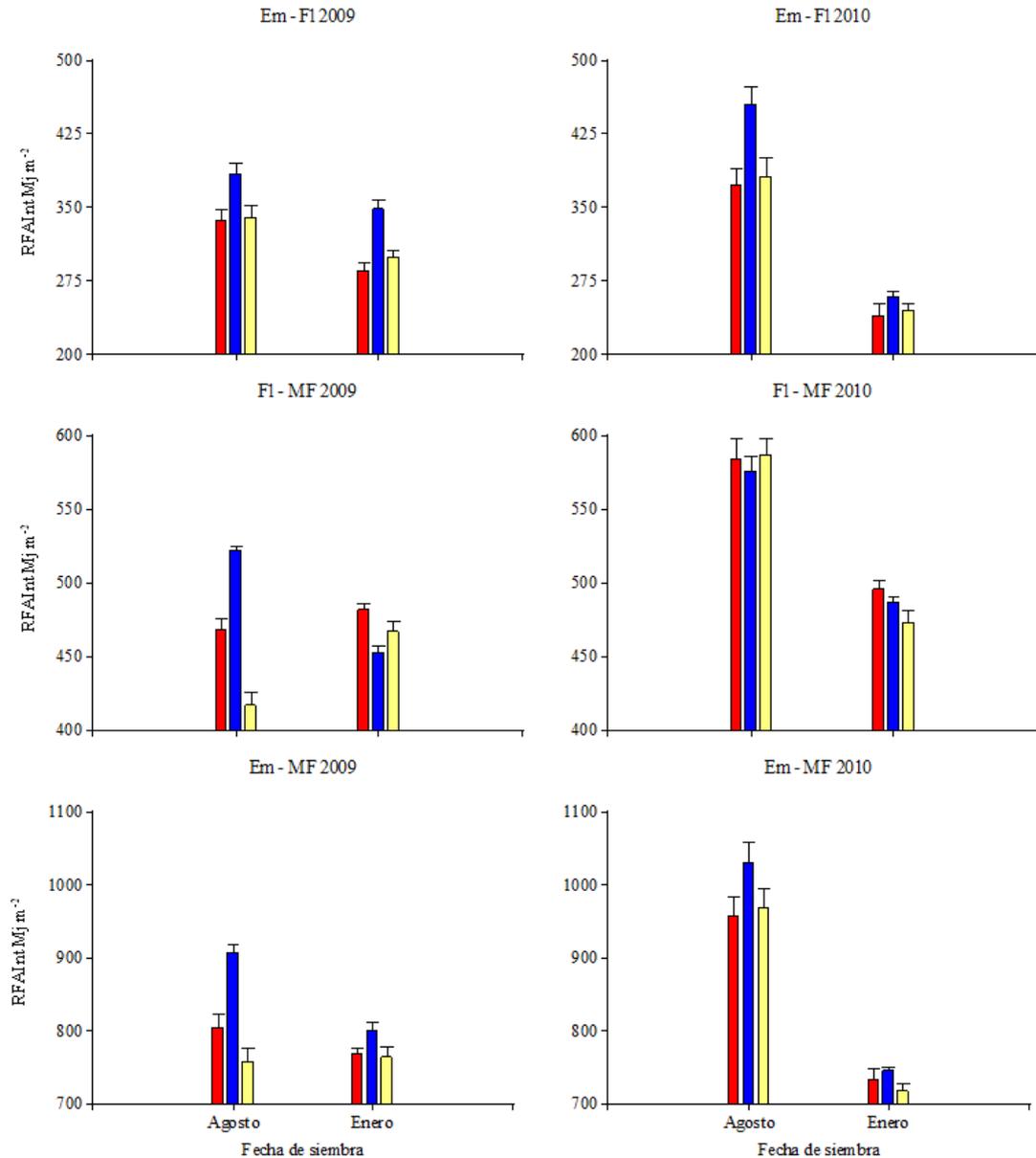


Figura 2.8: Radiación fotosintéticamente activa interceptada (RFAInt) para tres híbridos y dos fechas de siembra durante los periodos vegetativo, reproductivo y emergencia–madurez fisiológica en los años 2009 y 2010. Rojo: TE, azul: TR y amarillo: TXT. Promedio de tres densidades. Las barras indican el error estándar.

Para el periodo vegetativo en 2010, la interacción FS x GER se explica por un incremento más que proporcional de RFAInt en TR comparado con TE y TXT al adelantar la implantación a Agosto (Figura 2.8), debido a la mayor duración de la fase vegetativa en este híbrido (Tabla 2.2).

Para la etapa reproductiva en 2009, TR acumuló mayor cantidad de RFAInt debido a un mayor IAF máximo y una senescencia más lenta en la FS de Agosto (Figura 2.6), además de un mayor coeficiente de extinción (Tabla 2.3). El híbrido TE mantuvo y el TXT aumentó el valor de RFAInt al pasar de la fecha temprana a la tardía debido a estrés térmico e incidencia de *Cercospora sp* en la fecha temprana.

Para la fase reproductiva en 2010, los híbridos TE y TXT acumularon una cantidad levemente mayor de RFAInt que TR en la implantación de Agosto, a diferencia de Enero donde la acumulación de RFAInt se presentó en un orden  $TE > TR > TXT$ , con escasas diferencias entre ellos (Figura 2.8).

Para el ciclo completo y ambos años de ensayo, TR presentó en la siembra de Agosto mayores cifras de RFAInt que TE y TXT, los cuales registraron valores similares, mientras que en la fecha tardía las diferencias de TR respecto de TE y TXT fueron mínimas (Figura 2.8). Este comportamiento de TR se explica principalmente por la mayor duración del ciclo (Tabla 2.2), sumado a un elevado IAF y a una lenta senescencia foliar, particularmente en siembras tempranas (Figura 2.6).

La interacción FS X DEN para RFAInt fue siempre significativa en ambos años de ensayo, salvo para el periodo floración – madurez fisiológica en 2009 (Tabla 2.3). En la figura 2.9 se presentan las interacciones FS X DEN como promedio de ambos años de experimento, donde se observan variaciones dispares en la respuesta de RFAInt ante aumentos de la densidad poblacional cuando se pasó de la FS de Enero a la de Agosto.

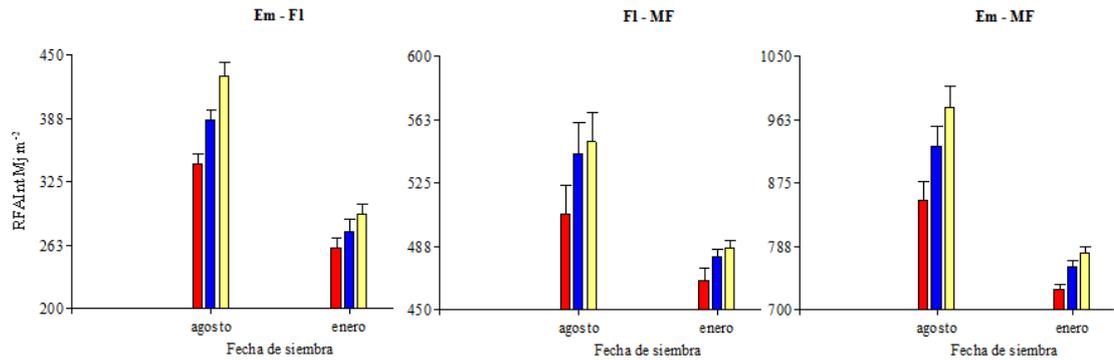


Figura 2.9: Radiación fotosintéticamente activa interceptada (RFAInt) para dos fechas de siembra y tres densidades poblacionales durante los periodos emergencia – floración, floración – madurez fisiológica y emergencia – madurez fisiológica. Valores promedio de 2009 y 2010. Rojo: 5 pl m<sup>-2</sup>, azul: 6,5 pl m<sup>-2</sup> y amarillo: 8 pl m<sup>-2</sup>. Promedio de tres híbridos de maíz. Las barras indican el error estándar.

El incremento de individuos por unidad de superficie tuvo siempre un mayor efecto en la siembra temprana. Esto puede explicarse por las temperaturas más altas en la implantación de Enero que generaron un mayor crecimiento vegetativo en comparación con la siembra de invierno. Las diferencias en el porcentaje de RFAInt entre FS fueron mayores para la densidad más baja en ambos años de experimento (Figura 2.7).

La interacción GER X DEN fue significativa solo en 2009, para el periodo reproductivo (Tabla 2.3).

#### 2.3.4 Eficiencia de uso de la radiación (EUR).

La época de implantación generó diferencias significativas en EUR únicamente para el periodo vegetativo en 2009, con mayores valores para la siembra temprana (Tabla 2.4). Se encontraron diferencias significativas entre híbridos para todos los periodos y años de ensayo, excepto para la etapa vegetativa en 2010 (Tabla 2.4). Las densidades poblacionales se diferenciaron en el periodo reproductivo y ciclo completo durante 2010 (Tabla 2.4).

Tabla 2.4: Eficiencia de uso de radiación por el cultivo (EUR) para tres híbridos, tres densidades poblacionales y dos fechas de siembra.

Tratamientos		EUR Pre Fl - Fl		EUR Fl - MF		EUR Pre Fl - MF	
		(gr MS Mj <sup>-1</sup> )		(gr MS Mj <sup>-1</sup> )		(gr MS Mj <sup>-1</sup> )	
		2009	2010	2009	2010	2009	2010
<b>Fecha</b>	Agosto	4,0	3,8	2,6	2,2	2,8	2,4
	Enero	3,2	3,4	2,9	2,6	3,0	2,7
	<b>DMS</b>	<b>0,7</b>	<b>1,5</b>	<b>0,4</b>	<b>0,4</b>	<b>0,3</b>	<b>0,3</b>
<b>Germoplasma</b>	TE	4,4	3,7	2,8	2,5	2,9	2,7
	TXT	3,0	3,6	3,0	2,6	3,0	2,7
	TR	3,4	3,5	2,5	2,1	2,7	2,3
	<b>DMS</b>	<b>0,5</b>	<b>0,4</b>	<b>0,3</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>	<b>0,1</b>
<b>Densidad</b> (pl m <sup>-2</sup> )	5	3,6	3,6	2,7	2,3	2,8	2,5
	6,5	3,5	3,6	2,8	2,4	2,9	2,6
	8	3,7	3,6	2,7	2,5	2,9	2,7
	<b>DMS</b>	<b>0,5</b>	<b>0,4</b>	<b>0,3</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>	<b>0,1</b>
<b>FUENTE DE VARIACIÓN</b>							
<b>GER</b>		***	NS	**	***	**	***
<b>DEN</b>		NS	NS	NS	**	NS	**
<b>FS</b>		**	NS	NS	NS	NS	NS
<b>GERXDEN</b>		NS	NS	NS	NS	NS	NS
<b>GERXFS</b>		**	***	NS	NS	NS	NS
<b>DENXFS</b>		NS	NS	NS	NS	NS	NS
<b>DENXGERXFS</b>		**	**	NS	NS	NS	NS

Referencias: \*\* p<0.05; \*\*\* p<0,01; NS no significativo. DMS: Diferencia mínima significativa.

Si bien, la interacción triple FS X GER X DEN fue significativa para la etapa pre floración – floración, esta presentó tendencias inconsistentes. La interacción FS X GER fue significativa para el periodo vegetativo en ambos años de experimento (Tabla 2.4). En 2009 el retraso en la siembra produjo caídas en la EUR en los tres cultivares, pero la reducción en TXT fue mucho mayor, mientras que en 2010 TE y TXT también redujeron la EUR, en tanto que TR la aumentó (Figura 2.10). Esta respuesta puede ser explicada por diferentes valores óptimos de temperatura requeridos para el desarrollo y crecimiento de cultivares de origen templado y tropical. Al pasar de la siembra de

invierno a la de verano, TE y TXT fueron más afectados que TR debido a las altas temperaturas registradas en la etapa vegetativa (Enero y Febrero) (Figura 2.1).

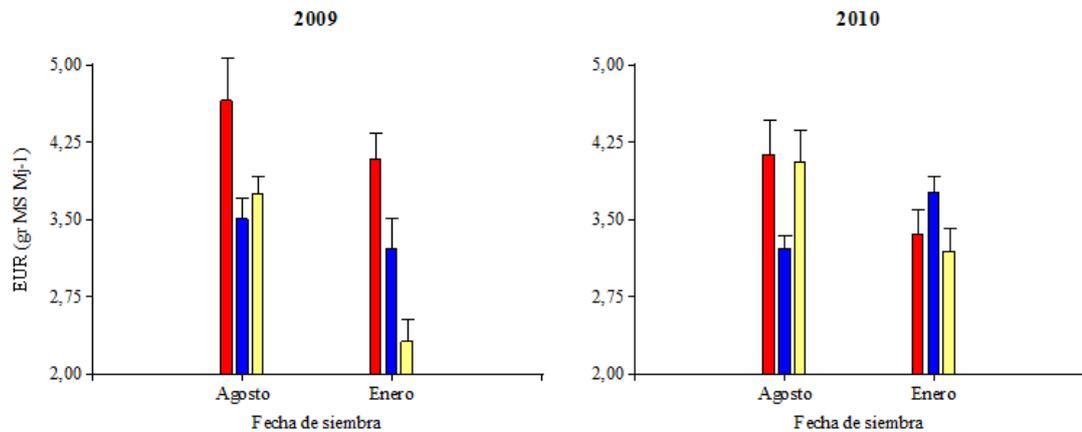


Figura 2.10: Eficiencia de uso de la radiación (EUR) para tres híbridos de maíz y dos fechas de siembra durante el periodo vegetativo en los años 2009 y 2010. Rojo; TE, azul; TR y amarillo; TXT. Promedio de tres densidades. Las barras indican el error estándar.

Durante la etapa reproductiva, TXT fue el cultivar de mayor EUR en ambos años de experimento, sin diferencias significativas con TE. El híbrido TR presentó los menores valores y siempre se diferenció significativamente de TXT y sólo en 2010 de TE (Tabla 2.4).

Al integrar ambas etapas, los híbridos TE y TXT no difirieron entre sí, pero ambos se diferenciaron de TR el cual presentó los valores más bajos de EUR en ambos años de experimento (Tabla 2.4).

## 2.3.5 Biomasa

### 2.3.5.1 Periodo vegetativo

La producción de biomasa presentó diferencias significativas para todos los tratamientos mientras que las interacciones entre estos resultaron significativas sólo en el segundo año de ensayo (Tabla 2.5).

Las FS sólo se diferenciaron en el segundo año, donde la implantación de Agosto superó a la de Enero. La similitud de los valores de biomasa total para las siembras de Agosto y Enero en 2009 se explican por la escasa diferencia entre ellas en RFAInt (43,1 MJ m<sup>-2</sup>, a favor de Agosto, Tabla 2.3), hecho que no se repitió en 2010 (176,2 MJ m<sup>-2</sup>, a favor de Agosto, Tabla 2.3).

Las diferencias entre híbridos fueron altamente significativas en ambos años, donde el cultivar TR superó a TXT y TE, sin diferencias entre estos dos últimos.

Tabla 2.5: Materia seca aérea (MS) para dos fechas de siembra, tres híbridos y tres densidades poblacionales.

Tratamientos		MS Em - flor		MS Flor - MF		MS Em - MF	
		(gr m <sup>-2</sup> )		(gr m <sup>-2</sup> )		(gr m <sup>-2</sup> )	
		2009	2010	2009	2010	2009	2010
<b>Fecha</b>	Agosto	852	984	1197	1331	2049	2304
	Enero	784	743	1374	1254	2159	1990
	<b>DMS</b>	<b>105</b>	<b>121</b>	<b>168</b>	<b>204</b>	<b>156</b>	<b>209</b>
<b>Germoplasma</b>	TE	801	842	1314	1377	2115	2177
	TXT	776	807	1319	1378	2096	2193
	TR	877	941	1224	1123	2101	2072
	<b>DMS</b>	<b>48</b>	<b>55</b>	<b>142</b>	<b>78</b>	<b>127</b>	<b>90</b>
<b>Densidad</b> (pl m <sup>-2</sup> )	5	703	764	1221	1206	1924	2081
	6,5	835	874	1321	1279	2156	2065
	8	916	952	1316	1393	2232	2296
	<b>DMS</b>	<b>48</b>	<b>55</b>	<b>142</b>	<b>78</b>	<b>127</b>	<b>90</b>
<b>FUENTE DE VARIACIÓN</b>							
<b>GER</b>		***	***	NS	***	NS	***
<b>DEN</b>		***	***	NS	***	***	***
<b>FS</b>		NS	**	**	NS	NS	**
<b>GERXDEN</b>		NS	NS	NS	NS	NS	NS
<b>GERXFS</b>		NS	NS	NS	NS	NS	NS
<b>DENXFS</b>		NS	NS	NS	NS	NS	**
<b>DENXGERXFS</b>		NS	**	NS	NS	NS	NS

Referencias: \*\* p<0.05; \*\*\* p<0,01; NS no significativo. DMS: diferencia mínima significativa.

Las tres densidades poblacionales se diferenciaron significativamente en ambos años con una respuesta positiva de la biomasa total ante el incremento del número de individuos por unidad de superficie (Tabla 2.5).

La interacción entre los tres tratamientos fue significativa ( $p < 0,0278$ ) en 2010 (Tabla 2.5). El incremento del número de plantas por unidad de superficie aumentó la biomasa producida, con un comportamiento diferencial de los híbridos TE y TXT a través de las distintas épocas de implantación. El cultivar TE presentó una leve caída ( $28,3 \text{ gr m}^{-2}$ ) en la producción de biomasa cuando se incrementó la población de 6,5 a  $8 \text{ pl m}^{-2}$  en la siembra de verano, sin efectos similares en los otros cultivares. Lo mismo ocurrió en el híbrido TXT para la siembra de invierno, con una leve disminución ( $81,6 \text{ gr m}^{-2}$ ) cuando se pasó de 6,5 a  $8 \text{ pl m}^{-2}$ , sin efectos similares en los demás cultivares estudiados. La tendencia para ambas épocas de implantación fue el incremento de la producción de biomasa ante el aumento del número de plantas por unidad de área (Tabla 2.5 y Figura 2.11).

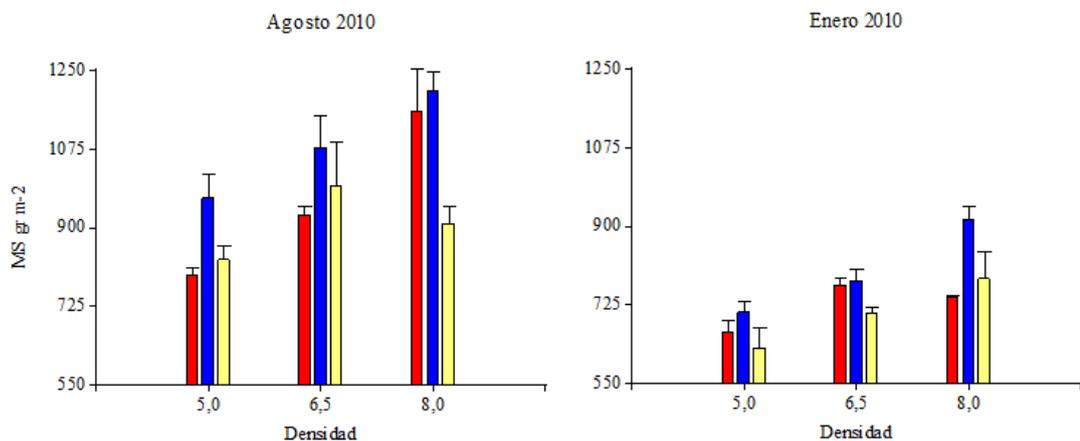


Figura 2.11: Materia seca total a floración en el año 2010 para dos fechas de siembra, tres híbridos y tres densidades poblacionales. Rojo: TE, azul: TR y amarillo: TXT. Las barras indican el error estándar.

### **2.3.5.2 Periodo reproductivo**

Se detectaron diferencias significativas para todos los tratamientos sin interacciones significativas entre estos. En 2009, la siembra de Enero superó en  $177,5 \text{ gr m}^{-2}$  a la de Agosto (Tabla 2.5), como resultado de las altas temperaturas (Figura 2.1 y Tabla 2.1) y la menor RFAinc durante los meses de noviembre y diciembre (Figura 2.2 y Tabla 2.1) en la siembra de invierno. Ello determinó un menor cociente fototérmico para esta época del año (Figura 2.3 y Tabla 2.1) lo que redujo severamente la MS total del cultivo. Las diferencias se vieron acentuadas por las buenas condiciones ambientales presentadas en la siembra de verano, que permitieron generar una alta producción de MS.

Los híbridos presentaron diferencias significativas sólo en 2010, diferenciándose los cultivares TE y TXT de TR, el cual produjo la menor cantidad de biomasa por unidad de superficie.

Finalmente, el efecto de la densidad poblacional fue significativo sólo en el año 2010 ( $p < 0,0001$ ), presentando una respuesta positiva al incremento del número de individuos por unidad de superficie, donde el tratamiento de  $8 \text{ pl m}^{-2}$  generó los mayores valores de MS total, diferenciándose significativamente de las demás densidades (Tabla 2.5).

### **2.3.5.3 Ciclo total del cultivo**

Al integrar las etapas vegetativa y reproductiva, la época de implantación sólo produjo diferencias significativas en el segundo año, donde la siembra de Agosto supero en  $317,8 \text{ gr m}^{-2}$  a la de Enero (Tabla 2.5).

Los híbridos utilizados, sólo mostraron diferencias significativas para el segundo año de estudio ( $p < 0,0036$ , Tabla 2.5), donde los cultivares TE y TXT superaron al TR sin diferenciarse entre sí.

Las densidades poblacionales produjeron valores de biomasa significativamente diferentes en el año 2009 ( $p < 0,0001$ ) presentando una respuesta positiva al incremento de individuos por unidad de superficie. Las densidades de 8 y 6,5 pl m<sup>-2</sup> no se diferenciaron entre sí, pero sí lo hicieron de la densidad de 5 pl m<sup>-2</sup>, que produjo los valores más bajos de MS total.

Se detectó interacción significativa entre densidad poblacional y FS sólo para el año 2010 ( $p < 0,0314$ , Tabla 2.5). Esta interacción fue producto de una mayor respuesta de la biomasa total al incremento de la densidad poblacional en la FS de Agosto que en la de Enero (Figura 2.12), principalmente en respuesta a la mayor radiación incidente y menor tasa de desarrollo vegetativo en la implantación de invierno (Figura 2.2).

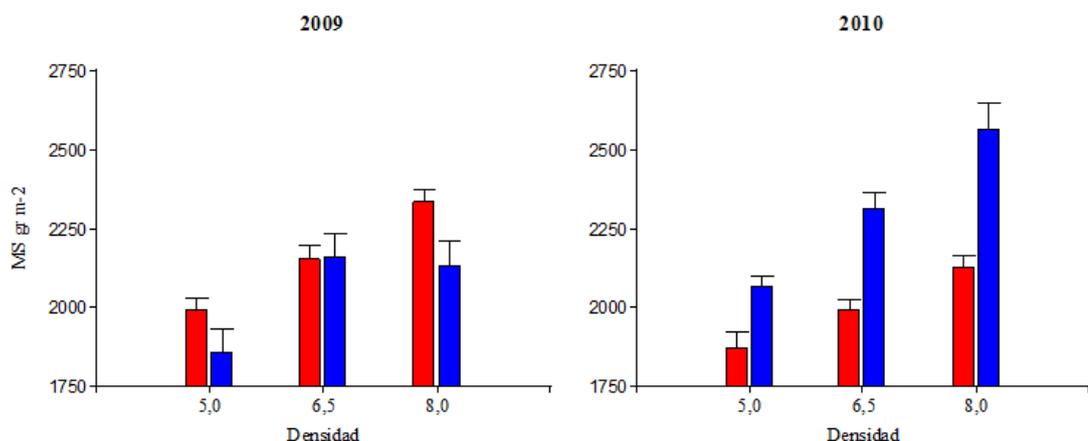


Figura 2.12: Materia seca total acumulada durante el ciclo del cultivo para dos fechas de siembra y tres densidades poblacionales en los años 2009 y 2010. Rojo: Enero y azul: Agosto. Promedio de tres híbridos de maíz. Las barras indican el error estándar.

