

Mejoramiento genético del garbanzo en la Argentina: rasgos ecofisiológicos asociados con la determinación del rendimiento.

Autora: Salto, Gabriela Evelin

Tutor: Ing. Agr. (M. Sc.) Luque, Sergio Fernando

AREA DE CONSOLIDACIÓN:

SISTEMAS AGRÍCOLAS DE PRODUCCIÓN EXTENSIVOS

2019

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CORDOBA

1



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons
Atribución – No Comercial – Sin Obra Derivada 4.0 Internacional.

TABLA DE CONTENIDO

1. RESUMEN.....	3
2. INTRODUCCIÓN.....	4
2.1 Hipótesis	8
2.2 Objetivo.....	9
3. MATERIALES Y METODOS	9
3.1 Determinaciones	10
3.2 Análisis	11
4. RESULTADOS.....	12
5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	19
6. AGRADECIMIENTOS.....	26
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26

1. RESUMEN

El garbanzo (*Cicer arietinum* L.), constituye una de las fuentes más baratas de proteína vegetal. El programa de mejoramiento genético del garbanzo (PMGG) tiene por objetivo la obtención de variedades con mayor potencial de rendimiento, calidad y adaptación a diferentes regiones y condiciones de manejo. Sin embargo, no se dispone de estudios sobre el impacto que el PMGG tuvo sobre algunos rasgos ecofisiológicos determinantes del rendimiento. Se utilizaron cuatro variedades comerciales de garbanzo tipo Kabuli, provenientes del PMGG y que representan un período de 20 años de mejora. El objetivo principal fue identificar los procesos y relaciones causales que determinan el progreso genético del rendimiento en cultivares de garbanzo liberados en diferentes años en Argentina. El rendimiento del cultivo mostró un incremento de 54 kg grano/ha/año. Esta ganancia genética estuvo fuertemente explicada por el aumento de la biomasa total producida a cosecha, con una mayor determinación de granos/m² pero sin un efecto significativo en el peso de los granos. El índice de cosecha no se vio afectado por el año de liberación de las variedades, esto evidencia que el aumento del rendimiento de las variedades modernas está asociado con una mayor producción de biomasa antes que cambios en la partición a granos.

Palabras clave: garbanzo, progreso genético, rendimiento, componentes del rendimiento.

2. INTRODUCCIÓN

El garbanzo (*Cicer arietinum* L.), constituye una de las fuentes más baratas de proteína. Es un cultivo anual de clima seco que se desarrolla en numerosas regiones del mundo, sobre todo en zonas áridas y semiáridas, donde se ha ido adaptando a condiciones adversas de clima y suelo. Es muy susceptible a enfermedades fúngicas, por esto el garbanzo fue llevado a áreas ecológicamente similares a las de origen, donde constituye una interesante alternativa nutricional, especialmente por su contenido proteico (Karlin, 2016).

Según la FAO (2016), casi el 95% de la producción mundial y el consumo de garbanzo se lleva a cabo en países en desarrollo, de los cuales, un 84,3% se encuentran en Asia. La mayor parte de los garbanzos que se cultivan en este continente, se producen en el sur (India, Pakistán y Turquía), área que representa más del 71% de la superficie mundial cultivada con esta especie. La India es, con gran diferencia, el mayor productor. En 2013 representó el 67% de la producción mundial y supuso 10 veces la cantidad que obtuvo el segundo productor mundial, Australia. En 2010, se cultivaron alrededor de 12 millones de hectáreas de garbanzos en el mundo. En los últimos 30 años, la producción mundial de esta legumbre se ha incrementado desde 4,8 hasta 11,1 millones de toneladas métricas, mientras el incremento de terreno cultivado ha sido mínimo, de 7,6 a 7,9 millones de hectáreas. Otros países importantes productores de garbanzo son: Pakistán, Turquía, México, Canadá y Australia.

El rendimiento medio en secano obtenido a nivel mundial, alcanza los 880 kg/ha, mientras que la Bolsa de Cereales de Córdoba (2018), indica que el rendimiento promedio ponderado para Córdoba en las últimas ocho campañas

fue de 20,5 quintales por hectárea. Bajo riego, los rendimientos medios en el mundo se acercan a los 1500 kg/ha. En nuestro país, en la región norte de Córdoba, se ha registrado valores de hasta 5400kg/ha (Tula y col., 2016), lo que refleja el importante potencial productivo del cultivo en la región.

Casi toda la producción de garbanzo en el mundo se realiza en seco. En las principales regiones productoras del mundo (India, Pakistán, Turquía, México, Canadá y Australia), se realiza bajo condiciones de clima mediterráneo, por lo que el cultivo, que depende de las precipitaciones al inicio del ciclo, está sometido a niveles crecientes de estrés hídrico durante el resto de la estación de crecimiento. Esto determina que el cultivo se encuentre expuesto frecuentemente a sequías terminales y estrés por altas temperaturas (Saxena y col., 2000, Jumrani y Bhatia, 2014).