La variación de RFAInt a través de FS permitió explicar parte de la producción de MS total (Figura 2.13). La relación entre MS total y RFAInt en prefloración – floración presentó una alta correlación para FS a través de ambos años de ensayo (Figura 2.13 A). Al analizar todo el ciclo del cultivo sólo la FS temprana generó una correlación media a alta ( $R^2 = 0,43$ ), a diferencia de la FS tardía ( $R^2 = 0,23$ ; Figura 2.13 B). Las

correlaciones fueron también bajas para el periodo reproductivo. El análisis a través de ambos años presentó EUR similares entre FS para el periodo vegetativo. Para el ciclo completo del cultivo, la implantación tardía superó en EUR a la temprana (Figura 2.13).

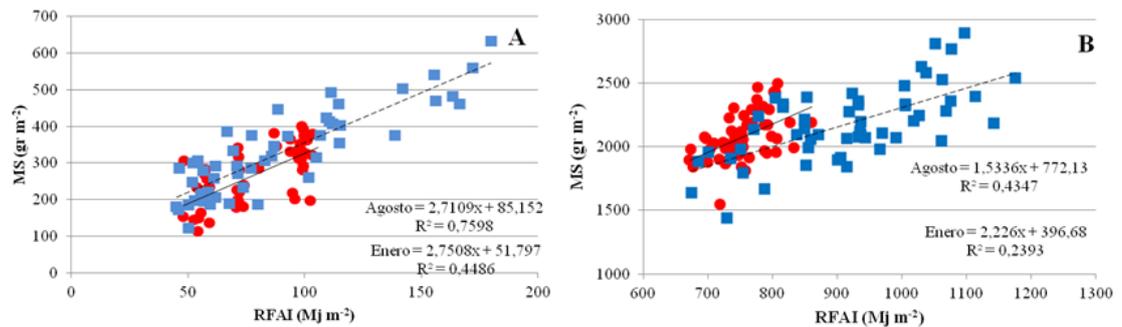


Figura 2.13: Materia seca total (MS) para el periodo pre floración - floración (A) y emergencia - madurez fisiológica (B) en función de la radiación fotosintéticamente activa interceptada (RFAInt:  $Mj m^{-2}$ ) a través de dos años de ensayo, tres híbridos y tres densidades poblacionales. Enero: círculos rojos y línea llena. Agosto: cuadrados azules y línea punteada.

## 2.4. DISCUSIÓN

En la tabla 2.6 se presenta el resumen de los efectos de los tratamientos sobre las variables analizadas en el presente capítulo. La época de siembra temprana incrementó la producción de MS a madurez fisiológica. Los cultivares TE y TXT produjeron similar ó mayor cantidad de MS a madurez fisiológica que el cultivar TR. El incremento de la densidad de plantas por unidad de área incrementó la producción de MS a madurez fisiológica.

Tabla 2.6: Resumen de los efectos de los tratamientos (FS: fecha de siembra, GER: germoplasma y DEN: densidades) sobre la duración de fenofases, radiación fotosintéticamente activa interceptada (RFAInt), eficiencia de uso de la radiación (EUR) y materia seca aérea (MS) para diferentes etapas del ciclo del cultivo.

Tratamiento	Etapas fenológicas	Duración (días)	Duración ( $^{\circ}\text{C día}^{-1}$ )	RFAInt ( $\text{Mj m}^{-2}$ )	EUR ( $\text{gr Mj m}^{-2}$ )	MS ( $\text{gr m}^{-2}$ )
FS	Em - Fl	Ago > Ene	Ago > Ene	Ago > Ene	Ago = Ene	Ago > Ene
	Fl - MF	Ago < Ene	Ago > Ene	Ago > Ene	Ago = Ene	Ago > Ene
	Em - MF	Ago > Ene	Ago > Ene	Ago > Ene	Ago < Ene	Ago > Ene
GER	Em - Fl	TR > TE = TXT	TR > TE = TXT	TR > TE = TXT	FS X GER *	TR > TE = TXT
	Fl - MF	TE > TR = TXT	TE > TR = TXT	TE = TR > TXT	TXT > TE > TR	TE = TXT > TR
	Em - MF	TR > TE > TXT	TR > TE > TXT	TR > TE = TXT	TE = TXT > TR	TE = TXT > TR
DEN	Em - Fl	sin efecto	sin efecto	8 > 6,5 > 5	sin efecto	8 > 6,5 > 5
	Fl - MF	sin efecto	sin efecto	8 > 6,5 > 5	8 > 6,5 > 5	8 > 6,5 > 5
	Em - MF	sin efecto	sin efecto	8 > 6,5 > 5	8 > 6,5 > 5	8 > 6,5 > 5

\* Interacción entre fecha de siembra y germoplasmas.

## ETAPA VEGETATIVA

### Fecha de Siembra

La principal variable ambiental que controla el desarrollo del maíz es la temperatura (Brown, 1976; Allison y Daynard, 1979; Tollenaar et al., 1979). Cuando la implantación se realizó en época invernal, se incrementó la duración de la etapa vegetativa en días sin cambios importantes en las sumas térmicas, comparadas con la siembra de verano, lo cual permite suponer que los efectos de la variación en el fotoperiodo fueron de escasa magnitud. Estos resultados coinciden en parte con los reportados para zonas templadas donde el retraso de la implantación desde septiembre a diciembre provocó un acortamiento del periodo vegetativo debido a las temperaturas más altas (Otegui et al., 1995; Cirilo y Andrade, 1994a).

Se presentaron importantes variaciones en el IAF entre años y épocas de implantación, con valores mayores para la siembra tardía, al igual que para valores de coeficiente de extinción y porcentaje de RFAInt. No obstante, la menor RFAinc y la menor duración de las etapas fenológicas en la fecha tardía generaron valores de RFAInt menores que en la fecha temprana. Estos resultados son coincidentes con los reportados por otros

autores (Lindquist et al., 2005). Estudios recientes, han reportado el efecto negativo del estrés térmico sobre la expansión foliar (Cicchino et al., 2010a), lo cual puede explicar el menor IAF en 2009 (Figura 2.6). A pesar de las variaciones de IAF, el porcentaje de radiación interceptada siempre alcanzó altos valores, lo cual se puede explicar por los cambios en el coeficiente de extinción. Este resultado es coincidente con reportes previos donde se registraron altos porcentajes de radiación interceptada a pesar de disminuciones en el IAF por efecto de estrés térmico (Cicchino et al., 2010a; Rattalino y Otegui, 2012).

La implantación de Agosto favoreció la acumulación de RFAInt durante el periodo vegetativo (Tabla 2.3), producto de la mayor duración en días de dicha etapa (Tabla 2.2) y de la mayor cantidad de RFAinc en los meses de octubre y noviembre (Figura 2.2), lo que generó una diferencia de 162 y 237  $\text{Mj m}^{-2}$  para 2009 y 2010, respectivamente ( $p < 0,0001$ , datos no mostrados). Esta diferencia con la fecha tardía fue de menor importancia en el primer año de ensayos, debido a la baja cantidad de RFAinc durante la última parte de este periodo, con valores muy por debajo del promedio histórico (Figura 2.2; Tabla 2.1). El retraso en la FS en la localidad de Balcarce disminuyó la RFAInt acumulada durante el periodo vegetativo entre 150 y 200  $\text{MJ m}^{-2}$  (Cirilo y Andrade, 1994a).

La FS temprana generó similar EUR que la implantación tardía, en ambos años de estudio (Figura 2.13 A). Sin embargo, la implantación temprana expuso al cultivo a un ambiente de mayor RFAinc lo que sumado a una mayor duración de la etapa fenológica, explica la mayor cantidad de MS aérea a floración (Tabla 2.5). Esto es opuesto a lo reportado para zonas templadas, donde el retraso de la FS produjo un incremento en la MS a floración (Pendleton y Egli, 1996; Duncan et al., 1973; Knapp y Reid, 1982; Andrade et al., 1996).

Germoplasma.

El híbrido TR registró mayor duración del periodo vegetativo que TE y TXT, tanto en días como en tiempo térmico, (Tabla 2.2) así como también mayor número de hojas e IAF (Figura 2.6). Estos resultados coinciden con estudios en los que se reportó que maíces tropicales registraron ciclos más largos, mayor área foliar y tamaño de panoja que los templados (Fischer y Palmer, 1984; Johnson et al., 1986; Rattalino y Otegui, 2012). A pesar de las marcadas diferencias en IAF, los porcentajes de intercepción de los diferentes cultivares dentro de cada FS y DEN fueron muy similares entre sí (Figura 2.7), lo cual coincide con lo reportado por otros autores (Rattalino y Otegui, 2012).

Debido a que EUR es afectada por la temperatura (Andrade et al., 1993) y que los cultivares utilizados poseen diferente fondo genético y temperaturas cardinales, se generaron interacciones entre FS y germoplasma. Así, los híbridos TE y TXT incrementaron EUR al adelantar la fecha de implantación en ambos años de experimentos y TR lo hizo al retrasar la fecha de implantación en 2010, con una leve caída en 2009 (Figura 2.10). En México los maíces adaptados a tierras altas están caracterizados por crecer y desarrollarse a temperaturas más bajas que los cultivares mejorados para tierras bajas, con temperaturas óptimas para el crecimiento de 21°C y de 30 a 34°C, respectivamente (Ellis et al., 1992). Esto coincide con los resultados hallados en el año 2010, donde, bajo condiciones de alta temperatura, el híbrido tropical tuvo una mejor adaptación que el templado y lo opuesto ocurrió en la implantación de invierno (Figura 2.10). Estos resultados difieren de estudios realizados recientemente, donde se hallaron valores similares de EUR para cultivares templados y tropicales durante el periodo V15 – floración (Rattalino y Otegui, 2012).

El híbrido TR fue el de mayor producción de MS en el periodo vegetativo debido a su mayor tamaño de planta y cantidad de RFAInt. Por otra parte, los cultivares TE y TXT

presentaron valores muy cercanos de biomasa total en floración, hecho que coincide con una duración del periodo vegetativo y componentes ecofisiológicos similares para ambos híbridos. Estos resultados coinciden con los reportados por otros autores (Johnson et al., 1986; Fischer y Palmer, 1984).

#### Densidad poblacional

El incremento en la densidad de plantas, no afectó la duración de las etapas fenológicas (Tabla 2.2). Sin embargo, produjo un sostenido incremento en el IAF (Figura 2.6), redujo el coeficiente de extinción a floración, generó un mayor porcentaje de intercepción de radiación (Figura 2.7) e incrementó la RFAInt (Tabla 2.3). Dado que EUR no fue afectada por la densidad (Tabla 2.4), la mayor RFAInt explicó la respuesta positiva de MS ante incrementos en la densidad poblacional (Tabla 2.5). Estos resultados coinciden con los presentados por Andrade et al., (1996) y Valentinuz, (1996) reafirmando la estrecha relación existente entre estas variables.

#### ETAPA REPRODUCTIVA

##### Fecha de siembra

Las siembras tempranas disminuyeron la duración en días del periodo reproductivo (Tabla 2.2), dado que el mismo coincidió con las temperaturas más elevadas del año en la región (Figura 2.1). Estos resultados son opuestos a los reportados para zonas templadas, donde la etapa reproductiva no presenta variaciones importantes entre FS de septiembre y diciembre (Andrade et al., 1996). Utilizando modelos de sumatorias térmicas que incluyeron temperaturas máximas, se registró un leve incremento en las sumas térmicas requeridas para completar esta etapa en la FS temprana con respecto a la tardía (Tabla 2.2). Los registros de tiempo térmico fueron mucho mayores cuando la

determinación fue realizada sin incluir la temperatura máxima (datos no mostrados). Otros autores, han reportado que el estrés térmico incrementó las sumas térmicas requeridas para la fase de llenado de granos (Wilhelm et al., 1999). La FS temprana registró una mayor cantidad de RFAInt sólo en 2010, sin diferencias significativas en 2009 (Tabla 2.3). Este resultado se explica por la menor RFAinc en el primer año (Figura 2.2), donde la diferencia entre FS fue de sólo  $32 \text{ MJ m}^{-2}$ , en contraste con el segundo año donde la implantación temprana presentó un incremento de  $126 \text{ MJ m}^{-2}$  con respecto a la tardía. No se encontraron diferencias en EUR entre FS (Tabla 2.4). La FS generó diferencias en la producción de MS sólo en el primer año, a favor de la implantación tardía (Tabla 2.5). Dicha situación se explica principalmente por las condiciones de estrés térmico (Figura 2.1), bajo cociente fototermal (Figura 2.3) y alto DPV (Figura 2.4) para la FS temprana (Tabla 2.1). Estudios realizados recientemente, en maíz han reportado disminuciones en la cantidad de MS producida bajo condiciones de estrés térmico (Cicchino et al., 2010a).

Este resultado no se repitió en el año 2010, donde no hubo diferencias significativas entre épocas de implantación. Sin embargo, la siembra de Agosto generó una mayor cantidad de biomasa, asociada a la mayor cantidad de RFAinc (Figura 2.2) y temperaturas más bajas que las registradas en el año 2009, cercanas a las de la serie histórica para este periodo (Figura 2.1 y Tabla 2.1). Esto coincide con estudios realizados en zonas templadas, donde la MS producida durante el periodo reproductivo disminuyó con el retraso de la FS (Andrade et al., 1996).

### Germoplasma

La duración de la fase reproductiva en días, fue muy similar entre híbridos, con una leve superioridad de TE (Tabla 2.2). Sin embargo, la duración de la etapa medida en tiempo

térmico presentó una importante disminución en TR al pasar de Agosto a Enero en 2010 (Figura 2.5). Este resultado puede explicarse por la menor adaptación de este cultivar a temperaturas moderadamente bajas (Paliwal et al., 2001). La similitud entre híbridos de la duración en días de esta etapa permite explicar la similitud en RFAInt (Tabla 2.3), donde TXT presentó valores levemente inferiores a TE y TR. El híbrido TXT registró una senescencia más acelerada (Figura 2.6) asociada a una alta incidencia de *Cercospora sp.* Para ambos años de estudio, EUR fue mayor para TXT, intermedia para TE y menor para TR (Tabla 4). El análisis conjunto de estas variables, explica la similitud en la producción de MS entre TE y TXT, y la superioridad de estos con respecto a TR (Tabla 2.5).

#### Densidad

La densidad poblacional no afectó la duración del periodo reproductivo (Tabla 2.2). Sin embargo este tratamiento incrementó el IAF (Figura 2.6), el porcentaje de RFAInt (Figura 2.7) y la RFAInt (Tabla 2.3). Esta respuesta de la RFAInt, unida a un leve aumento en EUR, permiten explicar el incremento en la MS producida al aumentar la población (Tabla 2.5), al igual que sucedió en la fase vegetativa.

#### CICLO COMPLETO

##### Fecha de siembra

La implantación temprana produjo un incremento en días de la duración total del ciclo del cultivo con un leve aumento en tiempo térmico (Tabla 2.2), lo cual respondió principalmente a una mayor longitud de la fase vegetativa. Estos resultados son coincidentes con los reportados para zonas templadas (Otegui et al., 1995). Sumado a la mayor duración del ciclo, la FS temprana expuso al cultivo a condiciones de mayor

RFAinc (Figura 2.2), registrando incrementos de 193 y 365  $\text{Mj m}^{-2}$  para 2009 y 2010, respectivamente. Esto generó una mayor cantidad de RFAInt, aunque los porcentajes de intercepción de RFA fueron similares ó menores para la época de siembra de invierno (Tabla 2.3). La EUR fue mayor para la FS tardía cuando esta se analizó a través de todos los tratamientos y años de estudio (Figura 2.13B). Sin embargo, la implantación de invierno generó una mayor producción de MS total (Tabla 2.5), hecho que puede ser explicado por la mayor duración del ciclo, RFAinc y RFAInt. Los menores valores de MS total en la siembra de Agosto del 2009, se explican por las altas temperaturas (Figura 2.1) y bajos valores de radiación solar (Figura 2.2) que se presentaron durante la floración, además de altos valores de DPV (Tabla 2.1). Estos resultados coinciden con los reportados para las regiones de clima templado (Cirilo y Andrade, 1994a) donde implantaciones tempranas (septiembre) generaron mayor cantidad de biomasa que las tardías (diciembre).

### Germoplasma

Los cultivares presentaron diferencias significativas para la duración del ciclo en días y en tiempo térmico, para ambos años de estudio con un orden  $\text{TR} > \text{TE} > \text{TXT}$  (Tabla 2.2). La combinación de diferentes fondos genéticos en TXT produjo un adelantamiento en la floración y un incremento en la duración del periodo reproductivo en proporción a la duración del ciclo total del híbrido. Esto coincide con datos reportados por otros autores que afirman que los incrementos en la duración de la etapa reproductiva pueden lograrse anticipando la fecha de floración (Bolaños, 1995).

Los valores de RFAInt fueron mayores para TR, y menores y similares entre sí para TE y TXT (Tabla 2.3), lo cual se explica por la mayor duración del ciclo y alto IAF de TR comparado con TE y TXT. Sin embargo, TR presentó valores significativamente

menores de EUR que TE y TXT, los cuales no se diferenciaron entre sí (Tabla 2.4). Los cultivares TE y TXT superaron a TR en MS total solo en 2010 (Tabla 2.5). Pese a la mayor capacidad de TR para generar biomasa durante el periodo vegetativo, su menor producción de biomasa durante el periodo reproductivo, hizo que este híbrido fuera el de menor biomasa total a MF (Tabla 2.5). Estos resultados difieren de los hallados en estudios recientes realizados en zonas templadas, donde TR generó mayor cantidad de biomasa total que TE para el ciclo completo del cultivo (Rattalino y Otegui, 2012).

### Densidad

La densidad poblacional no afectó la duración del ciclo total del cultivo (Tabla 2.2). Sin embargo, este tratamiento produjo un importante incremento en la RFAInt (Tabla 2.3) a través del aumento en el IAF (Figura 2.6) y del porcentaje de intercepción de la RFAinc (Figura 2.7). Sólo para 2010 se registró un efecto positivo significativo de la densidad sobre la EUR, aunque la variación fue muy escasa (Tabla 2.4). Así, el incremento de individuos por unidad e superficie, produjo una respuesta positiva en la generación de biomasa total a MF (Tabla 2.5), lo cual puede ser explicado principalmente por el aumento en la RFAInt. Para el año 2009 la baja calidad del ambiente lumínico en la implantación temprana hizo que la respuesta de la biomasa a la densidad poblacional fuera menor, particularmente al pasar de 6,5 a 8 pl m<sup>-2</sup> (Figura 2.12). Este resultado no se repitió en el segundo año, debido a mejores condiciones de radiación y temperatura en la siembra temprana, generando una interacción significativa entre época y densidad (Figura 2.12). Estos resultados coinciden parcialmente con los hallados en Balcarce donde, para siembras de Septiembre y Noviembre, la densidad óptima fue de 11,2 pl m<sup>-2</sup> y 5,7 pl m<sup>-2</sup>, respectivamente (Andrade et al. 1996), demostrando una clara interacción entre estas dos variables.

## CAPÍTULO 3

### RENDIMIENTO Y SUS COMPONENTES

#### 3.1 INTRODUCCIÓN

El rendimiento del cultivo de maíz puede ser expresado como el producto entre el número de granos fijados por unidad de superficie y su peso medio. El primer componente depende del número de granos por espiga, de las espigas por planta y del número de plantas por unidad de área. Por otro lado, el peso promedio de los granos es el resultado de la duración del periodo efectivo de llenado y de la tasa de llenado durante el mismo (Andrade et al, 1996). Las condiciones de crecimiento alrededor de floración determinan el número de granos y su tamaño potencial (Sadras, 2007; Gambín y Borrás, 2010).

El número de granos fijados a cosecha en relación al número potencial, está asociado con la tasa de crecimiento por planta (TCP) alrededor de floración (Tollenaar, 1977) y con la partición de biomasa a espiga durante este periodo (Andrade et al., 1999). Esta capacidad de crecimiento determina la disponibilidad de asimilados para las estructuras reproductivas en desarrollo (Gifford y Evans, 1981). Varios autores han reportado variabilidad genotípica en la partición de biomasa a espiga durante el periodo crítico de fijación de granos (Andrade et al., 2002), así como también en la relación entre el número de granos por planta (NGP) y la tasa de crecimiento de la espiga (TCE) generando diferencias en la eficiencia reproductiva (Echarte et al., 2004; Severini et al., 2011; Laserna et al., 2012). Las prácticas de manejo del cultivo, tales como la densidad poblacional, pueden afectar estos atributos fisiológicos y consecuentemente el número final de granos (Maddonni et al., 2006; Otegui y Andrade, 2000).

La acumulación de peso seco en el grano está determinada por los procesos de crecimiento y desarrollo, y se divide en tres fases. La primera etapa ó fase “lag” ocurre

luego de la fecundación, tiene una duración de aproximadamente dos semanas, dependiendo de la temperatura y durante la misma el grano acumula poco peso. En este lapso ocurre una gran actividad mitótica, fijándose el número de células endospermáticas y gránulos de almidón (Reddy y Daynard, 1983). El número de células y organelas de reserva determinan el peso potencial del grano, el cual está fuertemente relacionado con la tasa de crecimiento por planta alrededor de floración (Gambín et al., 2006) y puede ser afectado por el genotipo y el ambiente (Frey 1981; Jones et al., 1985). Durante la siguiente etapa, el crecimiento del grano es lineal y acumula la mayor parte de su peso. El número de células en esta fase no varía, por lo que el aumento de peso es función del aumento del tamaño de las mismas. La duración y la tasa de crecimiento del grano durante esta etapa definen su peso (Borrás y Gambín, 2010). La duración efectiva del llenado se describe como la relación entre el peso final del grano y su tasa de crecimiento durante la fase lineal de acumulación de peso (Johnson y Tanner, 1972). La tasa y duración de la fase de llenado poseen alta variabilidad genética (Carter y Poneleit, 1973; Daynard et al., 1971) y están influenciadas por el ambiente (Egli, 1998; Andrade y Ferreiro, 1996; Cirilo y Andrade, 1996). Por último, en la tercera etapa, la tasa de crecimiento del grano disminuye hasta hacerse nula. La duración de esta etapa es variable y el momento en el que los granos no acumulan más materia seca se denomina madurez fisiológica (Egli, 1998). Los granos pueden dejar de crecer ya sea por mecanismos internos ó por que la planta cesa la provisión de asimilados ó nutrientes (Egli, 1998; Andrade y Ferreiro, 1996).

En condiciones de alta productividad, la densidad de plantas que permite alcanzar el máximo rendimiento es aquella que asegura el IAF crítico, maximiza la intercepción de la radiación solar al inicio del periodo crítico y asegura la mayor partición de asimilados hacia destinos reproductivos (Vega y Andrade, 2002). El rendimiento del maíz muestra

una respuesta curvilínea a la población de plantas, con un valor ó rango óptimo (Tollenaar y Wu 1999; Echarte et al. 2000; Bavec y Bavec 2001; Sangoi et al., 2002; Sarlangue et al., 2007). Las pérdidas de rendimiento en densidades por encima de la óptima se relacionan con plantas que presentan aborto de granos y espigas (Williams et al., 1968; Karlen y Camp, 1985; Tekio-Kagho y Gardner, 1988; Vega et al., 2001a; Vega et al., 2001b; Ipsilantis y Vafias, 2005). Por otra parte, bajo condiciones de densidades sub óptimas las pérdidas se deben a la escasa plasticidad vegetativa y reproductiva del maíz, existiendo variabilidad genética en estos atributos (Echarte et al., 1998). Por lo tanto, es necesario generar información sobre la densidad poblacional adecuada para cada cultivar y ambiente (Bavec y Bavec, 2002).

La mayor asignación de asimilados a estructuras vegetativas en siembras tardías puede resultar en una reducción en el número de granos por unidad de superficie debido al incremento de la competencia entre destinos vegetativos y reproductivos (Fischer y Palmer, 1984).

La disminución de la radiación no tiene incidencia en la tasa de llenado del grano pero puede acortar la duración de dicho periodo (Andrade y Ferreiro, 1996). Sin embargo, el descenso de la temperatura hacia el final del ciclo en siembras tardías disminuye la tasa y alarga la duración de la fase de llenado de granos (Cirilo y Andrade, 1996). Si bien el número de granos  $m^{-2}$  es el principal componente del rendimiento, las variaciones en el peso individual de los granos pueden producir fuertes variaciones en la productividad del maíz (Borrás et al., 2004; Borrás y Gambín, 2010).

La información sobre el cultivo de maíz en las zonas templadas es mucho mayor que la generada en ambientes tropicales (Paliwal et al., 2001), donde el mejoramiento de este cultivo comenzó más tarde, con menor disponibilidad de recursos y utilizando una estrecha base de recursos genéticos (Paliwal y Sprague, 1981).

Los genotipos tropicales de maíz presentan una limitada capacidad para fijar un alto número de granos por metro cuadrado, a diferencia de los templados. Esta diferencia se explica parcialmente por la adaptación de estos últimos a altas densidades poblacionales, una mayor eficiencia en la fijación de granos por unidad de tasa de crecimiento de planta y una mayor partición de materia seca hacia grano (Aluko et al, 1987, Andrade et al, 1996 Bänziger et al., 2012). Sin embargo, estudios realizados recientemente en zonas templadas determinaron resultados similares para híbridos templados y tropicales en la respuesta de NGP a variaciones de TCP y TCE durante el periodo crítico alrededor de floración (Rattalino y Otegui, 2013).

Híbridos que combinen características de germoplasma tropical y templado pueden alcanzar, en zonas subtropicales y templadas, rendimientos similares a los híbridos templados en fechas de siembra tempranas, y rendimientos mayores, y mejor tolerancia a enfermedades y a altas temperaturas en fechas tardías. Adicionalmente, en zonas tropicales, pueden alcanzar productividades similares ó mayores a las de los híbridos tropicales en fechas de siembra de estación (Diciembre – Enero) (Metzler et al., 2007).

### **3.1.1 HIPÓTESIS:**

1. Existen interacciones entre fecha de siembra, cultivares de maíz (tropical, tropical x templado y templado) y densidad poblacional para el rendimiento en grano y sus componentes ecofisiológicos y numéricos en el área de riego del Río Dulce, Santiago del Estero.

2. Los cultivares templado y tropical x templado presentan rendimientos más altos en siembras tempranas y altas densidades poblacionales, mientras que el tropical lo hace en siembras tardías y densidades medias. Los rendimientos máximos se logran con el cultivar templado a alta densidad en fechas tempranas.

3. La eficiencia en la fijación de granos por unidad de tasa de crecimiento por planta y los granos fijados por unidad de tasa de crecimiento de espiga es mayor en el híbrido templado, intermedia en el tropical x templado y menor en el tropical.

### **3.1.2 OBJETIVOS DEL CAPITULO**

\* Determinar para el cultivo de maíz en el área de riego del Río Dulce de Santiago del Estero, los efectos de época de siembra, germoplasma y densidad de plantas sobre el rendimiento en grano y sus componentes.

\* Estudiar los mecanismos involucrados en la determinación del rendimiento a través de las relaciones entre número granos por planta, tasa de crecimiento por planta y tasa de crecimiento por espiga.

## **3.2 MEDICIONES**

### **3.2.1 Caracterización del crecimiento por planta**

Producción de materia seca por planta en prefloración y postfloración: Se realizó por medio de modelos alométricos considerando las metodologías utilizadas en diferentes trabajos como Vega et al. 2000, 2001b; Borrás y Otegui, 2001; Maddonni y Otegui, 2004; Pagano y Maddonni, 2007 y D'Andrea et al. 2008. Los parámetros de los modelos se obtuvieron a partir del muestreo destructivo de 5 – 8 plantas por parcela, separando la espiga del resto de la planta. Se midió altura de planta, diámetro del tallo en la base del mismo y diámetro de la espiga, según la metodología seguida por Vega et al., 2000. Una vez establecidos los modelos para la estimación de biomasa por planta y biomasa por espiga, se midieron las variables que los integran, en 15 plantas marcadas en el surco central de cada parcela.

A partir de las estimaciones de biomasa por planta en los momentos fenológicos de pre floración y post floración se determinó la tasa de crecimiento por planta (TCP) y por espiga (TCE) para el intervalo de tiempo entre los dos momentos fenológicos. Se midió el número de granos por planta individual (NGP) por conteo de granos. A partir de estos registros se determinó para cada planta la relación entre NGP – TCP, y NGP – TCE mediante modelos curvilíneos.

En base a su ajuste se obtuvieron modelos para estimar biomasa por planta en la siembra de Agosto de 2009, que fueron utilizados también para realizar las estimaciones de esta variable en los experimentos realizados en 2010 (Tabla 3.1), debido a que en el segundo año no se obtuvo un buen ajuste, salvo para el híbrido TE en Enero 2010. La selección de los modelos se basó en la bondad de ajuste de los mismos ( $R^2$ ).

Tabla 3.1: Modelos utilizados para la estimación de biomasa por planta al inicio y al final del periodo crítico de determinación del número de granos por planta.

	Pre floración <sup>1</sup>				Post floración <sup>2</sup>							
	Biomasa tallo + hojas				Biomasa tallo + hojas				Biomasa espiga <sup>3</sup>			
Agosto	a	b	N	R <sup>2</sup>	C	d	N	R <sup>2</sup>	f	g	n	R <sup>2</sup>
TE 2009	35,90	0,12	54	0,74	46,71	0,07	54	0,75	2,93	-18,4	54	0,70
TXT 2009	27,64	0,12	54	0,90	47,09	0,09	54	0,80	3,31	-19,0	54	0,72
TR 2009	13,97	0,20	54	0,87	28,45	0,18	54	0,85	1,95	-15,5	54	0,82
Enero												
TE 2010	9,68	0,08	53	0,92	21,15	0,09	51	0,84	1,31	-13,8	54	0,75

<sup>1</sup>Biomasa = a + b\*Volumen del tallo

<sup>2</sup>Biomasa= c + d\*volumen del tallo + biomasa de espiga

<sup>3</sup>Biomasa de espiga = f\*e<sup>-diámetro/g</sup>

Se caracterizó la curva de llenado de granos en días y en grados día realizando muestreos cada 7 – 10 días a partir de finalizada la floración. La toma de muestras se efectuó de acuerdo a la metodología propuesta por Tollenaar y Daynard (1978). Se extrajeron 5 granos del tercio medio de cada espiga de 3 plantas por parcela en cada determinación, conformando una muestra de 15 granos. La duración del periodo efectivo de llenado de granos y la tasa de llenado en el mismo periodo se calculó

mediante modelos determinados por el programa TBL Curve (Jandel, 1994). Se utilizó un modelo bilineal para comparar los parámetros que caracterizan el crecimiento de los granos entre diferentes cultivares:

$$PG = a + b * x \quad (1)$$

$$PG = a + b * c \quad (2)$$

Si  $x < c$ , PG = función (1)

Si  $x > c$ , PG = función (2)

Donde a es el intercepto (mg), b es la tasa de llenado de grano ( $\text{mg grano}^{-1} \text{ día}^{-1}$  ó  $\text{mg grano}^{-1} \text{ °Cd}$ ), c es la duración del periodo efectivo de llenado de grano (días y °Cd), x son los días ó °Cd desde floración hasta madurez fisiológica.

### 3.2.2 Rendimiento en grano y sus componentes

El rendimiento en grano fue determinado cosechando a mano todas las espigas de 10 m lineales de los dos surcos centrales de cada unidad experimental. Las mismas fueron trilladas mediante una máquina estacionaria, determinando la humedad de los granos con un higrómetro portátil de alta precisión Delver modelo HD1021J.

El peso seco de grano se calculó contando 1000 granos que fueron secados en estufa con circulación forzada de aire (65° C) hasta peso constante. El número de granos  $\text{m}^{-2}$  fue calculado mediante el cociente entre rendimiento en grano (sobre base seca) y el peso del grano.

El índice de cosecha (IC) se calculó en madurez fisiológica como el cociente entre el peso seco de los granos y el de la biomasa aérea, por unidad de superficie.

Se determinó el número de plantas quebradas y volcadas en cada unidad experimental, expresando sus valores como porcentaje del número de plantas totales por parcela.

A partir de NGP a cosecha y TCP durante el periodo crítico, se determinó la relación entre ambas variables y su efecto sobre el peso potencial de los granos (Gambín et al., 2006).

### **3.2.3 Análisis estadísticos**

Las variables de interés se evaluaron mediante ANOVA. Las medias se compararon utilizando la prueba de la diferencia mínima significativa (DMS) con un nivel de significancia del 5%. Todos los análisis se hicieron utilizando el software InfoStat (Di Rienzo et al., 2011).

Se utilizó asimismo análisis de regresión para estudiar la relación entre variables de interés y las diferencias entre parámetros del modelo fueron evaluados mediante el test T (Steel y Torrie, 1960). Para ajustar los modelos que estimaron el llenado de granos se utilizó el programa Table Curve (Jandel, 1994).

## **3.3 RESULTADOS**

### **3.3.1 Rendimiento en grano.**

Todos los tratamientos determinaron diferencias significativas para esta variable (Tabla 3.2). Durante el primer año de ensayo, el rendimiento promedio en la siembra de invierno fue mucho menor que en la de verano (9006 y 11330 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente), al contrario de lo ocurrido en 2010. Esto fue resultado de la menor radiación incidente durante el periodo crítico de determinación del número de granos y la fase de llenado (Cap. 2, Figura 2.2 y Tabla 2.1) y de las altas temperaturas que coincidieron con la floración del híbrido TR (40,4 °C de temperatura máxima).

Tabla 3.2: Rendimiento (14,5% humedad), número y peso seco de granos e índice de cosecha para dos fechas de siembra, tres híbridos de maíz y tres densidades poblacionales durante las campañas 2009 y 2010.

Fecha	Híbrido	Densidad (pl m <sup>-2</sup> )	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )		N° de granos m <sup>-2</sup>		Peso de 1000 granos (gr)		Índice de cosecha		
			2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	
Enero	TE	5	10245	8663	2971	2586	301	293	0,45	0,47	
		6,5	10725	10005	3165	3141	295	278	0,47	0,44	
		8	11659	10174	3539	3185	288	279	0,48	0,45	
	TXT	5	11194	9856	2709	2556	361	336	0,47	0,50	
		6,5	12153	10880	3283	2998	323	317	0,48	0,48	
		8	12797	11652	3492	3378	320	301	0,48	0,48	
	TR	5	10622	9238	2855	2603	325	310	0,44	0,46	
		6,5	11853	10247	3486	3091	297	289	0,47	0,46	
		8	10727	10431	3241	3149	289	289	0,47	0,46	
Agosto	TE	5	8930	9929	2764	3058	282	283	0,40	0,44	
		6,5	9659	11417	3125	3592	270	277	0,41	0,44	
		8	10343	12241	3362	3898	268	274	0,41	0,44	
	TXT	5	8710	10532	2415	2812	315	327	0,41	0,43	
		6,5	9588	11690	2820	3243	297	315	0,40	0,44	
		8	9957	11928	3099	3417	280	305	0,38	0,47	
	TR	5	7858	9729	2218	2824	309	301	0,37	0,43	
		6,5	8033	10647	2345	3214	299	289	0,37	0,45	
		8	7982	10878	2308	3361	301	283	0,36	0,44	
			DMS 1	433	463	264	231	14	13	0,02	0,03
			DMS 2	493	296	136	85	7	5	0,01	0,01
	<b>FUENTE DE VARIACIÓN</b>										
		GER	***	***	***	***	***	***	**	***	
		DEN	***	***	***	***	***	***	NS	NS	
		FS	***	**	**	**	**	NS	***	NS	
		GERXDEN	NS	NS	**	NS	NS	NS	NS	NS	
		GERXFS	***	***	***	***	***	NS	NS	**	
		DENXFS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**	
		DENXGERXFS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	

Referencias: \*\* p<0,05; \*\*\* p<0,01; NS: no significativo. DMS: Diferencia mínima significativa; 1 para FS y 2 para GER y DEN.

El rendimiento presentó interacciones significativas FS X GER en ambos años de ensayo (p<0,0014 y p<0,0008, para 2009 y 2010, respectivamente, Tabla 3.2). Ello se debió a que el híbrido TE se comportó de manera diferente según la época de implantación, así para la FS de Agosto TE y TXT presentaron rendimientos similares superando ambos a TR, en cambio para la FS de Enero TE y TR generaron rendimientos similares entre sí e inferiores a TXT (Figura 3.1).

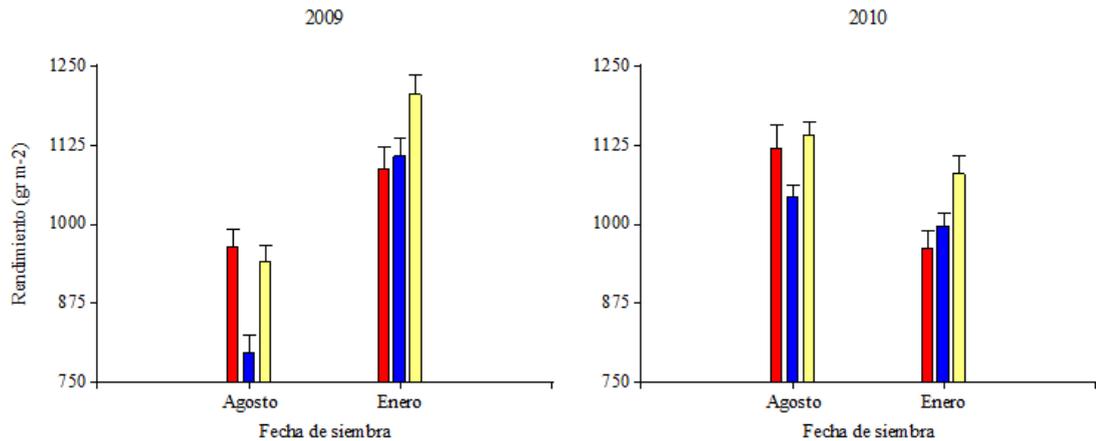


Figura 3.1: Rendimiento en grano para dos fechas de siembra y tres híbridos de maíz durante las campañas 2009 y 2010. Rojo; TE, azul TR y amarillo; TXT. Promedio de tres densidades. Las barras indican el error estándar.

La interacción GER X DEN para rendimiento en grano no fue significativa pero en el primer año de ensayo se observó una tendencia diferente para la implantación de Enero, debida a un menor rendimiento de TR cuando la densidad poblacional aumentó de 6,5 a 8 pl m<sup>-2</sup>, en los demás casos la producción de grano para este híbrido llegó a un techo al pasar de la densidad intermedia a la alta (Tabla 3.2). El incremento del número de individuos por unidad de superficie aumentó siempre el rendimiento de los híbridos TE y TXT.

Se determinaron diferencias significativas entre densidades poblacionales en ambos años de estudio ( $p < 0,0008$  y  $p < 0,0001$ , para 2009 y 2010 respectivamente, Tabla 3.2). En 2009 las poblaciones de 6,5 y 8 pl m<sup>-2</sup> no se diferenciaron entre sí, pero sí lo hicieron de 5 pl m<sup>-2</sup>. En 2010 las tres densidades se diferenciaron significativamente, con una respuesta positiva del rendimiento ante el incremento de esta variable. El aumento de 5 a 6,5 pl m<sup>-2</sup> generó una ganancia significativa del rendimiento de 7,7 y 12,0% para 2009 y 2010, respectivamente, mientras que al pasar de 6,5 a 8 pl m<sup>-2</sup> los incrementos fueron sólo de 2,3 y 3,7% para 2009 y 2010, respectivamente (Tabla 3.2).

### 3.3.2 Número de granos por metro cuadrado.

El número de granos por unidad de superficie fue el componente que más contribuyó a explicar las variaciones en el rendimiento a través de ambos años de ensayo (Figura 3.2). Los mecanismos involucrados en su determinación serán tratados con detalle en la siguiente sección.

Para el primer año, las diferencias de rendimiento entre FS fueron resultado de variaciones de número y peso de granos (17,5% y 9,3%, respectivamente), en cambio para el segundo año las variaciones del rendimiento entre FS fueron producto del número de granos por unidad de área (6,8%) y en menor medida del peso de grano (1,4%), el cual no presentó diferencias significativas (Tabla 3.2).

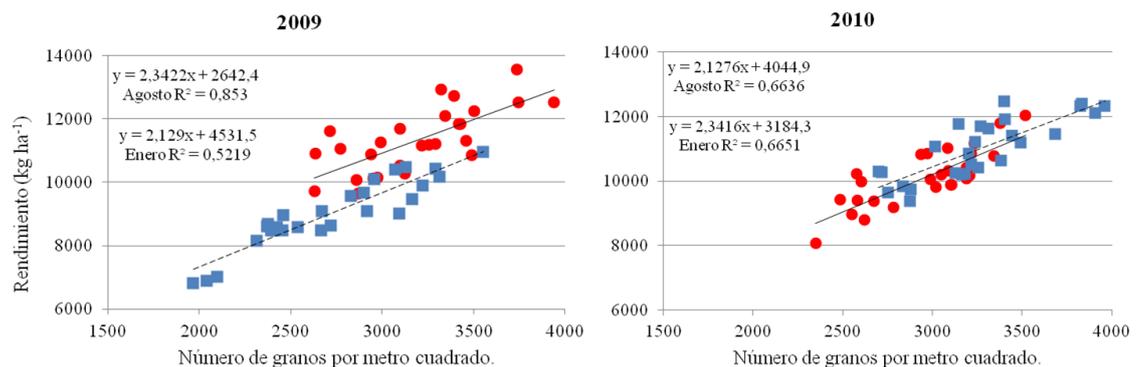


Figura 3.2: Rendimiento en grano ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) en función del número de granos por unidad de superficie. Enero: círculos rojos y línea llena. Agosto: cuadrados azules y línea punteada.

Todos los tratamientos evaluados produjeron diferencias significativas en NG para ambos años de ensayo (Tabla 3.2).

Las fechas de siembra generaron diferencias significativas en NG en ambos años (Tabla 3.2). En el primer año la implantación de Enero superó a la de Agosto debido principalmente a una baja fijación de granos en el híbrido tropical, que estuvo expuesto a altas temperaturas en el momento de floración (Cap. 2, Figura 2.1 y Tabla 2.1). Estas condiciones no se repitieron en el segundo año, en el cual la fecha de siembra temprana

dio como resultado la mayor fijación de granos por  $m^2$  en respuesta a una mayor cantidad de RFAInt (Cap. 2).

Los híbridos presentaron diferencias en NG que se mantuvieron a través de FS y años (TE>TXT>TR), pero la siembra de Agosto generó una mayor amplitud en las diferencias en comparación con la fecha tardía donde los valores fueron muy similares para los tres cultivares. Ello produjo una interacción significativa entre la época de siembra y el germoplasma (Tabla 3.2).

El rendimiento presentó una alta correlación con NG en los tres híbridos a través de años, FS y densidades poblacionales (Figura 3.3). La respuesta del rendimiento ante cambios en NG por unidad de área, presentó valores muy similares entre híbridos. Sin embargo, para un mismo valor de NG los cultivares generaron diferentes rendimientos en orden TXT>TR>TE. Este comportamiento puede ser explicado por el componente PG que será tratado más adelante.

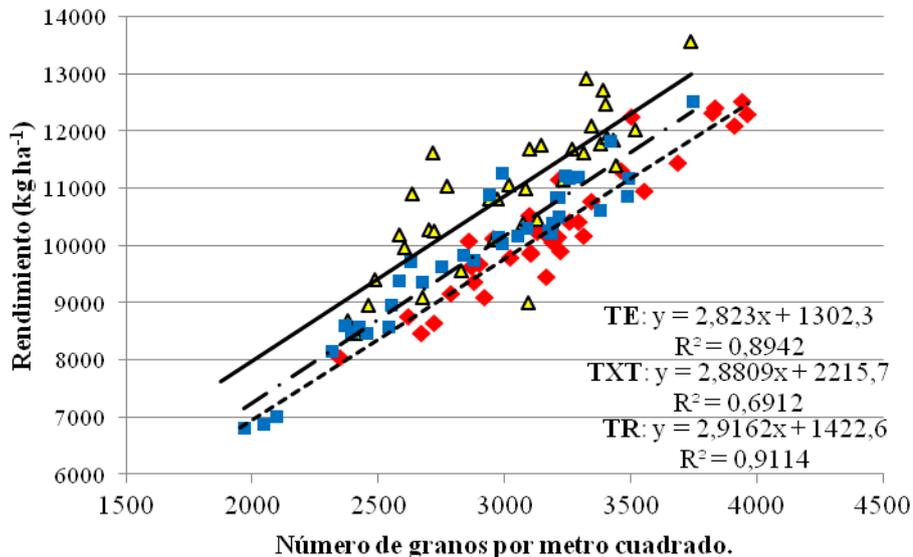


Figura 3.3: Rendimiento en función del número de granos por  $m^{-2}$  para tres híbridos de maíz a través de dos años de estudio, dos fechas de siembra y tres densidades poblacionales. TE: símbolos rojos (línea punteada); TXT: símbolos amarillo (línea llena) y TR: símbolos azules (línea de cortes y puntos).

La interacción GER X DEN también resultó significativa (Tabla 3.2) debido a una caída en el número de granos por  $m^{-2}$  en TR cuando se pasó de 6,5 a 8 pl  $m^{-2}$  en el primer año de ensayo, mientras que los demás híbridos presentaron una respuesta positiva de esta variable ante incrementos en la población. En el segundo año de estudio, el incremento del número de plantas produjo un aumento de NG para los tres cultivares sin interacciones significativas.

El incremento de la densidad poblacional produjo diferencias significativas de NG en ambos años, con aumentos de 14,4 y 17,3% al pasar de 5 a 6,5 pl  $m^{-2}$  en 2009 y 2010, respectivamente. Este efecto se vió atenuado al incrementar la población de 6,5 a 8 pl  $m^{-2}$  con ganancias de 4,5 y 5,7% en 2009 y 2010, respectivamente, diferencias que resultaron también significativas (Tabla 3.2).

### **3.3.2.1 Determinación del número de granos por planta (NGP).**

Para aportar información sobre los mecanismos involucrados en la fijación de granos por planta de los híbridos bajo estudio, se realizaron mediciones alométricas a partir de la implantación de Agosto del 2009 (segunda siembra de ensayos). Las densidades poblacionales generaron amplias variaciones en TCP y TCE, que permitieron evaluar la respuesta diferencial entre híbridos en NGP (Tabla 3.3). Los híbridos difirieron tanto en TCP como en TCE registrando un orden TR>TXT>TE. Sin embargo, para NGP los resultados fueron opuestos mostrando un orden TE>TXT>TR. El análisis de las relaciones NGP/TCP y NGP/TCE, mostró que el híbrido TE superó a TXT y ambos presentaron mayores valores que TR, cultivar que registró la menor eficiencia de fijación de granos. El cultivar TE generó la mayor partición a espiga, ó relación TCE/TCP superando significativamente a TXT y TR que no se diferenciaron entre sí.