Como estrategia de escape a la sequía, la siembra del cultivo frecuentemente se adelanta lo que expone a las plantas a bajas temperaturas en el momento de floración (Srinivasan y col., 1997). En consecuencia, las pérdidas de rendimiento oscilan entre el 20 y el 50% (Saxena y col., 2000), lo que hace que el rendimiento en dichas regiones sea inferior a los logrados en Argentina. Las regiones de cultivo de nuestro país poseen un clima de tipo monzónico, por lo que las condiciones agroecológicas son muy diferentes ya que las sequías no son terminales. Esto permite una mayor flexibilidad en el manejo de la fecha de siembra, acotadas generalmente por la ocurrencia de heladas, lo que posibilita el logro de mayores rendimientos.

Algunos estudios realizados para identificar los rasgos fisiológicos asociados con la mejora genética del rendimiento en Asia, encontraron que la

reducción del ciclo del cultivo y la tolerancia al frío durante la floración fueron los principales rasgos incorporados en el mejoramiento genético de cultivares adaptados a aquellas regiones (Berger, 2007). Sin embargo, no se dispone de antecedentes que reflejen la ganancia genética del rendimiento ni de rasgos fisiológicos asociados al mismo debido al proceso de mejora del cultivo.

La provincia de Córdoba es la principal productora de garbanzo del país. En la región centro-norte, el cultivo ha tenido un fuerte interés por parte de los productores, con una superficie sembrada de 85.900 has en la campaña 2018/2019, con un rendimiento regional promedio de 1550 kg/ha, y una producción de 122.700 toneladas, posicionándose como la segunda de mayor volumen luego de la campaña récord 2016/2017 (139.800 tn.). La explicación de esta mayor producción radica en la mayor área sembrada con garbanzo, la que se constituye como la mayor de la serie histórica de Córdoba (Bolsa de Cereales de Córdoba, 2019), lo que muestra la gran aptitud de la región para este cultivo.

Los cultivares difundidos en toda la región provienen del Proyecto “Contribución al mejoramiento del garbanzo (*Cicer arietinum* L.): adaptación de líneas selectas”, cuya dirección está a cargo de la Dra. Julia Carreras, FCA-UNC. El cultivar Chañaritos S-156, es una selección individual de la población Sauco. La mejor línea de 3 hermanas: S156, S93 y S159. Norteño, Kiara UNC-INTA y Felipe UNC-INTA son hermanos; cuyos progenitores fueron una madre mexicana y S-159, sangre mexicana para mejorar el tamaño y S-159 fuerte adaptación a las bajas temperaturas que no la tiene la madre; entre otros aspectos. Estos han sido obtenidos en este programa y en la actualidad son

sembrados en toda la región (Carreras, 2013). El programa se inició principalmente orientado hacia la selección de cultivares con mayor rendimiento, y actualmente se han incorporado otros rasgos como la tolerancia a enfermedades y atributos de la calidad del grano para cumplir con exigencias del mercado (mayor peso del grano, mayor calibre y coloración clara).

El rendimiento es analizado como el producto del número de granos por unidad de superficie (NG) y el peso por grano (PG). Ambos se determinan en diferentes períodos dentro del ciclo del cultivo y generalmente la ventana donde se define el NG ha sido considerada como una etapa más crítica para la determinación del rendimiento. Durante esta fase crítica es muy importante maximizar el crecimiento del cultivo y la partición hacia las estructuras reproductivas. En garbanzo esta ventana ha sido establecida recientemente por Lake y Sadras (2014) ubicándola en 800 grados días (GDD) centrados a los 100 GDD después del inicio de la floración. En la práctica esto ubica a este período desde poco antes de R1 (aparición de las primeras flores) hasta el inicio de R3 (comienzo del crecimiento de las vainas).

En el proceso de mejora genética, el rendimiento es un carácter complejo de llevar a cabo por su baja heredabilidad y por ser el resultado del desarrollo completo de la planta. En garbanzo, existen correlaciones positivas entre rendimiento y sus componentes (semillas por planta, tamaño de la semilla, semillas por vaina, vainas por planta, etc.). Ocasionalmente se han publicado correlaciones negativas entre tamaño de semilla y rendimiento (Carreras, 2013).

Por su parte, la relación que se establece durante el período de llenado de grano entre la capacidad de la fuente y la capacidad de los destinos reproductivos se conoce como relación fuente/destino (Tollenaar, 1977). La capacidad de los destinos o demanda, es la habilidad de estos órganos para importar asimilados y se la relaciona generalmente con el número de granos (Borrás y col., 2004; Sala y col., 2007), mientras que la fuente se asocia con la habilidad del cultivo para sostener el crecimiento de esos granos. La magnitud de esta relación fuente/destino será la responsable de la determinación del peso de los granos.

Como se mencionó anteriormente, en el caso del cultivo de garbanzo la selección de cultivares de mayor rendimiento, podría estar asociada a la obtención de cultivares con mayor número de destinos y de mayor peso por grano. Sin embargo, se desconoce hasta el momento la magnitud de estos cambios, su repercusión en la expresión del rendimiento y los atributos fisiológicos de los cultivares de mayor difusión en la región que permiten explicar estos cambios.