Tabla 3.3: Tasa de crecimiento por planta (TCP), tasa de crecimiento de espiga (TCE), número de granos por planta (NGP), relación entre número de granos por planta y tasa de crecimiento por planta (NGP/TCP), relación entre número de granos por planta y tasa de crecimiento de espiga (NGP/TCE) y relación entre tasa de crecimiento de espiga y tasa de crecimiento por planta (TCE/TCP). Datos promedio de dos años de estudio, dos fechas y tres densidades de siembra.

Híbrido	TCP	TCE	NGP	NGP/TCP	NGP/TCE	TCE/TCP
Te	2,87 c	1,45 c	521 a	182 a	364 a	0,50 a
TxT	4,75 b	1,75 b	481 ab	101 b	280 b	0,37 b
Tr	5,55 a	2,19 a	458 b	83 c	211 c	0,39 b
p-valor	<0,0001	<0,0001	0,0097	<0,0001	<0,0001	<0,0001
<b>DMS</b>	<b>0,32</b>	<b>0,20</b>	<b>41</b>	<b>8</b>	<b>17</b>	<b>0,02</b>

\*Letras diferentes indican diferencias significativas. DMS: diferencia mínima significativa.

A pesar de que TR alcanzó valores mucho más altos de TCP que TE, este último pudo fijar mayor cantidad de NGP que TR con un comportamiento intermedio de TXT (Figura 3.4). Los datos generados no permitieron determinar los valores umbrales de TCP para fijar granos como tampoco los valores potenciales de NGP para los diferentes cultivares.

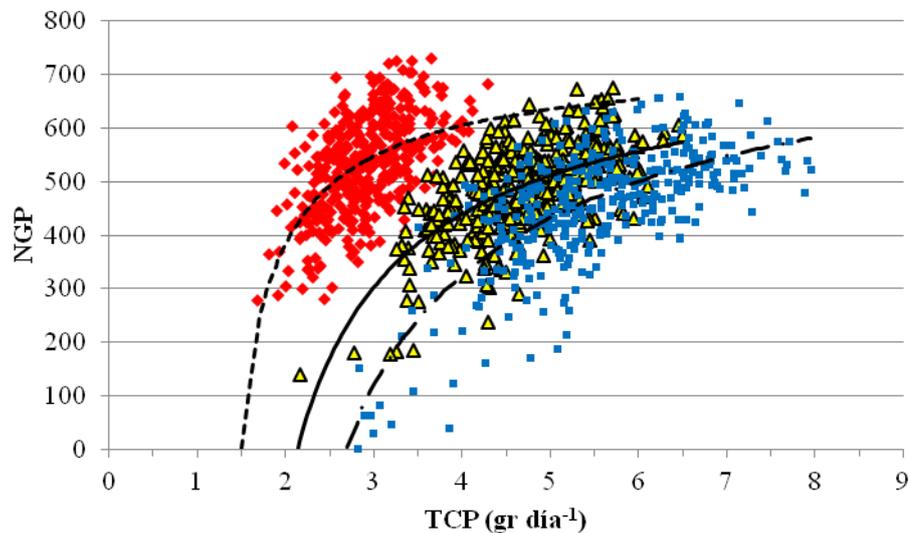


Figura 3.4: Número de granos por planta (NGP) a madurez fisiológica en función de la tasa de crecimiento por planta (TCP) a través de dos años de estudio, dos fechas y tres densidades de siembra. TE: símbolos rojos (línea punteada); TXT: símbolos amarillo (línea llena) y TR: símbolos azules (línea de cortes y puntos). Parámetros de los modelos en Tabla 3.4.

Sin embargo, través de los modelos generados (Tabla 3.4) se pudo estimar el valor umbral ó mínimo de TCP para fijación de granos, resultando más bajo para TE (1,44 gr

d<sup>-1</sup>), intermedio para TXT (2,10 gr d<sup>-1</sup>) y alto para TR (2,64 gr d<sup>-1</sup>; Figura 3.4). Según el ajuste de los modelos, TCE fue un mejor estimador de NGP que TCP (Tabla 3.4).

Tabla 3.4: Parámetros de los diferentes modelos utilizados para describir las relaciones entre NGP, TCP y TCE.

NGP - TCP <sup>1</sup>	TE	p-valor	TXT	p-valor	TR	p-valor
a	824,0	<0,0001	954,2	<0,0001	1093,6	<0,0001
b	-302,4	<0,0001	-709,9	<0,0001	-1059,8	<0,0001
R <sup>2</sup>	0,31		0,4		0,52	
NGP - TCE <sup>2</sup>	TE	p-valor	TXT	p-valor	TR	p-valor
a	1060,0	<0,0001	906,7	<0,0001	993,3	<0,0001
b	-629,8	<0,0001	-535,8	<0,0001	-765,5	<0,0001
R <sup>2</sup>	0,52		0,56		0,64	
TCE - TCP <sup>3</sup>	TE	p-valor	TXT	p-valor	TR	p-valor
a	-0,08	0,2999	-0,47	<0,0001	-0,51	<0,0001
b	0,53	<0,0001	0,47	<0,0001	0,49	<0,0001
R <sup>2</sup>	0,51		0,55		0,72	
n	376		374		373	

<sup>1</sup> modelo para relación NGP – TCP:  $y=a+b/\ln x$

<sup>2</sup> modelo para relación NGP – TCE:  $y=a+b/x^{0.5}$

<sup>3</sup> modelo para relación TCE – TCP:  $y=a+b*x$ .

Al analizar TCE, los modelos estimaron valores umbrales de fijación de granos similares para TE y TXT (0,77 gr d<sup>-1</sup>) y mayores para TR (0,88 gr d<sup>-1</sup>). El híbrido TE presentó la mayor eficiencia de fijación de granos por unidad de TCE, con un comportamiento intermedio para TXT, y valores mínimos para TR (Figura 3.5).

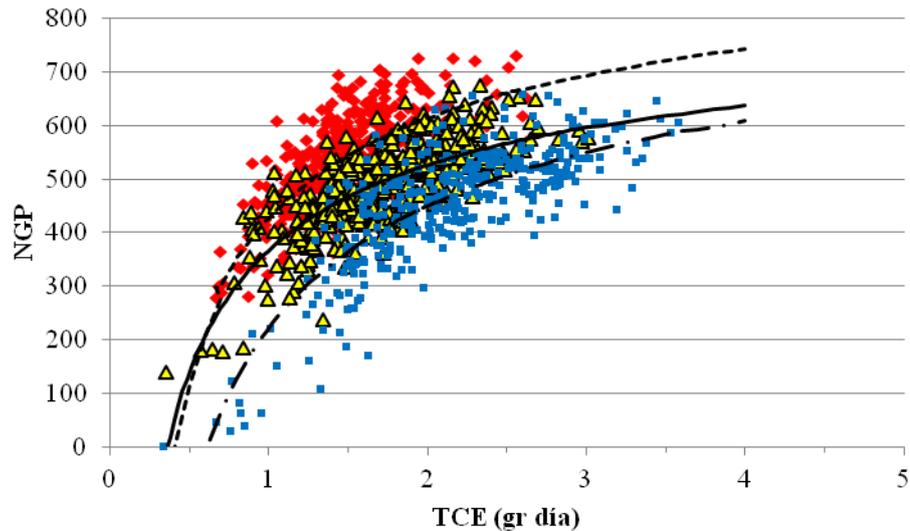


Figura 3.5: Número de granos por planta (NGP) a madurez fisiológica en función de la tasa de crecimiento de espiga (TCE) para dos años de estudio, dos fechas y tres densidades poblacionales. TE: símbolos rojos (línea punteada); TXT: símbolos amarillo (línea llena) y TR: símbolos azules (línea de cortes y puntos). Parámetros de los modelos en Tabla 3.4.

A pesar de que TE presentó una mayor eficiencia de partición de biomasa a espiga que TXT y TR (Tabla 3.3), los cultivares TXT y TR generaron valores de TCP mucho las altos que TE por lo que lograron generar mayor biomasa en espiga (Figura 3.6).

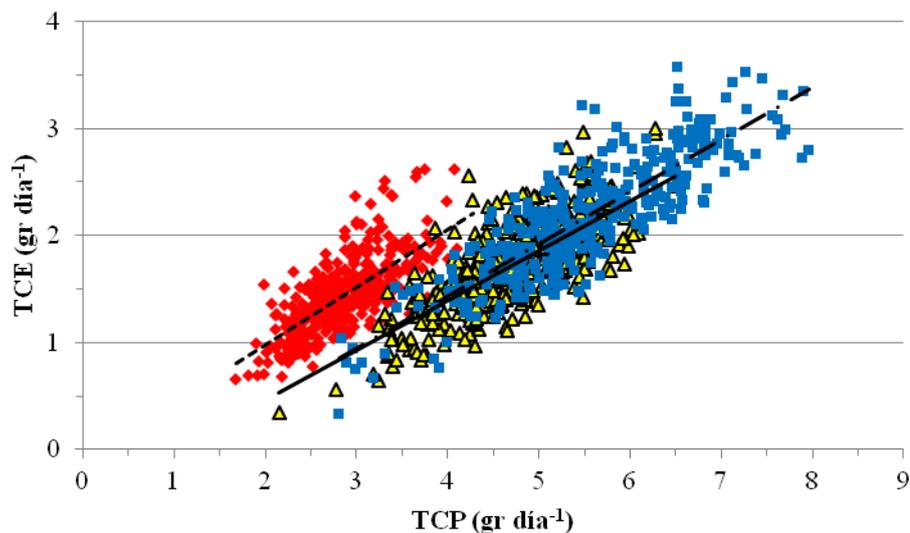


Figura 3.6: Tasa de crecimiento de espiga (TCE) en función de la tasa de crecimiento por planta (TCP) para dos años de estudio, dos fechas y tres densidades de siembra. TE: símbolos rojos (línea punteada); TXT: símbolos amarillo (línea llena) y TR: símbolos azules (línea de cortes y puntos). Parámetros de los modelos en Tabla 3.4.

Esta ventaja, no se tradujo en mayor NGP en estos cultivares (Figura 3.5). Así, el cultivar TXT presentó una partición a espiga muy similar a TR (Figura 3.6) con una eficiencia de fijación levemente inferior a TE (Figura 3.5) lo cual permite explicar la mejora en este cultivar con respecto a TR en su capacidad de fijación de granos por unidad de TCP (Figura 3.4).

### 3.3.3 Peso del grano.

El peso individual de los granos presentó una baja asociación con el rendimiento en grano, con un valor máximo de  $R^2$  de 0,076 para Agosto del 2010. Por otra parte, esta variable respondió con una leve caída ante el incremento del número de granos por unidad de superficie (Figura 3.7).

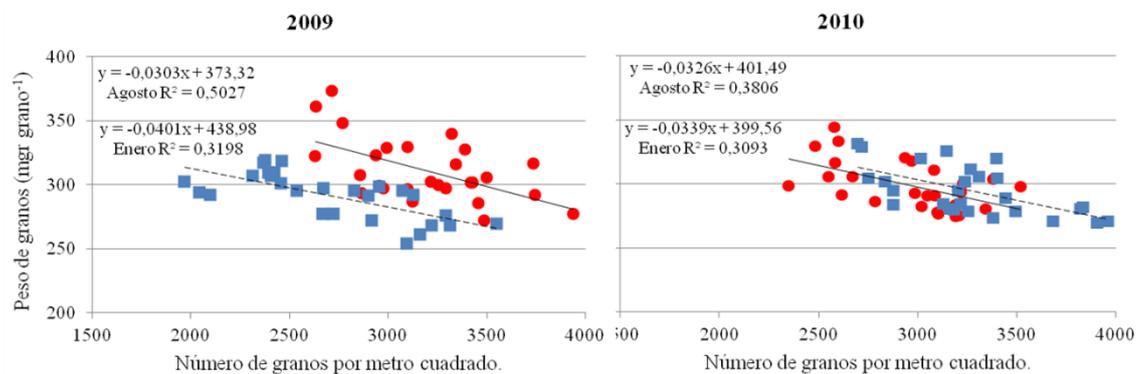


Figura 3.7: Peso de granos en función del número de granos por unidad de superficie. Enero: círculos rojos y línea llena. Agosto: cuadrados azules y línea punteada.

Los híbridos y las densidades poblacionales generaron diferencias significativas en el peso de grano (PG) en ambos años de estudio, mientras que FS sólo lo hizo en el primer año (Tabla 3.2). Se determinó una interacción significativa sólo entre híbridos y época de implantación en el año 2009. Ello se debió a una fuerte caída de PG para TE y TXT en la FS de Agosto con respecto a Enero, mientras que TR se mantuvo estable en ambas épocas de siembra (Figura 3.8).

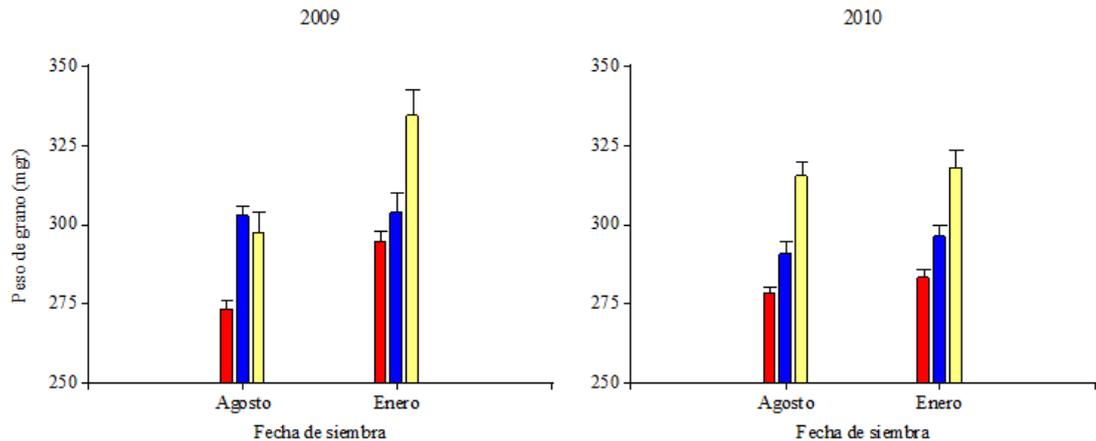


Figura 3.8: Peso del grano para tres híbridos de maíz y dos fechas de siembra en las campañas 2009 y 2010. Rojo: TE, azul: TR y amarillo: TXT. Promedio de tres densidades. Las barras indican el error estándar.

Esta situación se puede explicar por las condiciones ambientales durante el periodo crítico en 2009, donde tanto la temperatura como la radiación solar fueron más favorables para la implantación de verano (Tabla 2.1).

Al analizar la respuesta de PG en función de la tasa de crecimiento del cultivo por grano fijado durante el periodo crítico, la cual puede afectar el peso potencial de los granos, se puede observar que esta variable presentó valores más altos en la siembra de Enero y que el rango de valores de TCC por grano fijado fue similar en ambas fechas de siembra (Figura 3.9). Estos resultados no se repitieron en el segundo año donde PG mostró una tendencia más estable a través de FS (Figura 3.8) y las relaciones entre PG y la disponibilidad de asimilados por grano durante el periodo crítico no tuvieron un buen ajuste (Figura 3.9) debido, posiblemente, a un menor rango de variación de TCC por grano.

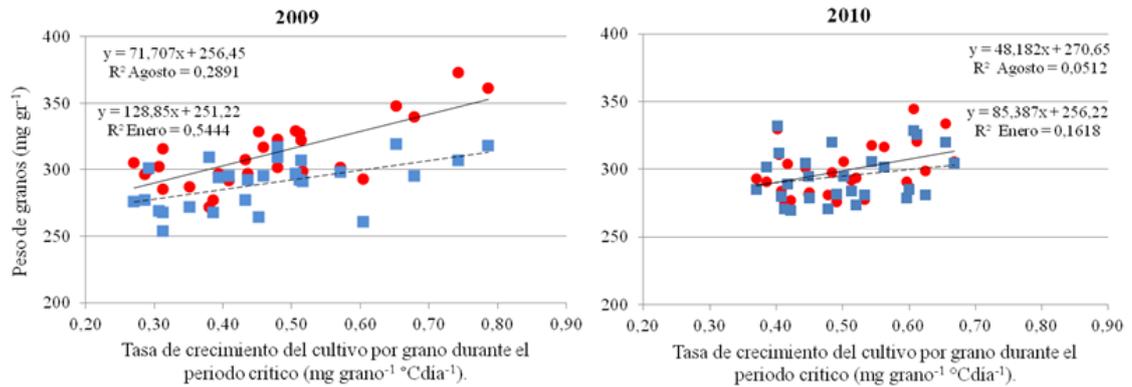


Figura 3.9: Peso de granos en función de la tasa de crecimiento del cultivo por grano durante el periodo crítico ( $\text{mg grano}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C día}^{-1}$ ). Enero: círculos rojos y línea llena. Agosto: cuadrados azules y línea punteada.

Al relacionar PG con la disponibilidad de fuente por grano durante el periodo post floración – madurez fisiológica, se obtuvo una aceptable correlación sólo para el segundo año de experimento con importantes diferencias en la respuesta de PG entre años (Figura 3.10). Así, para 2010 la variación de PG estuvo mejor explicada por la disponibilidad de fuente que en 2009. La escasa respuesta de PG ante el incremento de fuente puede explicarse por una limitación en los destinos reproductivos durante el primer año, donde la fijación de granos fue menor para esa combinación ambiente – genotipo.

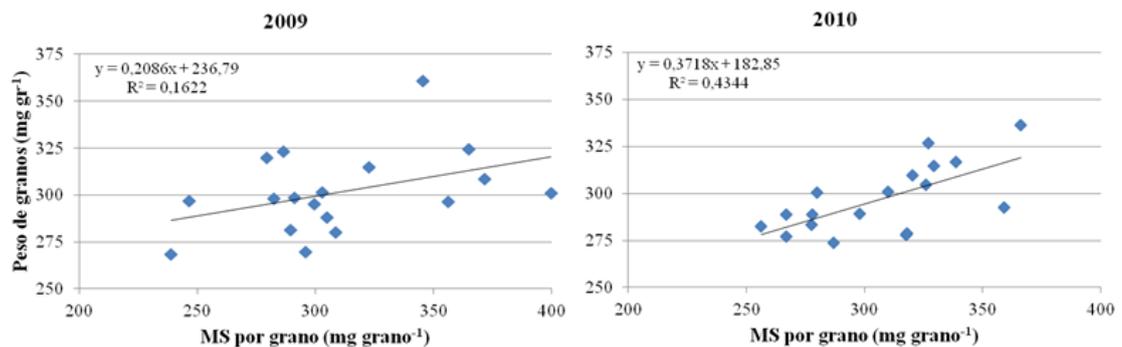


Figura 3.10: Peso de granos en función de la materia seca por grano (fuente) durante el periodo post floración – madurez fisiológica ( $\text{mg grano}^{-1}$ ). Valores promedio de 3 repeticiones.

El híbrido TXT fue el de mayor PG seguido por TR y TE. En el año 2009 las diferencias entre los tres cultivares fueron significativas, mientras que en el año 2010 TXT y TR no se diferenciaron entre sí, pero ambos lo hicieron de TE, que registró el

menor PG (Tabla 3.2). El incremento en la densidad de plantas redujo PG, con diferencias significativas en ambos años de ensayo. En el año 2009 el aumento de la densidad de 5 a 6,5 pl m<sup>-2</sup> produjo una caída en PG del 5,9%, y al pasar de la densidad intermedia a 8 pl m<sup>-2</sup> su valor disminuyó 1,8%, diferencia que no resultó significativa. No ocurrió lo mismo en el año 2010 donde las tres densidades se diferenciaron significativamente entre sí, con una baja del 4,6 y 2,0% al pasar de 5 a 6,5 y de 6,5 a 8 pl m<sup>-2</sup>, respectivamente (Tabla 3.2). Las densidades más bajas y la FS de Enero produjeron los PG más elevados en 2009 y 2010 (Tabla 3.2).

Si bien la interacción germoplasma x densidad poblacional para PG no fue significativa, la diferencia entre híbridos fue mucho mayor en la menor densidad. Las variaciones en TE fueron menores que en TXT y TR, los cuales registraron un mayor aumento en PG al pasar de la densidad máxima a valores intermedios ó bajos (Tabla 3.2).

### **3.3.3.1 Periodo efectivo de llenado de granos**

La duración de la fase lineal del llenado de granos medida en tiempo térmico presentó diferencias significativas entre FS para ambos años de estudio. Los cultivares difirieron sólo en el segundo año y las densidades poblacionales no afectaron a esta variable (Tabla 3.5). La única interacción significativa se generó entre FS y cultivares en el año 2009.

El peso final del grano se asoció significativamente con la tasa de crecimiento del mismo durante la etapa lineal de llenado, con muy baja correlación con la duración de esta etapa.

Al igual que en los resultados hallados para la duración total del periodo reproductivo donde se registró una mayor acumulación de tiempo térmico cuando la implantación se realizo en Agosto (Cap. 2, Tabla 2.2), las sumas térmicas para el periodo lineal del llenado de granos fueron significativamente superiores para la siembra de invierno

( $p < 0,0125$  y  $p < 0,0018$  para 2009 y 2010, respectivamente). Estos resultados pueden ser atribuidos a los altos valores de temperaturas máximas y DPV (Cap. 2).

Tabla 3.5: Duración de llenado de granos en días, grados día y tasa de llenado de granos para dos fechas de siembra, tres híbridos de maíz y tres densidades poblacionales durante las campañas 2009 y 2010.

		Llenado de granos							
Fecha	Híbrido	Densidad (pl m <sup>-2</sup> )	duración (días)		duración (°C d)		Tasa (mg °C)		
			2009	2010	2009	2010	2009	2010	
Enero	TE	5	49,3	55,4	686	673	0,50	0,51	
		6,5	50,8	57,8	700	678	0,49	0,47	
		8	53,2	57,0	718	671	0,44	0,48	
	TXT	5	47,3	53,7	653	626	0,62	0,60	
		6,5	53,4	54,0	719	665	0,55	0,60	
		8	52,0	51,1	703	632	0,57	0,58	
	TR	5	52,4	59,6	676	703	0,54	0,53	
		6,5	51,5	59,3	638	697	0,49	0,54	
		8	50,9	57,0	668	686	0,50	0,54	
	Agosto	TE	5	45,5	53,4	855	916	0,43	0,41
			6,5	45,4	51,6	851	897	0,41	0,41
			8	45,9	53,6	845	928	0,39	0,40
TXT		5	41,7	51,9	781	887	0,58	0,50	
		6,5	46,0	50,8	861	869	0,47	0,51	
		8	44,5	53,1	788	908	0,50	0,45	
TR		5	46,2	53,1	879	927	0,42	0,44	
		6,5	48,4	52,8	905	921	0,41	0,42	
		8	47,9	51,9	877	906	0,42	0,43	
			DMS1	4,5	3,0	80	43	0,02	0,02
			DMS2	1,5	2,1	23	21	0,01	0,01
FUENTE DE VARIACIÓN									
		GER	**	**	NS	***	***	***	
		DEN	***	NS	NS	NS	***	NS	
		FS	**	**	**	***	***	***	
		GERXDEN	NS	NS	NS	NS	***	NS	
		GERXFS	NS	NS	***	NS	**	NS	
		DENXFS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
		DENXGERXFS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	

Referencias: \*\*  $p < 0,05$ ; \*\*\*  $p < 0,01$ ; NS: no significativo. DMS: Diferencia mínima significativa; 1 para FS y 2 para GER y DEN.

Los híbridos presentaron diferencias significativas en la duración del periodo efectivo de llenado de granos, medida en tiempo térmico, sólo en 2010, donde TR fue el de mayor duración seguido por TE, sin diferencias significativas entre ambos, y con diferencias significativas respecto de TXT (Tabla 3.5). Al analizar la duración del periodo en días, las diferencias entre híbridos fueron significativas para ambos años

siguiendo la misma tendencia  $TR > TE > TXT$ , donde TR y TXT siempre fueron estadísticamente diferentes entre sí y TE sólo se diferenció de TXT en el segundo año de ensayos (Tabla 3.5).

Se detectó interacción significativa entre FS y germoplasma para la duración de esta fase en tiempo térmico durante 2009. La misma se debió a menores valores para TR con respecto a los demás híbridos cuando la siembra se realizó en Enero en comparación a Agosto, lo cual podría explicarse por el efecto de bajas temperaturas durante el otoño que limitaron más a este cultivar que al resto, debido posiblemente a bases térmicas mayores del mismo. Este efecto no tuvo una incidencia significativa en la duración en días de la etapa en estudio y no se repitió en el segundo año, donde siempre se mantuvo la misma tendencia en cuanto a la duración de la etapa lineal de llenado de los granos ( $TR > TE > TXT$ ) a través de ambas épocas de implantación (Tabla 3.5).

### **3.3.3.2 Tasa de llenado de granos.**

Todos los tratamientos, salvo densidades poblacionales en 2010, generaron diferencias significativas en la tasa de llenado de granos para ambos años de experimento (Tabla 3.5). En cuanto a las interacciones, sólo fueron significativas GER X DEN y GER X FS en 2009.

A diferencia de la duración del periodo efectivo de llenado, la tasa de acumulación de materia seca en granos para dicho periodo presentó una alta correlación con PG a madurez fisiológica (Figura 3.11), por lo que fue la tasa de llenado y no la duración, la responsable de las variaciones en PG.

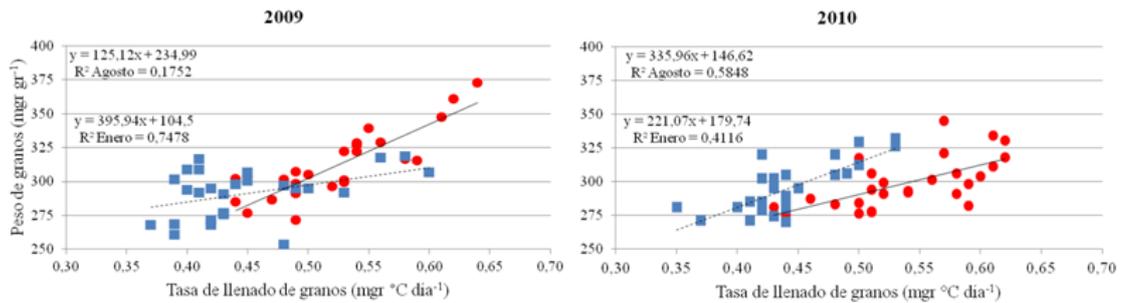


Figura 3.11: Peso de granos en función de la tasa de llenado de granos. Enero: círculos rojos y línea llena. Agosto: cuadrados azules y línea punteada.

Para ambos años de ensayo, la implantación temprana produjo tasas de llenado de grano por unidad de tiempo térmico significativamente más bajas que las registradas en siembras tardías ( $p < 0,0062$  y  $p < 0,0071$ ; para 2009 y 2010, respectivamente, Tabla 3.5).

En los dos años de estudio TXT presentó la mayor tasa de llenado de granos seguido por TR y TE, este último registró la menor acumulación de MS en grano por  $^{\circ}\text{C}$  día, con diferencias altamente significativas entre los tres cultivares ( $p < 0,0001$ , para ambos años, Tabla 3.5).

Finalmente el incremento en la densidad poblacional generó una caída en la tasa de llenado de los granos, con diferencias significativas sólo en el primer año ( $p < 0,0001$ ; Tabla 3.5), donde la densidad de  $5 \text{ pl m}^{-2}$  registró mayores valores que  $6,5$  y  $8 \text{ pl m}^{-2}$  (Tabla 3.5).

Para el primer año, la interacción entre híbridos y densidades poblacionales ( $p < 0,0001$ , Tabla 3.5), puede ser explicada por un comportamiento diferencial de TXT. Este último presentó una tasa de llenado mucho mayor en la densidad más baja y una caída importante en esta variable cuando se pasó a la densidad intermedia, con respecto a los demás cultivares, los cuales presentaron una disminución moderada (Figura 3.12). El comportamiento de TXT y TR fue diferente al pasar de  $6,5$  a  $8 \text{ pl m}^{-2}$ , donde la tasa de llenado tuvo una tendencia estable en TXT a diferencia del híbrido TE, que mostró una caída con el incremento de la densidad poblacional (Figura 3.12).

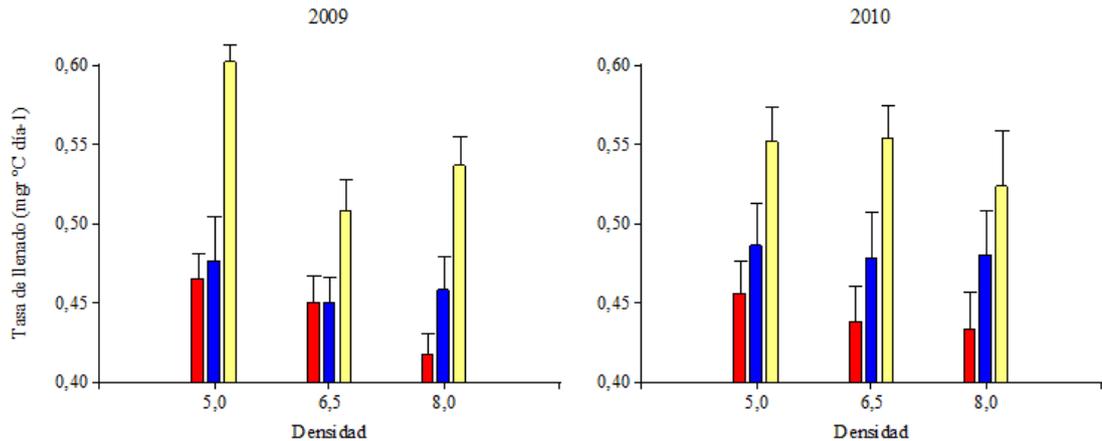


Figura 3.12: Tasa de acumulación de materia seca en grano durante la fase lineal de llenado de grano para tres híbridos de maíz y tres densidades poblacionales durante las campañas 2009 y 2010. Rojo: TE, azul: TR y amarillo: TXT. Promedio de dos fechas de siembra. Las barras indican el error estándar.

Si bien la interacción GER x DEN no fue significativa en el segundo año, se observó un comportamiento diferente entre los híbridos. Así, TR mantuvo un comportamiento estable, TXT cayó levemente al pasar de 6,5 a 8 pl m<sup>-2</sup> y TE presentó una caída a medida que se incremento la densidad de plantas (Figura 3.12, año 2010).

Para el primer año, se determinó una interacción significativa entre híbridos y épocas de siembra ( $p < 0,0335$ , Tabla 3.5). Si bien, en ambos años la siembra de Agosto produjo una disminución en la tasa de llenado con respecto a Enero, en 2009 el cultivar TR presentó valores bajos y similares a TE, fenómeno que no se repitió en el segundo año donde la diferencia entre cultivares a través de las FS fue aproximadamente la misma (TXT > TR > TE), explicando la interacción (Figura 3.13).

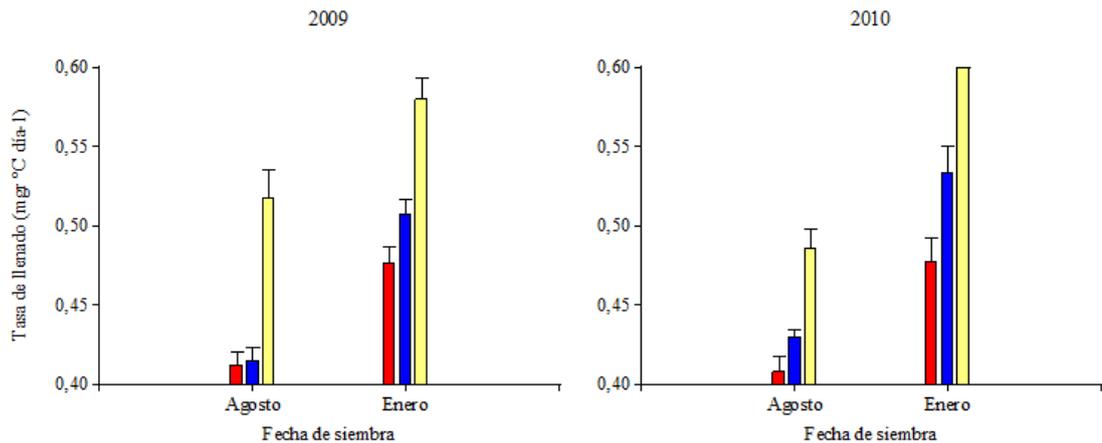


Figura 3.13: Tasa de acumulación de materia seca en grano durante la fase lineal de llenado para tres híbridos de maíz en dos fechas de siembra durante las campañas 2009 y 2010. Rojo: TE, azul: TR y amarillo: TXT. Promedio de tres densidades. Las barras indican el error estándar.

### 3.3.4 Índice de cosecha.

La partición de materia seca aérea hacia estructuras reproductivas estimada a través de esta variable fue afectada significativamente por el germoplasma en ambos años de ensayo y por la FS en 2009 (Figura 3.14), sin registrarse variaciones significativas entre densidades poblacionales (Tabla 3.2).

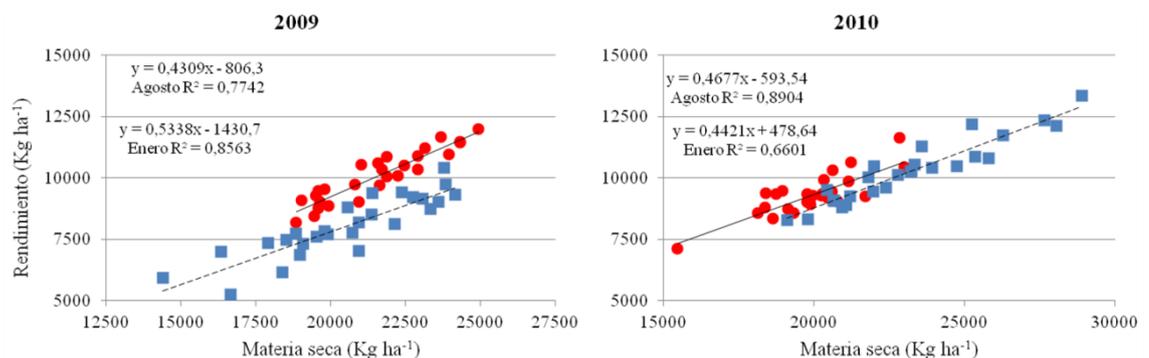


Figura 3.14: Rendimiento en grano en función de la materia seca aérea a madurez fisiológica. Enero: círculos rojos y línea llena. Agosto: cuadrados azules y línea punteada.

Durante el primer año de ensayo no se registraron interacciones entre los tratamientos, mientras que en 2010 se generó una interacción significativa entre FS y densidad poblacional (Tabla 3.2). La misma fue debida a una caída en IC al aumentar la densidad

en la FS de Enero, mientras que la respuesta opuesta se registró en la implantación de Agosto con un aumento en IC al aumentar la población (Figura 3.15).

Una tendencia inversa se registró en el año 2009 para la misma combinación de tratamientos debido a una fuerte caída en el rendimiento para la siembra de invierno como resultado de una menor fijación de granos. Ello afectó severamente IC particularmente en la densidad más alta, mientras que en la siembra de Enero se registró una respuesta positiva de IC al incremento de la densidad poblacional como consecuencia de la mayor fijación y peso de granos. No obstante lo señalado, la interacción entre ambas variables no fue estadísticamente significativa (Figura 3.15, Tabla 3.2).

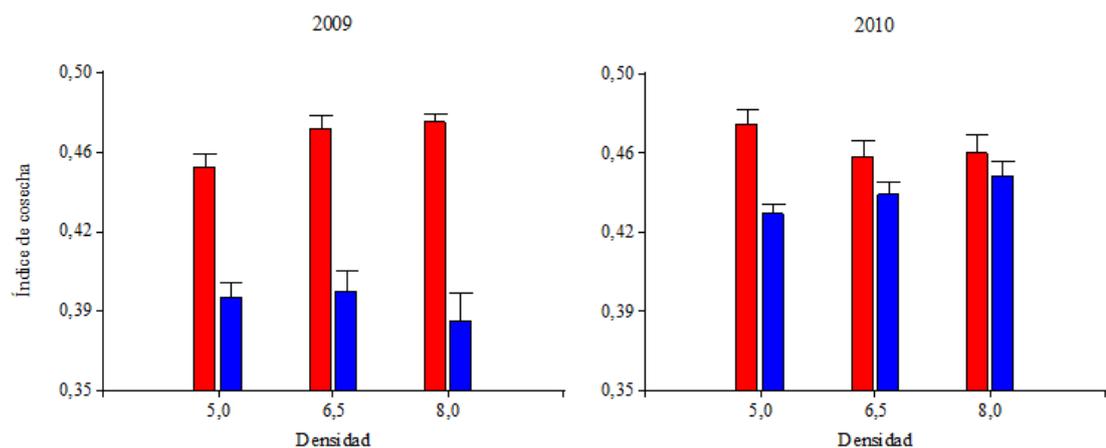


Figura 3.15: Índice de cosecha para tres densidades poblacionales y dos fechas de siembra durante las campañas 2009 y 2010 (promedio de tres híbridos de maíz). Rojo; Enero, azul: Agosto. Las barras indican el error estándar.

La utilización de híbridos de distinto origen genético dió lugar a diferencias significativas en ambos años de ensayo, siendo los cultivares TE y TXT los de mayor IC en el primer año, estadísticamente superiores a TR, en cambio en el segundo año TXT se diferenció de TE y TR los cuales a su vez produjeron el menor IC sin diferencias entre ellos (Tabla 3.2).

Para la variable FS, la implantación de Enero superó en ambos años a la de Agosto en los valores de IC, aunque sólo en el primer año estas diferencias fueron significativas

(Tabla 3.2), debido a la menor calidad del ambiente durante la fase reproductiva en siembras tempranas (Cap. 2).

### 3.4 DISCUSIÓN

En la figura 3.16 se presenta un resumen de los efectos de los tratamientos sobre el rendimiento y sus componentes. Como se discutirá más adelante, se toma en cuenta el segundo año de ensayos como situación más representativa de la zona bajo estudio.

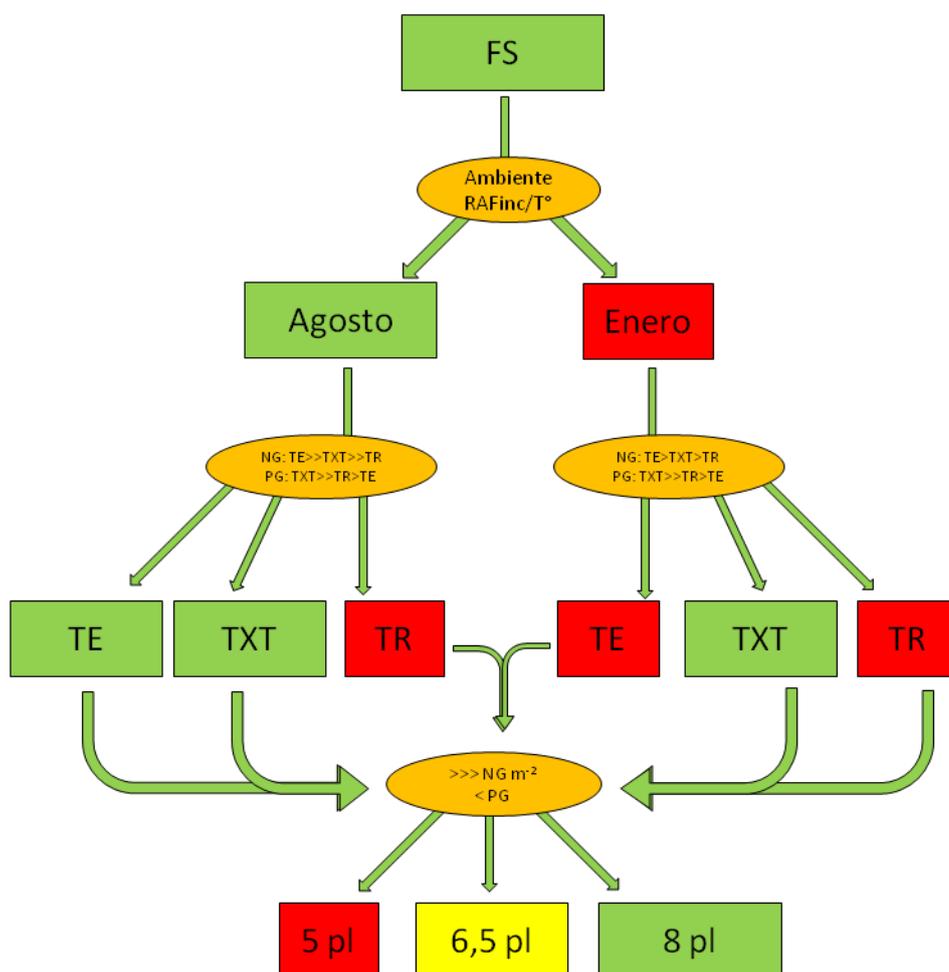


Figura 3.16: Efecto de los tratamientos sobre el rendimiento. Los tamaños de las cajas y sus colores (verde=alto; amarillo= medio; rojo=bajo) representan el rendimiento en grano en respuesta a fechas de siembra, germoplasma y densidades. En las elipses se presentan los principales mecanismos que afectaron el rendimiento.

Los rendimientos obtenidos en las diferentes épocas de siembra presentaron variaciones que se explican por las condiciones ambientales a las cuales se expuso el cultivo durante

su desarrollo, fundamentalmente radiación y temperatura. Así, la implantación de Agosto fue la más favorable para la producción de grano debido a la mayor radiación incidente, generando un incremento del rendimiento del 8,6% con respecto a la siembra de Enero para el año 2010, lo opuesto ocurrió en 2009, donde las altas temperaturas y la baja RFAinc durante los meses de Noviembre y Diciembre (Tabla 2.1, Figura 2.1 y 2.2) determinaron una caída en los rendimientos del 20,5%, comparadas con la siembra de Enero. Las condiciones ambientales en 2009 estuvieron alejadas y las del 2010 próximas al promedio de la serie histórica de años analizada, donde la probabilidad de ocurrencia de días con temperaturas máximas superiores a 35°C como las registradas en noviembre de 2009 son del 11%.

Los resultados obtenidos en 2010 son coincidentes con los reportados en zonas templadas, donde el retraso de la siembra produjo caídas en la calidad del ambiente durante el momento crítico para la fijación de granos (Duncan et al., 1973; Knapp y Reid 1981; Tollenaar, 1977; Fischer y Palmer, 1984; Tollenaar et al., 1992; Cirilo y Andrade 1994b; Otegui et al., 1995).

El retraso en la implantación hace que la floración coincida con épocas del año donde la RFAinc es menor, limitando la tasa de crecimiento del cultivo y el número de granos fijados (Tabla 3.2).

Estas variaciones en los rendimientos se explican, principalmente, a través del número de granos fijados por unidad de área (Figura 3.2), variable que presentó una caída del 17,5% en 2009 y un incremento del 9,3% en 2010 como resultado del adelanto de la FS al mes de Agosto.

Por otro lado, el peso individual del grano presentó una disminución en ambos años de ensayo cuando la implantación se realizó en Agosto, respuesta que fue más pronunciada en 2009 con una caída de 6,8% versus 1,4% para 2010, lo que explicó mejor aun la

diferencia en los rendimientos para el primer año de experimento. Esta disminución de PG en la siembra temprana se explicó por una fuerte disminución en la tasa de llenado de granos (-13,4 y -18,5% para 2009 y 2010, respectivamente) (Figura 3.11). En experimentos realizados *in vitro* se comprobó que la actividad de la enzima almidón sintetasa es óptima en el rango de 25 a 30 °C, favoreciendo la deposición de almidón, principal componente del PG (Jones et al., 1985; Keeling et al., 1994), por lo que las altas temperaturas registradas en los meses de noviembre y diciembre podrían limitar la tasa de llenado y el peso de los granos.

La baja fijación de granos por unidad de superficie en Agosto de 2009 con respecto a Enero del mismo año (Tabla 3.2), se vio reflejada en el índice de cosecha (Figura 3.14), el cual disminuyó drásticamente. En el segundo año de ensayo IC fue también mayor en la siembra de verano pero, con una diferencia mucho menor a la generada en el primer año. Esta situación difiere con los datos reportados para zonas templadas, donde el retraso de la implantación del cultivo genera caídas en el índice de cosecha (Andrade et al., 1996). Esta respuesta contrastante de la siembra de Enero, puede ser explicada por la disminución en la duración del periodo vegetativo en igual ó mayor proporción que el aumento en la tasa de crecimiento del cultivo durante este periodo. La siembra de invierno dió como resultado un incremento en la duración del periodo vegetativo más que proporcional que la reducción en la tasa de crecimiento del cultivo, por lo que aumentó además, la producción de MS durante esta fase con respecto a la siembra de Enero. Si bien el rendimiento en grano fue mayor en 2010, el IC fue menor debido a la mayor cantidad de biomasa vegetativa producida. Esta situación es contrastante con los resultados hallados en zonas templadas, donde el retraso de la fecha de siembra tiende a incrementar la producción de MS vegetativa, principalmente en respuesta a la mayor temperatura (Cirilo y Andrade, 1994a).

La interacción entre híbridos y FS para rendimiento en grano fue significativa. Los cultivares TE y TR presentaron la mayor variación entre FS donde TE se comportó mejor que TR en la siembra de Agosto y lo opuesto ocurrió en la implantación de verano. Esto coincide con resultados reportados en zonas tropicales, donde las implantaciones tempranas favorecen la producción de híbridos templados y el retraso de la época de siembra favorece a los híbridos tropicales (Parker et al., 1991; Johnson et al., 1997). Por otro lado TXT produjo los rendimientos más altos, siendo superado sólo por TE en Agosto de 2010 (Tabla 3.2). Estos resultados coinciden con los obtenidos en otros experimentos, donde híbridos TXT, rindieron en forma similar a TE y más que TR en un amplio rango de fechas de siembra (Metzler, 2008) y no coinciden con estudios realizados en la región Pampeana de Argentina donde no se hallaron diferencias en rendimiento de grano para genotipos templados y tropicales (Rattalino y Otegui, 2012). Las variaciones en los componentes del rendimiento de los híbridos a través de las épocas de siembra permiten explicar los resultados obtenidos. Para FS de invierno el número granos por unidad de área siguió el orden TE>TXT>TR, diferencia que se mantuvo, aunque con menor amplitud, para FS de verano, con valores cercanos en los tres cultivares (Tabla 3.2). Las diferencias entre genotipos se pueden explicar a través de la relación entre NGP y TCP durante el periodo crítico (Tabla 3.3; Figura 3.4), cuyos valores determinaron un orden TE>TXT>TR. NGP en maíz presenta una respuesta curvilínea ante variaciones de TCP (Tabla 3.4) aunque esta respuesta puede ser lineal dentro de ciertos rangos de variación de TCP (Gambín et al., 2008; D'Andrea et al., 2008).

Al igual que en otros trabajos (Rossini et al., 2011), se halló una correlación positiva entre NGP y TCE, por lo que también es posible explicar los resultados expuestos a través de las variaciones en partición a espiga y al número de granos fijados por unidad

de TCE (eficiencia reproductiva), con valores máximos, intermedios y mínimos para TE, TXT y TR, respectivamente (Tabla 3.3; Figura 3.5). Estos resultados coinciden con estudios donde se ha demostrado el efecto del genotipo y del ambiente, en la partición de biomasa hacia la espiga en el periodo alrededor de floración (Echarte et al., 2004; Borrás et al., 2007). En maíces tropicales la partición de asimilados hacia la espiga es poco eficiente (Benti et al., 1993) y presenta una mayor competencia por los mismos entre tallo y espiga (Edmeades et al., 2000). Estos resultados no coinciden con reportes recientes, donde no se hallaron diferencias entre genotipos templados y tropicales en la determinación de NGP al generarse variaciones en TCP y TCE durante el periodo crítico (Rattalino y Otegui, 2013).

Cuando la siembra se realizó en Agosto, la superioridad de TE en su capacidad para fijar granos le dio una ventaja sobre TR, generando mayores rendimientos. Esta situación se vió alterada en la FS de Enero, donde al disminuir la brecha en NG fijados por cada híbrido, PG paso a ser una variable de importancia para que TR y sobre todo TXT alcanzaran rendimientos superiores a los de TE. El mayor PG se asoció con la mayor tasa de acumulación de materia seca en grano. El cultivar TXT presentó siempre los valores más altos de PG, siendo intermedios en TR y mínimos en TE. Estos datos resultan coincidentes con lo reportado por otros autores quienes señalaron que híbridos templados modernos fijan mayor número de granos por  $m^2$  pero tienen menor PG en comparación con híbridos más antiguos (Echarte et al., 2000). Por otra parte, en estudios realizados recientemente, no se encontraron diferencias en PG entre cultivares templados y tropicales. Los mismos autores informaron, en coincidencia con este reporte, que el cultivar TXT superó levemente a los demás en PG y que las variación en este componente del rendimiento se debieron a variaciones en la tasa de llenado del grano y no a la duración de la misma (Rattalino et al., 2014).

El híbrido TXT pudo mejorar el rendimiento con respecto a los otros cultivares, a partir de un incremento en su capacidad de fijar granos y un mayor peso de grano, características de cultivares de origen templado y tropical, respectivamente. Resultados similares, fueron registrados en ensayos sin limitantes hídricas y nutricionales conducidos en la localidad de Los Altos (Provincia de Catamarca, Argentina), donde el mismo híbrido evaluado en este experimento (TXT), supero en rendimiento a otros híbridos de origen tropical (Graneros y Uhart, 2006). Además, TXT dedicó una mayor proporción de su ciclo a la etapa reproductiva (Cap. 2), lo cual podría explicar en parte los altos rendimientos de este híbrido, ya que existe una asociación positiva entre la duración de esta etapa y el rendimiento (Crosbie, 1982; Russell, 1984).

Estas diferencias resultaron en un IC menor para el cultivar TR, como producto de su menor rendimiento en grano y mayor producción de MS vegetativa, lo opuesto ocurrió con TXT el cual generó altos rendimientos en grano y una menor producción de MS en floración por lo que su IC fue igual al alcanzado por TE en 2009 y superior a este último en 2010. Estos resultados coinciden con los hallados en otros trabajos donde se compara el mejoramiento de maíz en zonas templadas y tropicales, con valores de índice de cosecha de 0,55 para cultivares templados (Duvick, 1977; Russell, 1984, 1985), y menores a 0,40 para tropicales (Fischer y Palmer, 1984; Paterniani, 1990; Pandey y Gardner, 1992). Por otra parte, existen resultados de trabajos recientes que indican que no hay diferencias en el IC entre germoplasmas templados y tropicales (Rattalino y Otegui, 2012).

El incremento del número de plantas por unidad de superficie produjo una mejora significativa en  $NG\ m^{-2}$  y una disminución en PG (Figura 3.7), siendo esta última menos que proporcional al aumento de granos fijados, por lo que generó una ganancia en el rendimiento en ambos años de ensayo. Los mismos resultados se obtuvieron trabajando

sin limitantes hídricas y nutricionales en la localidad de Los Altos (provincia de Catamarca, Argentina) con densidades de 5 y 7 pl m<sup>-2</sup> en híbridos tropicales y tropical x templado (Graneros y Uhart, 2006; Vega, 2011).

## **CAPÍTULO 4**

### **DISCUSIÓN GENERAL**

Se han estudiado los efectos de dos fechas de siembra extremas (Agosto y Enero) tres híbridos de maíz de distinto fondo genético (templado, tropical x templado y tropical) y tres densidades poblacionales sobre: i) el desarrollo y la producción de biomasa (Capítulo 2); ii) la generación del rendimiento y los componentes del mismo (Capítulo 3) y iii) los mecanismos asociados con la determinación del número de granos por planta y por unidad de superficie (Capítulo 3). Los resultados aportan conocimientos sobre variables de manejo que permiten optimizar la producción de maíz bajo riego en ambientes subtropicales semiáridos de Santiago del Estero.

La ocurrencia de estrés térmico ( $>35\text{ °C}$ , Dupuis y Dumas, 1990) alrededor de floración (Octubre – Noviembre) afectó los resultados de fecha de siembra. De acuerdo con el análisis de la serie histórica de temperaturas máximas diarias, para el mes de noviembre (periodo crítico del cultivo) hay 6,6 días con valores por encima de  $35\text{ °C}$ , promedio que fue superado en 2009 con 11 días, a diferencia de 2010 donde sólo se registraron 4 días. La probabilidad de tener 11 ó más días con temperaturas máximas por encima de  $35\text{ °C}$  en el mes de noviembre es del 11%, en cambio la probabilidad de tener menos de 7 días con dicha temperatura es del 50%. La temperatura media, estuvo  $5\text{ °C}$  por encima del promedio histórico durante el mes de noviembre (Figura 2.1) y la RFA incidente fue mucho menor al promedio durante los meses de noviembre y diciembre (Figura 2.2) hechos que se vieron reflejados en el cociente fototermal, que estuvo muy por debajo del promedio histórico durante los meses señalados (Figura 2.3). Debido a estas

diferencias se propone considerar como referencia el segundo año de trabajo donde el ambiente estuvo muy próximo a la serie climática histórica.

El resumen de los resultados de este trabajo sobre el desarrollo del cultivo y la producción de MS y sus componentes ecofisiológicos se presenta en las figuras 4.1 y 4.2. En 2009 ambas FS produjeron valores similares de MS (Figura 4.1), mientras que en 2010, Agosto presentó las mayores cifras para esta variable. Los resultados del primer año, se explican principalmente por la menor cantidad de RFAInt por el cultivo en Agosto (Figura 4.1). En el segundo año, la implantación temprana acumulo mayor cantidad de RFAInt como resultado de una mayor RFAinc y duración del ciclo de cultivo generando una mayor cantidad de MS a madurez fisiológica con respecto a la implantación tardía. No obstante, la siembra de Enero presentó los mayores valores de EUR (Figura 4.2), componente que no fue suficiente para alcanzar la MS producida en fechas tempranas. La implantación temprana incrementó la duración del ciclo de cultivo, sin variaciones importantes en el tiempo térmico, lo cual indica un efecto nulo ó mínimo del fotoperiodo sobre los cultivares a través de FS.

El híbrido TE produjo la mayor cantidad de MS, seguido por TXT, y luego por TR. Estas diferencias están explicadas por la EUR, donde TE y TXT presentaron valores similares y mayores a TR. Este último registró la mayor duración de ciclo y RFAInt como resultado de su mayor IAF pero fue incapaz de transformar esta ventaja en mayor MS a madurez fisiológica. Los híbridos TE y TXT presentaron una duración de ciclo en días y en tiempo térmico muy similar e inferior a TR.

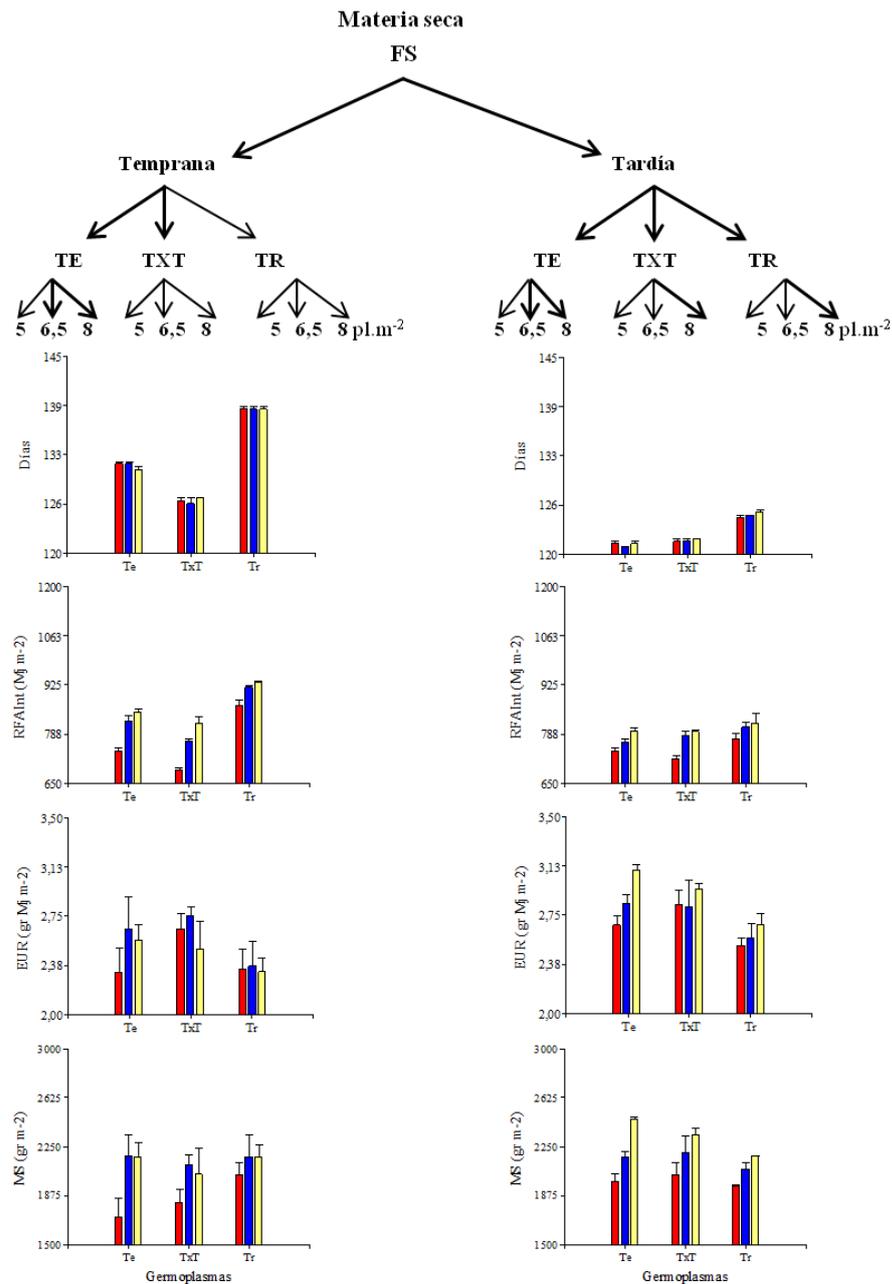


Figura 4.1: Resumen de los tratamientos y su efecto sobre el desarrollo, la radiación fotosintéticamente activa interceptada (RFAInt), la eficiencia de uso de la radiación (EUR) y la producción de MS aérea a madurez fisiológica para el año 2009. Barras rojas (5 pl.m<sup>-2</sup>), azules (6,5 pl.m<sup>-2</sup>) y amarillas (8 pl.m<sup>-2</sup>). Las barras delgadas indican el error estándar.

El incremento del número de plantas siempre generó mejoras en la producción de MS, siendo mayor la respuesta en FS temprana. Esto se explica principalmente por el aumento en RFAInt y parcialmente por incrementos en la EUR, particularmente en la

fecha tardía. Este tratamiento no afectó de ninguna manera la duración del ciclo de cultivo. Al aumentar la densidad de plantas, los híbridos presentaron mejoras en la producción de MS en orden TE>TXT>TR, dicha mejora fue de mayor magnitud cuando se pasó de 5 a 6,5 pl m<sup>-2</sup> que al pasar de 6,5 a 8 pl m<sup>-2</sup>.

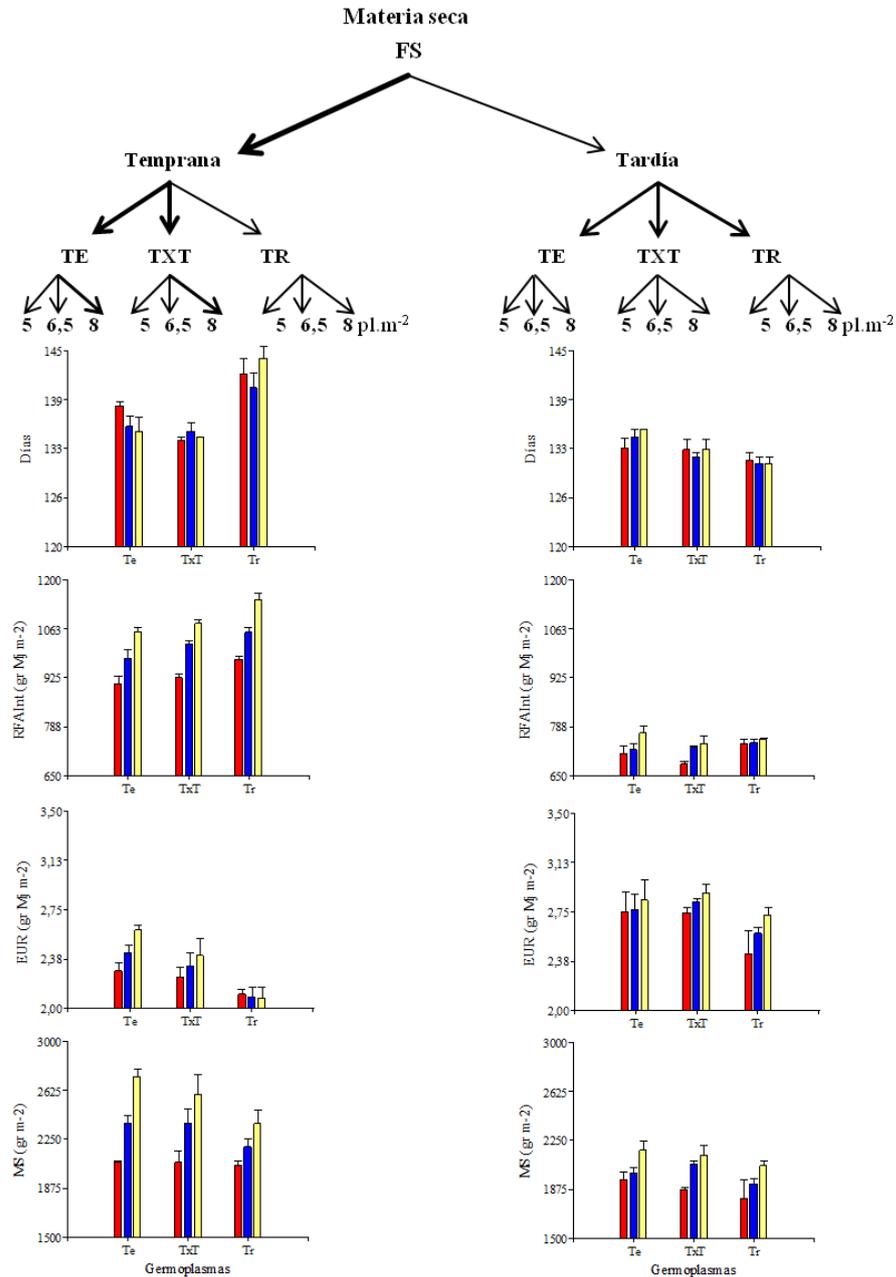


Figura 4.2: Resumen de los tratamientos y su efecto sobre el desarrollo, la radiación fotosintéticamente activa interceptada (RFAInt), la eficiencia de uso de la radiación (EUR) y la producción de MS total a MF para el año 2010. Barras rojas (5 pl.m<sup>-2</sup>), azules (6,5 pl.m<sup>-2</sup>) y amarillas (8 pl.m<sup>-2</sup>). Las barras delgadas indican el error estándar.

En 2009 el incremento de la densidad de plantas en la FS temprana no produjo aumentos en MS total al pasar de 6,5 a 8 pl m<sup>-2</sup>, esto se explica principalmente por la menor RFAinc y las altas temperaturas, factores que pudieron haber afectado la EUR al incrementar la competencia entre individuos (Capítulo 2).

El resumen de los tratamientos sobre el rendimiento y sus componentes, se describe a partir de una figura para cada año de experimento, ya que existió una fuerte interacción año x fecha de siembra. Ello fue debido a las condiciones climáticas adversas registradas en 2009, donde las altas temperaturas y baja RFA incidente durante el periodo crítico (Capítulo 2) afectaron los rendimientos obtenidos en la siembra de Agosto (Capítulo 3). Así para el primer año, la siembra temprana generó menores rendimientos que la siembra tardía como resultado de un menor número y peso de granos (Figura 4.3). En el segundo año, la siembra de Agosto produjo el mayor rendimiento en grano, explicado principalmente por un mayor número de granos m<sup>-2</sup> (Figura 4.4).

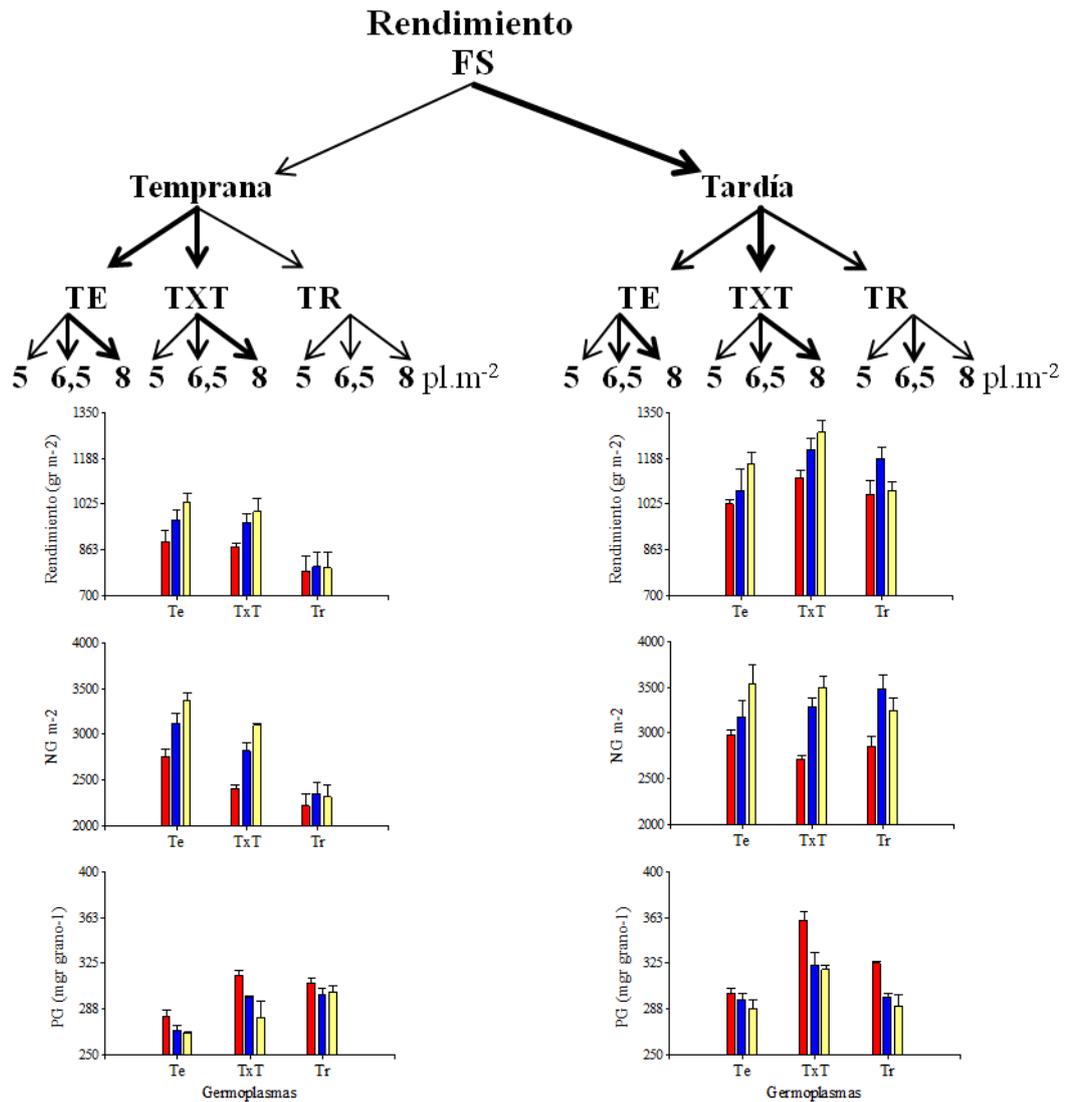


Figura 4.3: Resumen de los tratamientos y su efecto sobre el rendimiento en grano y sus componentes para el año 2009. Barras rojas (5 pl.m<sup>-2</sup>), azules (6,5 pl.m<sup>-2</sup>) y amarillas (8 pl.m<sup>-2</sup>). Las barras delgadas indican el error estándar.

Para la siembra de invierno, los cultivares TE y TXT generaron mayores rendimientos que TR, donde TE lo hizo a través de un mayor NG y TXT mediante un mayor PG y una fijación de granos intermedia.

Para la siembra tardía TE y TR se comportaron de forma similar con un rendimiento en grano menor que TXT, donde NG fue muy similar entre los tres cultivares y PG fue significativamente mayor en TXT (Figuras 4.3 y 4.4).

El incremento en la densidad poblacional aumentó el rendimiento en grano al pasar de 5 a 6,5 pl m<sup>-2</sup> y generó una leve mejora ó aparición de un techo al pasar de 6,5 a 8 pl m<sup>-2</sup> (Figuras 4.3 y 4.4).

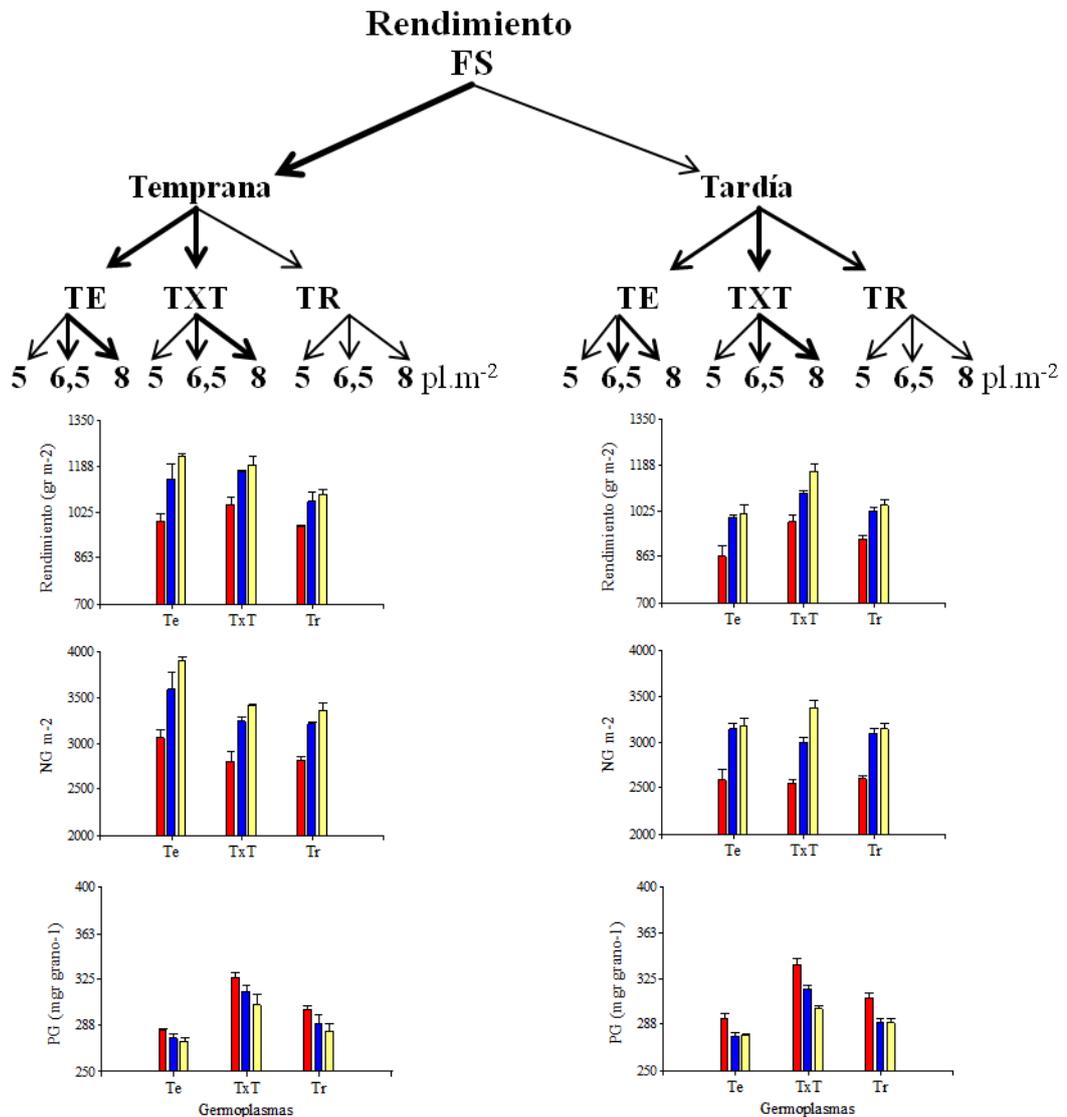


Figura 4.4: Resumen de los tratamientos y su efecto sobre el rendimiento en grano y sus componentes para el año 2010. Barras rojas (5 pl.m<sup>-2</sup>), azules (6,5 pl.m<sup>-2</sup>) y amarillas (8 pl.m<sup>-2</sup>). Las barras delgadas indican el error estándar.

#### 4.1 Contrastación de hipótesis.

Hipótesis 1: Existen interacciones entre fecha de siembra, cultivares de maíz (tropical, tropical x templado y templado) y densidad poblacional para el desarrollo, rendimiento en grano y sus componentes ecofisiológicos y numéricos en el área de riego del Río Dulce, Santiago del Estero.

Los resultados indican que la mejor época de implantación para el cultivo en la región fue Agosto, debido a la mayor RFA incidente, en constante aumento y con altos valores durante el periodo crítico para la determinación del rendimiento (Figura 2.2). La implantación de Agosto presentó una mayor duración del ciclo a través de una fase reproductiva más larga, con mayor cantidad de RFAInt y MS producida a madurez fisiológica. La implantación tardía, registró una duración más corta del ciclo de cultivo con la ventaja de una mayor EUR, con lo que pudo compensar en parte la menor RFAInt. Los tratamientos no generaron, en general, interacciones triples para las variables medidas durante el desarrollo del cultivo. La época de siembra en cambio, interactuó siempre con los híbridos (Capítulo 2). A través de ambas FS el híbrido TXT produjo el mayor rendimiento, en tanto que la densidad máxima fue la que generó los rendimientos más altos para todos los híbridos. Estos resultados permiten rechazar parcialmente la primera hipótesis donde se postuló que los tres tratamientos presentan una interacción sobre el desarrollo, rendimiento y sus componentes. Las interacciones entre los mismos no fueron significativas para rendimiento en grano ni para número y peso de granos. No obstante se registró una interacción significativa entre época de siembra e híbridos (Tabla 3.2).

Hipótesis 2: Los cultivares templado y el tropical x templado presentan rendimientos más altos en siembras tempranas y altas densidades poblacionales,

mientras que el tropical lo hace en siembras tardías y densidades medias. Los rendimientos máximos se logran con el cultivar templado a alta densidad en fechas tempranas.

Dado que el ciclo 2009 fue atípico, se hace referencia solo a 2010 para la segunda hipótesis la cual es rechazada parcialmente ya que todos los cultivares (incluyendo TR) presentaron máximos rendimientos en FS temprana y altas densidades poblacionales. El máximo rendimiento, efectivamente fue alcanzado por TE en FS temprana, sin diferencias significativas con TXT (Tabla 3.2).

Hipótesis 3: La eficiencia en la fijación de número granos por unidad en la tasa de crecimiento por planta y los granos fijados por unidad de tasa de crecimiento de espiga es mayor en el híbrido templado, intermedia en el tropical x templado y menor en el tropical.

Tanto la relación  $NGP/TCP$  como  $NGP/TCE$  ó factor de fertilidad, fue mayor en TE, intermedia en TXT y menor TR (Figura 3.4 y 3.5, respectivamente), con lo que la tercera hipótesis es aceptada. Este resultado es original ya que los estudios sobre este tema en ambientes tropicales son muy escasos y discrepa con la información presentada por Rattalino y Otegui (2013) en trabajos recientes donde también se compararon cultivares TE, TXT y TR. Debe tenerse en cuenta que en el estudio mencionado se utilizó estrés térmico como único factor de estrés donde el cultivar TR presentó ventajas en cuanto a adaptación con respecto a TE lo cual pudo haber afectado las relaciones entre  $NGP$ ,  $TCP$  y  $TCE$ . Por otra parte, el cultivar tropical (2B710 HX) tiene una de sus líneas con introgresión de germoplasma templado (Sergio Uhart Dow AgroSciences, comunicación personal), el mismo fue realizado en un ambiente templado y se utilizó una sola densidad poblacional ( $9 \text{ pl m}^{-2}$ ), por lo que el rango de variabilidad de  $TCP$  y

TCE no fue el mismo que el explorado en este estudio. Los autores presentaron valores promedio de TCP de 4,7; 4,1 y 3,8 gr día<sup>-1</sup> y TCE de 0,90; 0,81 y 0,83 gr día<sup>-1</sup> para TE, TXT y TR respectivamente, cifras diferentes a las generadas en este estudio (Capítulo 3). Además, el cultivar TR presentó mayor índice de partición de MS a espiga (0,23; 0,21 y 0,19 gr día<sup>-1</sup> para TR, TXT y TE, respectivamente) y el mayor NGP (508; 458 y 488 granos planta<sup>-1</sup> para TR, TXT y TE, respectivamente).

#### **4.2 Conclusiones.**

La mejor época de implantación para alcanzar los máximos rendimientos en todos los cultivares, sin limitaciones hídricas y nutricionales, fue Agosto.

El adelanto de la FS incrementó la duración de la etapa vegetativa y la producción de MS debido a una mayor RFAInt, aunque registró menor EUR y disminuyó la duración de la etapa reproductiva.

La utilización de modelos con corrección por temperaturas máximas, ayudó a estimar de forma más eficiente los valores de tiempo térmico requerido para completar las etapas fenológicas.

El cultivar TR alcanzó los valores más altos de IAF, RFAInt, duración de etapa vegetativa y MS a floración. Los híbridos TE y TXT presentaron mayor EUR que TR en la etapa vegetativa de la FS temprana, mientras que el resultado opuesto se obtuvo en la FS tardía donde TR superó a TE y TXT.

El híbrido TE generó mayores rendimientos que TR cuando la implantación se realizó en época invernal, lo opuesto ocurrió cuando la siembra se realizó en verano, donde TR superó levemente a TE. El híbrido TXT superó en rendimiento al híbrido TR, en ambas

épocas de siembra y a TE en la siembra de Enero, en todas las densidades poblacionales, presentando un comportamiento similar a TE en las fechas tempranas.

Las relaciones NGP/TCP y NGP/TCE fueron máximas para el híbrido TE, intermedias para TXT y mínimas para TR. La incorporación de genética templada alargó la duración del periodo reproductivo en el cultivar TXT, presentando un comportamiento fenológico similar a TE. Estos dos cultivares dedicaron más del 50% de la duración del ciclo al periodo reproductivo a diferencia de TR, que mostró un comportamiento opuesto.

Para la época de siembra de invierno NG fue el componente que explicó las diferencias en rendimiento de los distintos cultivares, mientras que para la siembra de verano la diferencia en el rendimiento se debió principalmente a PG ya que NG fue similar en los tres híbridos.

La combinación de genética templada y tropical generó una mayor capacidad de fijar granos por planta (propio de los cultivares templados) y un alto peso de granos (propio de los cultivares tropicales) lo que en conjunto determinó un mayor rendimiento.

#### **4.3 Aportes al conocimiento.**

Se ha contribuido con información relevante, para la zona bajo estudio, sobre el comportamiento de germoplasma TR, TE y TXT en un amplio rango de condiciones ambientales dado por la combinación de FS y densidades poblacionales.

Los resultados obtenidos demuestran que la combinación de germoplasma templado y tropical permite incrementar el rendimiento, comparado con híbridos tropicales, a través de mejoras en la duración del periodo reproductivo con respecto al ciclo total del cultivo y aumentos importantes en NGP/TCP y NGP/TCE. La genética tropical aportó un

mayor peso de granos, factor que fue determinante para que el cultivar TXT pudiera generar rendimientos similares ó superiores a los de TE, así como también mayor tolerancia a enfermedades y a altas temperaturas.

Un aporte original de este trabajo es la determinación de las relaciones NGP/TCP y NGP/TCE para cultivares de diferente origen genético, a través de un amplio rango de estas variables generado por la combinación de FS y densidades poblacionales bajo condiciones de ambientes tropicales. Ello puede ayudar a mejorar las estimaciones de rendimiento de los modelos de simulación y contribuir a la comprensión de los mecanismos involucrados en la fijación de granos por planta y por unidad de superficie.

Teniendo en cuenta la expansión de las fronteras agrícolas en la región norte del país, es de gran importancia la generación de conocimientos sobre el germoplasma y las densidades poblacionales que permitan alcanzar para cada época de siembra rendimientos máximos y estables. Los híbridos TXT son una excelente opción cuando se busca optimizar el rendimiento tanto en fechas de siembra tempranas como tardías explorando densidades poblacionales crecientes. El estudio de combinaciones con distintas proporciones de germoplasma templado y tropical debe ser una parte central de la estrategia de mejora genética en el futuro para la región bajo estudio.

#### **4.4 Investigaciones futuras.**

Determinar el comportamiento de estos cultivares bajo condiciones de densidades poblacionales más extremas, que permitan establecer el umbral de tasa de crecimiento por planta y espiga para producir grano y conocer el efecto sobre PG y su estabilidad.

Establecer proporciones óptimas en combinaciones de genética templada y tropical, y la habilidad combinatoria entre grupos heteróticos de ambos orígenes genéticos. Evaluar el

efecto de dichas combinaciones sobre la fijación de granos por  $m^{-2}$ , y el peso de grano, identificando marcadores moleculares que asistan al proceso de selección.

Emplear los resultados obtenidos para mejorar la precisión de modelos de simulación del cultivo de maíz para cultivares de distinto fondo genético, diferentes fechas de siembra y densidades poblacionales en la región bajo estudio y otras similares.

La metodología de cálculo de sumas térmicas debería ser ajustada mediante el uso de modelos que tengan en cuenta las temperaturas máximas y bases para híbridos TE, TR y TXT. Asimismo, dichas temperaturas, deberían ser determinadas con mayor precisión en estudios específicos.

## Bibliografía

Abadassi J (2015) Maize agronomic traits needed in tropical zone. *International Journal of Science, Environment and Technology*, Vol. 4, N° 2: 371 – 392

Abadassi J and Hervé Y (2000) Introgression of temperate germplasm to improve an elite tropical maize population. *Euphytica* 113: 125 – 133

Allison JCS and Daynard TB (1979) Effect of change in time of flowering, induced by altering photoperiod or temperature, on attributes related to yield in maize. *Crop Science* 19: 1 – 4

Aluko GK y Fischer K (1987) The effect of changes of assimilate supply around flowering on grain sink size and yield of maize (*Zea mays* L.) cultivars of tropical and temperate adaptation. *Aust. J. Agric. Res.* 38: 153 – 61

Andrade FH (1992) Radiación y temperatura determinan los rendimientos máximos de maíz. *Boletín Técnico* 106. Estación Experimental Agropecuaria Balcarce (INTA), Balcarce, Buenos Aires, Argentina.

Andrade FH (1995) Analysis of growth and yield of maize, sunflower and soybean grown at Balcarce, Argentina. *Field Crop Res.* 41: 1 – 12

Andrade FH and Ferreiro M (1996) Reproductive growth of maize, sunflower and soybean at different source levels during grain filling. *Field Crops Res.* 48: 155 – 165

Andrade FH y Cirilo AG (2002) Fecha de siembra y rendimiento de los cultivos. En: Andrade FH y Sadras VO (eds.), *Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja*. Editorial Médica Panamericana S.A., Argentina. pp 137 – 156

Andrade FH, Cirilo AG, Uhart SA y Otegui ME (1996) *Ecofisiología del Cultivo de Maíz*. 1ª Ed. Editorial La Barrosa. Dekalb Press CERBAS-EEA INTA Balance (Ed.) Balcarce, Argentina. 292 pp

- Andrade FH, Echarte L, Rizzalli R, Della Maggiora A, Casanovas M (2002) Kernel number prediction in maize under nitrogen or water stress. *Crop Sci.* 42: 1173 – 1179
- Andrade FH, Uhart SA, Cirilo A (1992) Cociente fototermal como predictor del rendimiento potencial del maíz. *Actas XIX Reunión Nacional de Fisiología Vegetal.* Córdoba, Argentina. 43 – 44
- Andrade FH, Uhart SA, Cirilo AC (1993) Temperature affects radiation use efficiency in maize. *Field Crop Research* 32: 17 – 25
- Andrade FH, Vega CRC, Uhart S, Cirilo A, Cantarero M and Valentinuz O (1999) Kernel number determination in maize. *Crop Sci.* 39: 453 – 459
- Angueira C y Zamora E (2007) Oeste del Área de Riego del Río Dulce, Santiago del Estero, Argentina. *Serie de informes técnicos EEA Santiago del Estero, N° 40*
- Argenta G, Silva PRF, Sangoi L (2001) Arranjo de plantas em milho: análise do estado da arte. *Ci. Rur.* 31: 1075 – 1084
- Bänziger M, Edmeades GO, Beck D y Bellon M (2012) Mejoramiento para aumentar la tolerancia a sequía y a deficiencia de nitrógeno en el maíz: De la teoría a la práctica. México, D.F.: CIMMYT
- Bavec F and Bavec M (2001) Effect of maize plant double row spacing on nutrient uptake, leaf area index and yield. *Rost. Vyroba.* 47: 135 – 140
- Bavec F and Bavec M (2002) Effects of plant population on leaf area index, cob characteristics and grain yield of early maturing maize cultivars (FAO 100–400). *European Journal of Agronomy* 16: 151 – 159
- Benti T, Tasew G, Mosisa W, Yigzaw D, Kebede M, Gezahegne B (1993) Genetic improvement of maize in Ethiopia: A review. In: Benti T, Ransom JK (Eds.). *Proc. First National Maize Workshop of Ethiopia.* Addis Abeba, May 5 – 7, 1992. IAR/CIMMYT, Ethiopia, pp. 13 – 22

- Birch CJ, Vos J, van der Putten PEL (2003) Plant development and leaf area production in contrasting cultivars of maize grown in a cool temperate environment in the field. *Europ. J. Agronomy* 19: 173 – 188
- Blacklow WM (1972) Influence of temperature on germination and elongation of the radical and shoot of corn (*Zea mays* L.). *Crop Science* 12: 647 – 650
- Bloc D, Gay DP y Gouet JP (1984) Durée des phases végétative et reproductive chez le maïs. Colloque organisé par l'INRA, le CNRS, et l'AGPM, Royan, 14 – 15 Mar. 1983. INRA Paris
- Bolaños J (1995) Physiological bases for yield differences in selected maize cultivars from Central America. *Field Crops Research* 42: 69 – 80
- Bolaños J and Edmeades GO (1993) Eight cycles of selection for drought tolerance in tropical maize. 1. Responses in yield, biomass and radiation utilization. *Field Crops Res.* 31: 233 – 252
- Bonhomme R, Derieux M, Edmeades GO (1994). Flowering of diverse maize cultivars in relation to temperature and photoperiod in multi-location field trials. *Crop Science* 34: 156 – 164
- Bonhomme R, Derieux M, Kiniry JR, Edmeades GO and Ozierlafontaine H (1991) Maize leaf number sensitivity in relation to photoperiod in multilocation fields trails. *Agronomy Journal* 83: 153 – 157
- Boomsma CR, Santini JB, Tollenaar M, Vyn TJ (2009) Maize morphophysiological responses to intense crowding and low nitrogen availability: an analysis and review. *Agron. J.* 101: 1426 – 1452
- Boote KJ and Loomis RS (1991) The prediction of canopy assimilation. pp. 109 – 140. In: *Modeling Crop Photosynthesis – From Biochemistry to Canopy*. CSSA Special Publication Number 19, Crop Science Society of America, Madison, WI.

- Borrás L and Otegui ME (2001) Maize kernel weight response to postflowering source-sink ratio. *Crop Sci.* 41: 1816 – 1822
- Borrás L and Gambín BL (2010) Trait dissection of maize kernel weight: towards integrating hierarchical scales using a plant growth approach. *Field Crops Res.* 118: 1 – 12
- Borrás L, Slafer GA, Otegui ME (2004) Seed dry weight response to source-sink manipulations in wheat, maize and soybean: a quantitative reappraisal. *Field Crops Res.* 86: 131 – 146
- Borrás L, Westgate ME, Astini JP and Echarte L (2007) Coupling time to silking with plant growth rate in maize. *Field Crops Res.* 102: 73 – 85
- Briggs SP (1998) Plant genomics: more than food for thought. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 95: 1986 – 1988
- Brown DM (1976) Response of maize to environmental temperatures: a review. En: *Agrometeorology of maize crop. Proc. 1976 Symp. Ames, Iowa. Publ. WNO-481.* World Meteorological Organization, Geneva. Págs. 15 – 87
- Cáceres JM (1986) Determinación del mapa de zonas geo-agro-ecológicas homogéneas de la provincia de Santiago del Estero. Primera parte: estudio de las características climáticas de la provincia de Santiago del Estero. Dirección General de Catastro de la Provincia de Santiago del Estero. 33 pag.
- Capristo PR, Rizzalli RH, Andrade FH (2007) Ecophysiological yield components of maize hybrids with contrasting maturity. *Agron. J.* 99: 1111 – 1118
- Carter MW and Poneleit CG (1973) Black layer maturity and filling period variation among inbred lines of corn (*Zea mays* L.). *Crop Sci.* 13: 436 – 439

- Cassman KG (1999) Ecological intensification of cereal production systems: yield potential, soil quality, and precision agriculture. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 96: 5952 – 5959
- Caviglia OP and Melchiori RJM (2011) Contribution of contrasting plant hierarchies to the response to N fertilizer in maize. *Field Crops Res.* 122: 131 – 139
- Cicchino M, Edreira JIR, Uribelarrea M, Otegui ME (2010) Heat stress in field-grown maize: response of physiological determinants of grain yield. *Crop Sci.* 50: 1438 – 1448
- Cirilo AG (1995) Fecha de siembra y productividad en maíz. Ph.D. diss., Universidad Nacional de Mar del Plata., Balcarce, Bs. As., Argentina.
- Cirilo AG and Andrade FH (1994a) Sowing Date and Maize Productivity: I. Crop Growth and Dry Matter Partitioning. *Crop Sci.* 34: 1039 – 43
- Cirilo AG and Andrade FH (1994b) Sowing Date and Maize Productivity: II. Kernel number determination . *Crop Sci.* 34: 1044 – 46
- Cirilo AG and Andrade FH (1996) Sowing date and kernel weight in maize. *Crop Sci.* 36: 325 – 331
- Cirilo AG, Andrade FH, Uhart SA y Gaggiotti M (1992) Rendimiento y partición de materia seca en maíz bajo diferentes fechas de siembra. *Actas V Congreso Nacional de Maíz, Pergamino* li: 11 – 19
- Costa C, Dwyer LM, Stewart DW, Smith DL (2002) Nitrogen effects on grain yield and yield components of leafy and nonleafy maize genotypes. *Crop Sci.* 42: 1556 – 1563
- Cox WJ (1996) Whole-plant physiological and yield responses of maize to plant density. *Agron. J.* 88: 489 – 496
- Crosbie TM (1982) Changes in physiological traits associated with long – term breeding efforts to improve grain yield of maize. In: Loden HD, Wilkinson D (Eds), *Poc.* 37 yh

Annual corn and industry Research Conf., Chicago, Illinois, 5 – 9 December. Am. Seed Trade Assoc., Washinton, DC, pp. 206 – 233

Cross HZ and Zuber MS (1972) Prediction of of flowering dates in maize based on different methods of estimating thermal units. *Agronomy Journal* 64: 351 – 355

D'Andrea KE, Otegui ME, Cirilo AG (2008) Kernel number determination differs among maize hybrids in response to nitrogen. *Field Crops Research*. 105: 228 – 239

Daynard TB, Tanner JW, Duncan WG (1971) Duration of the grain filling period and its relationship to grain yield corn, *Zea Mays* L. *Crop Sci*. 11: 45 – 48

Derieux M and Bonhomme R (1982) Heat unit requeriment for maize hybrids in Europe. Results of the European FAO sub-network.I.Sowing- silking period. *Maydica* 27: 59 – 77

Derieux M and Bonhomme R (1986) Different aproaches to maturity ratings in maize in the world. In “Information Bulletin of tha FAO Research Network on maize”. Vol. 3: 15 – 21

Di Rienzo JA, Casanoves F, Balzarini MG, Gonzalez L, Tablada M, Robledo CW. InfoStat versión 2011. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>

Doebley J, Stec A y Hubbard L (1997) The evolution of apical dominance in maize. *Nature*. 386: 485 – 488

Dowswell CR, Paliwal RL and Cantrell RP (1996) *Maize in the third world*. Westview Press, 268 p.

Duncan WG and Hesketh JD (1968) Net photosynthetic rates, relative leaf growth and leaf numbers of 22 races of maize grown at eight temperatures. *Crop Science*, 8: 670 – 674

- Duncan WG, Shaver DL and Williams WA (1973) Insolation and temperature effects on maize growth and yield. *Crop Science*, 13: 187 – 191
- Dupuis I and Dumas C (1990) Influence of temperature stresses on in vitro fertilization and heat shock protein synthesis in maize (*Zea mays* L.) Reproductive tissues. *Plant Physiology* 94: 665 – 670
- Duvick DN (1977) Genetic gains of grain in hybrid maize yields during the past 40 years. *Maydica* 22: 187 – 196
- Duvick DN (1984) Genetic contributions to yield gains of U.S. hybrid maize, 1930 – 1980. In: Fehr, W.R. (Ed.), *Genetic Contributions to Yield Gains of Five Major Crop Plants*, CSSA Special Publication No. 7, Crop Science Society of America, Madison, WI, USA, pp. 15 – 47
- Duvick DN (1992) Genetic contributions to advances in yield of U.S. maize. *Maydica* 37: 69 – 79
- Duvick DN, Smith JSC, Cooper M (2004) Long-term selection in a commercial hybrid maize breeding program. *Plant Breed. Rev.* 24: 109 – 151
- Duvick, DN (2005) Genetic progress in yield of United States maize (*Zea mays* L.). *Maydica* 50: 193 – 202
- Dwyer LM, Stewart DW and Tollenaar M (1992) Analysis of maize leaf photosynthesis under drought. *Can. J. Plant Sci.* 72: 477 – 481
- Dwyer LM, Tollenaar M and Stewart DW (1991) Changes in plant density dependence of photosynthesis of maize (*Zea mays* L.) hybrids, 1959 to 1988. *Can. J. Plant Sci.* 71: 1 – 11
- Earl HJ and Davis RF (2003) Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation use efficiency and yield of maize. *Agron. J.* 95: 688 – 696

Echarte L and Andrade FH (2003) Harvest index stability of Argentinean maize hybrids released between 1965 and 1993. *Field Crops Res.* 82: 1 – 12

Echarte L and Tollenaar M, (2006) Kernel set in maize hybrids and their inbred lines exposed to stress. *Crop Sci.* 46: 870 – 878

Echarte L, Andrade FH, Sadras VO y Abbate P (2001) Relación entre número de granos de la espiga principal y tasa de crecimiento por planta en maíces de distintas épocas. In *Actas VII congreso nacional de maíz.* 7, 8 y 9 de Noviembre 2001, Pergamino, Argentina. Asociación de Ingenieros Agrónomos de la zona Norte de la Pcia., Buenos Aires

Echarte L, Andrade FH, Vega CRC, Tollenaar M (2004) Kernel number determination in Argentinean maize hybrids released between 1965 and 1993. *Crop Sci.* 44: 1654 – 1661

Echarte L, Luque S, Andrade FH, Sadras VO, Cirilo A, Otegui ME, Vega CRC (2000) Response of maize kernel number to plant density in Argentinean hybrids released between 1965 and 1993. *Field Crops Research* 68: 1 – 8

Echarte L, Vega C, Andrade FH y Uhart SA (1998) Relación entre el número de granos fijados y la tasa de crecimiento por planta en híbridos de maíz de las últimas tres décadas en Argentina. *Actas XXI Reunión Argentina de Fisiología Vegetal.* Mar del Plata 23/9/98

Edmeades GO and Daynard TB (1979) The relationship between final yield and photosynthesis at flowering in individual maize plants. *Can. J. Plant Sci.* 59: 585 – 601

Edmeades GO, Bänziger M, Campos H and Schussler J (2006) Improving tolerance to abiotic stresses in staple crops: a random or planned process? p. 293 – 309. In K.R. Lamkey, M. Lee, (Eds.) *Plant breeding: the Arnel R. Hallauer International Symposium.* Blackwell Publishing, Ames, IA

Edmeades GO, Bänziger M, HR Mickelson HR, Peña-Valdivia CB (1996) Proceedings of a Symposium, March 25-29. Developing Drought and Low Nitrogen Tolerant Maize. CIMMYT, El Batán, México.

Edmeades GO, Bolaños J, Elings A, Ribaut JM, Bänziger M (2000) The role and regulation of the anthesis-silking interval in maize. In: Westgate ME and Boote KJ (Eds.), Physiology and Modeling Kernel Set in Maize. CSSA Special Publication No. 29. Crop Sci. Soc. Am./Am. Soc. Agron., Madison, USA, pp. 43 – 73

Egli DB (1998) Seed biology and the yield of grain crops. CAB International, New York. 178 pp.

Ellis RH, Summerfield RJ, Edmeades GO, Roberts EH (1992) Photoperiod, temperature, and the interval from sowing to tassel initiation in diverse cultivars of maize. *Crop Sci.*, 32: 1225 – 1232

Fancelli AL and Dourado-Neto D (2000) Produção de Milho. Agropecuária, Guaíba.

FAO (2009) Global agriculture towards 2050. In: FAO High-Level Expert Forum: How to Feed the World 2050. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome

FAOSTAT (2011) Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)

Fasoula DA and Fasoula VA (1997) Competitive ability and plant breeding. *Plant Breed. Rev.* 14: 89 – 138

Fasoula VA and Fasoula DA (2000) Honeycomb breeding: principles and applications. *Plant Breed. Rev.* 18: 177 – 250

Fischer KS and Palmer AFE (1984) Tropical maize. In: Goldsworthy PR and Fisher NM (Eds.), *The Physiology of Tropical Field Crops*. John Wiley & Sons, Chichester, England, pp. 213 – 248

- Fischer RA, Byerlee D and Edmeades GO (2014) Crop yields and global food security: will yield increase continue to feed the world? ACIAR Monograph No. 158. Australian Centre for International Agricultural Research: Canberra. xxii 634 pp.
- Flénet F, Kiniry J, Board J, Westagte M, Reicosky DC (1996) Row spacing effects on light coefficient of corn, sorghum and sunflower. *Agron. J.* 88: 185 – 190
- Fournier C and Andrieu B (1998) A 3D Architectural and Process-based Model of Maize Development. *Ann Bot* 81: 233 – 250
- Frey NM (1981) Dry mater accumulation in kernels in maize. *Crop Sci.* 13: 436 – 439
- Gallagher JN and Bicoe PV (1978). Radiation absorption, growth an yield of cereals. *Journals of agricultural science, Cambridge*, 91: 47 – 60
- Gallo WP and Daughtry CST (1986) Techniques for measuring intercepted and absorbed photosynthecally active radiation in crop canopies. *Agronomy Journal* 78: 752 – 756
- Gambín B, Borrás L, Otegui ME (2008) Kernel weight dependence upon plant growth at different grain-filling stages in maize and sorghum. *Aust. J. Agric. Res.* 59: 280 – 290
- Gambín BL and Borrás L (2010) Resource distribution and the trade-off between seed number and weight: a comparison across crop species. *Ann. Appl. Biol.* 156: 91 – 102
- Gambín BL, Borrás L, Otegui ME (2006) Source–sink relations and kernel weight differences in maize temperate hybrids. *Field Crops Res.* 95: 316 – 326
- Gardner FP, Pearce RB, Mitchel RL (1985) *Physiology of crop plant.* Iowa State University Press. USA. 327 pp.
- Gepts P (2006) Plant genetic resources conservation and utilization: the accomplishments and future of a societal insurance policy. *Crop Sci* 46: 2278 – 2292
- Gifford RM and Evans LT (1981) Photosynthesis, carbon partitioning and yield. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 32: 485 – 509

- Gilmore E and Rogers JS (1958) Heat units as a method of measuring maturity in corn. *Agronomy Journal* 50: 611 – 615
- Gowing JM and Palmer M (2008) Sustainable agricultural development in sub-Saharan Africa: the case for a paradigm shift in land husbandry. *Soil Use Manage* 24: 92 – 99
- Graneros I y Uhart SA (2006) Efecto de la distancia entre surcos y la densidad poblacional sobre el rendimiento de híbridos de maíz de diferente estructura de planta en el norte argentino. Disponible en: [www.maizar.org.ar/documentos/dist\\_entre\\_surcos-dens-hib.doc](http://www.maizar.org.ar/documentos/dist_entre_surcos-dens-hib.doc)
- Green RE, Cornell SJ, Scharlemann JPW, Balmford A (2005) Farming and the fate of wild nature. *Science* 307: 550 – 555
- Griffing B and Lindstrom EW (1954) A study of the combining abilities of corn inbreds having varying proportions of corn belt and non-corn belt germ plasm. *Agron. J.* 46: 545 – 552
- Hay RKM and Gilbert RA (2001) Variation in the harvest index of tropical maize: evaluation of recent evidence from Mexico to Malawi *Ann. Appl. Biol.*, 138: 103 – 109
- Hay RKM and Walker AJ (1989) *An introduction to the physiology of crop yield.* Essex, UK, Longman Scientific and Technical.
- He P, Osaki M, Takebe M, Shinano T (2003) Comparison of whole system of carbon and nitrogen accumulation between two maize hybrids differing in leaf senescence. *Photosynthetica* 41: 399 – 405
- Hesketh JD and Warrington IJ (1989) Corn growth response to temperature: rate and duration of leaf emergence. *Agronomy journal*, 81: 696 – 701
- Ipsilantis CG and Vafias BN (2005) Plant density effects on grain yield per plant in maize: Breeding implications. *Asian J. Plant Sci.* 4: 31 – 39
- Jandel S (1994) *Table Curve V.2D.* Jandel Scientific, Corte Madera, CA.

Jañez H, Semproni G y Neme H (1990) Caracterización del sector agropecuario de la provincia de Santiago del Estero. Estudio para la implementación de la reforma impositiva agropecuaria. Proyecto PNUD Argentina 85/019. 150 pag.

Johnson DR and Tanner JW (1972) Calculation of the Rate and Duration of Grain Filling in Corn (*Zea mays* L.). *Crop Sci.* 12: 485 – 486

Johnson EC, Fischer KS, Edmeades GO and Palmer AFE (1986) Recurrent Selection for Reduced Plant Height in Lowland Tropical Maize. *Crop Science*, 26: 253 – 260

Johnson JR, Gates RN, Newton GL, Wilson JP, Chandler LD, Utley PR (1997) Yield, Composition, and In Vitro Digestibility of Temperate and Tropical Corn Hybrids Grown as Silage Crops Planted in Summer. *Journal of Dairy Science* Vol. 80, N° 3, 80: 550 – 557

Jones CA and Kiniry JR (1986) CERES-Maize: a Simulation Model of Maize Growth and Development. Texas A&M University Press, College, TX.

Jones RJ, Roessler J and Ouattar S (1985) Thermal environment during endosperm cell división in maize: Effects on number of endosperm cells and starch granules. *Crop Sci.* 25: 830 – 834

Karlen DL and Camp CR (1985) Row spacing, plant population and water management effects on corn in the atlantic coastal plain. *Agron. J.* 77: 393 – 398

Keeling PCO, Banisadr R, Barone L, Wasserman BP and Singletary GW (1994) Effect of temperature on enzymes in the pathway of starch biosynthesis in development in wheat and maize grain. *Aust. J. Plant Physiol.* 21: 807 – 827

Kiniry JR (1991) Maize phasic development. En: J Hanks and JT Ritchie (eds.). *Modeling plant and soil systems. ASA-CSSA-SSSA. Madison, Wisconsin. Agronomy Monograph 31: 55 – 70*

- Kinity JR and Bonhomme R (1991) Predicting maize phenology. En: T. Hodges (ed.). Predicting crop phenology. CRC Press. Boca Raton, Ann Arbor. Boston. Págs. 115 – 131
- Knapp WR and Shaw Reid W (1981) Interaction of hybrid maturity class, planting date, plant population and nitrogen fertilization on corn performance in New York. Search Agriculture. Ithaca, N.Y. Cornell University Agricultural Experimental Station. N° 21. 28 pp.
- Lafitte HR and Edmeades GO (1997) Temperature responses of tropical maize cultivars selected for broad adaptation. 49: 215 – 29.
- Larcher W (1980) Physiological Plant Ecology. Second Edition. 303 pp. Springer Verlag Eds. Berlin.
- Laserna MP, Maddonni GA, López CG (2012) Phenotypic variations between non-transgenic and transgenic maize hybrids. Field Crop Research 134: 175 – 184
- Lindquist JL, Arkebauer TJ, Walters DT, Cassman KG, and Dobermann A (2005) Maize Radiation Use Efficiency under Optimal Growth Conditions. Agron J. 97: 72 – 78
- Maddonni GA (2012) Analysis of the climatic constraints to maize production in the current agricultural region of Argentina – a probabilistic approach. Theor. Appl. Climatol. 107: 325 – 345
- Maddonni GA and Otegui ME (1996) Leaf area, light interception and crop development in maize. Field Crops Res. 48: 81 – 87
- Maddonni GA and Otegui ME (2004) Intra-specific competition in maize: early establishment of hierarchies among plants affects final kernel set. Field Crops Res. 85: 1 – 13

Maddonni GA and Otegui ME (2006) Intra-specific competition in maize: contribution of extreme plant hierarchies to grain yield, grain yield components and kernel composition. *Field Crops Res.* 97: 155 – 166

Maddonni GA, Otegui ME, Cirilo AG (2001) Plant population density, row spacing and hybrid effects on maize canopy architecture and light attenuation. *Field Crops Res.* 71: 183 – 193

Maddonni GA, Otegui ME, Cirilo AG (2006) Row width and maize grain yield. *Agron. J.* 98: 1532 – 1543

MAIZAR, 2007. [http://www.maizar.org.ar/documentos/316\\_enfernoa.pdf](http://www.maizar.org.ar/documentos/316_enfernoa.pdf)

Mayer LI, Rossini MA, Maddonni GA (2012) Inter-plant variation of grain yield components and kernel composition of maize crops grown under contrasting nitrogen supply. *Field Crops Res.* 125: 98 – 108

McCullough DE, Aguilera A and Tollenaar M (1994) N uptake, N partitioning and photosynthetic N-use efficiency of an old and new hybrid. *Can. J. Plant Sci.* 74: 479 – 484

Metzler MJ, Valentinuz O y Uhart S (2007) Híbridos de maíz con germoplasma de origen tropical: ¿una opción para fechas tardías? *Actualización Técnica. Maíz, Girasol y Sorgo. Serie Extensión n° 44*

Monsi M and Saeki T (1953) Über den Lichtfaktor in den Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduktion. *The Journal of Japanese Botany* 14: 22 – 52.

Monteith JL (1972) Solar radiation and productivity in tropical ecosystem. *Journal of Applied Ecology* 9: 747 – 766

Moser SB, Feil B, Jampatong S, Stamp P (2006) Effects of pre-anthesis drought, nitrogen fertilizer rate, and variety on grain yield, yield components, and harvest index of tropical maize. *Agricultural Water Management. Vol. 81: 1 – 2*

- Norman MJT, Pearson CJ, Searle PGE (1995) *The ecology of tropical food crops*. New York, NY, USA, Cambridge University Press. 430
- Otegui ME (1997) Kernel set and flower synchrony within the ear of maize. II. Plant population effects. *Crop Sci.* 37: 448 – 455
- Otegui ME and Andrade FH (2000) New relationships between light interception, ear growth, and kernel set in maize. In: Westgate ME and Boote KJ (Eds.), *Physiology and Modeling Kernel Set in Maize*. CSSA, Madison, WI, pp. 89 – 102
- Otegui ME and Melón S (1997) Kernel set and flower synchrony within the ear of maize. I. Sowing date effects. *Crop Sci.* 37: 441 – 447
- Otegui ME, Nicolini MG, Ruiz RA and Dodds PA (1995) Sowing date effects on grains yield components for different maize genotypes. *Agronomy journal* 87: 29 – 33
- Otegui ME, Ruiz RA, Petruzzi D (1996) Modeling hybrid and sowing date effects on potential grain yield of maize in a humid temperate region. *Field Crops Res.* 47: 167 – 174
- Pagano E and Maddonni GA (2007) Intra-specific competition in maize: early established hierarchies differ in plant growth and biomass partitioning to the ear around silking. *Field Crop Res.* 101: 306 – 320
- Paliwal RL and Sprague EW (1981) Improving adaptation and yield dependability in maize in the developing world. *Adv. Agron.* 48: 1 – 87
- Paliwal RL, Granados G, Lafitte HR, Violic AD (2001) *El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción*. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. Roma. 334 pp.
- Pandey S and Gardner CO (1992) Recurrent selection for population, variety and improvement in tropical maize. *Adv. Agron.* 48: 1 – 87

- Parker JD, Palmer RG, and Wright DL (1991) Foreward. Page ii *in* Proc. Southern Reg. Tropical Corn Symp., Quincy, FL. Potash and Phosphate Institute/Foundation for Agronomic Research Tech. Bull. 1991-3, Potash and Phosphate Inst., Atlanta, GA.
- Paterniani E (1990) Maize breeding in the tropics. *Critical Rev. Plant Sci.* 9 (2): 125 – 154
- Pendlenton JW and Egli DB (1969) Potential yield of corn as affected by planting date. *Agronomy Journal*, 61: 70 – 71
- Pommel B, Gallais A, Coque M, Quillere I, Hirel B, Prioul JL, Andrieu B, Floriot M (2006) Carbon and nitrogen allocation and grain filling in three maize hybrids differing in leaf senescence. *Eur. J. Agron.* 24: 203 – 211
- Rattalino Edreira JI and Otegui ME (2012) Heat stress in temperate and tropical maize hybrids: Differences in crop growth, biomass partitioning and reserves use. *Field Crops Res.* 130: 87 – 98
- Rattalino Edreira JI and Otegui ME (2013) Heat stress in temperate and tropical maize hybrids: A novel approach for assessing sources of kernel loss in field conditions. *Field Crops Res.* 142: 58 – 67
- Rattalino Edreira JI, Budakli Carpici E, Sammarro D, Otegui ME (2011) Heat stress effects around flowering on kernel set of temperate and tropical maize hybrids. *Field Crops Res.* 123: 62 – 73
- Rattalino Edreira JI, Mayer LI, Otegui ME (2014) Heat stress in temperate and tropical maize hybrids: Kernel growth, water relations and assimilate availability for grain filling. *Field Crops Res.* 166: 162 – 172
- Reddy VH and Daynard TB (1983) Endosperm characteristics associated with rate of grain filling and kernel size in corn. *Maydica* 28: 339 – 355

- Ritchie JT and Hanway JJ (1982) How a corn plant development. Special report 48. Crop Extension S., Iowa State Univ. of Science and Tecnology. Ames. Iowa.
- Rossini MA, GA Maddonni, ME Otegui (2011) Inter-plant competition for resources in maize crops grown under contrasting nitrogen supply and density: Variability in plant and ear growth. *Field Crops Research* 121: 373 – 380
- Russell WA (1984) Agronomic performance of maize cultivars representing different eras of breeding. *Maydica* 29: 375 – 390
- Russell WA (1985) Evaluations for plant, ear and grain traits of maize cultivars representing seven years of breeding. *Maydica* 30: 85 – 96
- Sadras VO (2007) Evolutionary aspects of the trade-off between seed size and number in crops. *Field Crops Res.* 100: 125 – 138
- Sangoi L (2001) Understanding plant density effects on maize growth and development: an important issue to maximize grain yield. *Ci. Rur.* 31: 159 – 168
- Sangoi L, MA Gracietti, C Rampazzo, P Bianchetti (2002) Response of Brazilian maize hybrids from different eras to changes in plant density. *Field Crop Res.* 79: 39 – 51
- Sarlangue T, Andrade FH, Calvino PA, Purcell LC (2007) Why do maize hybrids respond differently to variations in plant density? *Agron. J.* 99: 984 – 991
- Severini AD, Borrás L, Westgate ME, Cirilo AG (2011) Kernel number and kernel weight determination in dent and popcorn maize. *Field Crops Research* 120: 360 – 369
- Shibles RM and Weber CR (1966) Interception of solar radiation and dry matter production by various soybean planting patterns. *Crop Sci.* 6: 55 – 59
- Steel RGD and Torrie JH (1960) Principles and procedures of statistics with specialreference to the biological sciences. Mc Graw Hill, New York. pp. 109 – 110
- Stuber CW and Hancock J (2008) Sustaining plant breeding—national workshop. *Crop Sci* 48: 25 – 29

- Subedi KD and Ma BL (2005) Ear position, leaf area, and contribution of individual leaves to grain yield in conventional and leafy maize hybrids. *Crop Sci.* 45: 2246 – 2257
- Tekio-Kagho F and Gardner FP (1988) Responses of maize to plant population density. II. Reproductive development, yield and yield adjustment. *Agron. J.* 80: 935 – 940
- Tokatlidis IS and Koutroubas SD (2004) A review study of the maize hybrids' dependence on high plant populations and its implications on crop yield stability. *Field Crops Res.* 88: 103 – 114
- Tollenaar M (1977) Sink – source relationships during reproductive development in maize. A review. *Maydica.* 22: 49 – 85
- Tollenaar M and Daynard TB (1978) Kernel growth and development at two positions on the ear of maize (*Zea mays*). *Can. J. Plant Sci.* 58: 189 – 197
- Tollenaar M and Lee EA (2002) Yield potential, yield stability and stress tolerance in maize. *Field Crop Res.* 75: 161 – 169
- Tollenaar M and Wu J (1999) Yield improvement in temperate maize is attributable to greater stress tolerance. *Crop Sci.* 39: 1597 – 1604
- Tollenaar M, Aguilera A and Nissanka SP (1997) Grain yield is reduced more by weed interference in an old than in a new maize hybrid. *Agron. J.* 89: 239 – 246
- Tollenaar M, Daynard TB, Hunter RB (1979) Effect of temperature on rate of leaf appearance and flowering date in maize. *Crop Science* 19: 363 – 366
- Tollenaar M, Dwyer LM and Stewart DW (1992) Ear and kernel formation in maize hybrids representing three decades of grain yield improvement in Ontario. *Crop Science* 32: 432 – 438
- Tsimba R, Edmeadesb GO, Millnerc JP, Kemp PD (2013) The effect of planting date on maize: Phenology, thermal time durations and growth rates in a cool temperate climate. *Field Crops Research* 150: 145 – 155

Uhart SA and Andrade FH (1991) Source-sink relationship in maize grown in a cool temperate area. *Agronomie* 11: 863 – 875

Valentinuz OR (1996) Crecimiento y rendimiento comparados de girasol, maíz y soja ante cambios en la densidad de plantas. Tesis Magister Scientiae. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Mar del Plata., Balcarce, Bs As., Argentina. 45 pp.

Valentinuz OR (1997) Crecimiento y rendimiento potencial de híbridos de maíz con germoplasma de origen tropical y templado. VI Congreso Nacional de maíz. Pergamino, noviembre.

Varlet-Grancher C, Bonhomme R, Chartier M, Artis P (1982) Efficiencie de le conversion de l'énergie solaire par un couvert végétal. *Oecologie Plantarum* 3: 3 – 26

Vasic NJ, Ivanovic MR, Brkic IJ, Bekavac GF, Zdunic ZI, Jambrovic AS (2006) Evaluation of maize hybrids containing different proportion of NC298 tropical germplasm line in their male parents. *Maydica* 51: 79 – 88

Vega CR y Andrade FH (2002) Densidad de plantas y espaciamiento entre hileras. En: Andrade FH y Sadras VO (eds.), Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Editorial Médica Panamericana S.A., Argentina. pp 97 – 135

Vega CRC (2011) Determinación del rendimiento de maíz ante modificaciones en el manejo de la sustentabilidad, distancia entre surcos y fecha de siembra. Analisis de campañas 2007 – 2010 de miembros de MAIZAR en el NOA. Buenos Aires (AR): MAIZAR. Asociacion Maíz y Sorgo Argentino. 55 p. Disponible en: <http://www.maizar.org.ar/documentos/maizar%20noa.pdf>.

Vega CRC and Sadras VO (2003) Size-dependent growth and the development of inequality in maize, sunflower and soybean. *Ann. Bot. London* 91: 795 – 805

Vega CRC, Andrade FH and Sadras VO (2001a) Reproductive partitioning and seed set efficiency in soybean, sunflower and maize. *Field Crop Res.* 72: 163 – 175

Vega CRC, Andrade FH, Sadras VO, Uhart SA, Valentinuz OR (2001b) Seed number as a function of growth. A comparative study in sorbean, sunflower and maize. *Crop Sci.* 41: 748 – 754

Vega CRC, Sadras VO, Andrade FH, Uhart SA (2000) Reproductive allometry in soybean, maize and sunflower. *Ann. Bot.* 85: 461 – 468

Warrington IJ and Kanemasu ET (1983a) Corn growth response to temperature and photoperiod. I. Seedling emergence, tassel initiation, and anthesis. *Agronomy Journal* 75: 749 – 754

Warrington IJ and Kanemasu ET (1983b) Corn growth response to temperature and photoperiod. II. Leaf-initiation and leaf-appearance rates. *Agronomy Journal* 75: 755 – 761

Whitehead FC, Caton HG, Hallauer AR, Vasal S, Cordova H (2006) Incorporation of elite subtropical and tropical maize germplasm into elite temperate germplasm. *Maydica* 51: 43 – 56

Wilhelm EP, Mullen RE, Keeling PL, Singletary GW (1999) Heat Stress during Grain Filling in Maize: Effects on Kernel Growth and Metabolism. *Crop Sci.* 39: 1733 – 1741

Williams WA, Loomis RS, Duncan WG, Dovrat A, Nunez A (1968) Canopy architecture at various population densities and the growth and grain yield of corn. *Crop Sci.* 8: 300 – 308

Wright DL and Prichard DL (1988) Tropical corn production and use. *Univ. of Fla Agron. Facts No.* 228