2.1 Hipótesis

- Las variedades modernas de garbanzo difundidas en Argentina tienen un mayor rendimiento debido a que son capaces de fijar un mayor número de granos por unidad de superficie y de mayor peso individual de granos.

- Los cultivares modernos de garbanzo muestran menores caídas en el peso de grano ante disminuciones en la capacidad de la fuente durante el llenado de grano.

- El mayor rendimiento de los cultivares modernos se debe principalmente a cambios en la partición más que a cambios en la capacidad de captura y eficiencia de uso de la radiación.

2.2 Objetivo

El objetivo principal de este trabajo fue identificar los procesos y relaciones que causan el progreso genético del rendimiento en cultivares de garbanzo liberados en Argentina en diferentes años.

3. MATERIALES Y METODOS

Se realizó un experimento en el Campo Escuela de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, UNC (31°28'42.0"S 64°00'31.5"W), durante la campaña 2017. El 23 de mayo se sembraron las variedades comerciales de garbanzo tipo Kabuli, provenientes del programa de mejoramiento genético de garbanzo (PMGG) que se lleva a cabo en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la UNC (SECYT-Proyecto A: 2014-15 30720130100491CB) y que representan un período de 20 años de mejoramiento genético. Los cultivares y características de los mismos son:

- **Chañaritos S-156**, tipo Kabuli con semilla clara y de tamaño mediano, liberado en 1992.
- **Norteño**, tipo Kabuli con semilla clara y de tamaño mediano, liberado en 1998.
- **Kiara UNC-INTA**, tipo Kabuli con semilla clara y de tamaño grande, alto rendimiento en óptimas condiciones, liberado en 2012.

- **Felipe UNC-INTA**, tipo Kabuli con semilla clara y de tamaño mediano, liberado en 2012.

La densidad empleada fue de 20 semillas/m² y la siembra se realizó de forma manual. En preemergencia se aplicó sulfentrazone 50% a razón de 1 l/ha e imazetapir 10% en dosis de 0,8 l/ha. El experimento se realizó a campo sin restricciones hídricas ni nutricionales, y se efectuaron controles preventivos para evitar la aparición de plagas y enfermedades.

El diseño experimental fue en bloques completos al azar, con 3 repeticiones. Cada parcela contó con 7 surcos, separados a 0,52 metros y 7 metros de largo.

El efecto del progreso genético se analizó sobre cambios en la fenología, intercepción de la radiación, la producción de biomasa, el rendimiento y los componentes numéricos del rendimiento: Número de Granos y Peso de 1000 Granos (NG y PG respectivamente).

Datos climáticos durante el ciclo del cultivo fueron registrados en una estación meteorológica ubicada a 100 m del experimento.

3.1 Determinaciones

Fenología: semanalmente se determinó sobre cada parcela la emergencia del cultivo y los momentos de ocurrencia del 50% de aparición de flores, de vainas y de aparición de vainas maduras, considerando como tales las que presentan completa coloración amarilla.

Intercepción de radiación: La fracción de intercepción de radiación fotosintéticamente activa (fRFA) se midió semanalmente, utilizando una barra

medidora de flujo de fotones (Decagon Devices). Las mediciones se realizaron en horarios de alta radiación (12:00 hs) y promediando tres lecturas por parcela.

Biomasa total producida: A cosecha se determinó la materia seca aérea total (MST) producida mediante la recolección de las plantas presentes en 1 m². Las muestras fueron secadas en cámara de aire forzado a 60°C durante 72 horas y luego pesadas.

Rendimiento: las muestras de biomasa tomadas anteriormente, fueron trilladas manualmente para obtener el rendimiento (Rto) en grano por unidad de superficie sobre una base seca. Del grano cosechado, se extrajo una muestra de 200 granos de cada tratamiento con el objetivo de determinar PG. Finalmente, el NG se obtuvo como el cociente entre Rto y PG.

A partir del cociente entre el Rto y la MST se calculó el índice de cosecha (IC)

3.2 Análisis

Los parámetros evaluados de los genotipos fueron sometidos a un ANOVA y se efectuó un test LSD para detectar diferencias entre medias con un nivel de probabilidad $p < 0.05$.

Los cambios en las variables MST, Rto, NG, PG e IC fueron estudiadas en función del año de liberación de los cultivares mediante análisis de regresión. Se analizó la asociación entre el Rto y los componentes numéricos del rendimiento y el grado de determinación de estos últimos con la producción de biomasa.

4. RESULTADOS

Intercepción de radiación

Los cultivares evaluados presentaron diferentes patrones de intercepción de luz (Figura 1). Chañaritos y Norteño se diferenciaron de los cultivares modernos Felipe y Kiara al exhibir una evolución de la intercepción de luz más constante en el tiempo. Esta diferencia se hizo evidente a partir de los 40 DDE, en coincidencia con el momento de ocurrencia de severas heladas. Las mismas alcanzaron registros de entre -1 y -6.5 °C durante un período de 5 días consecutivos. La magnitud de los eventos de frío registrados, tuvo efectos diferenciales sobre los genotipos evaluados, y las variedades modernas presentaron la mayor susceptibilidad a las heladas.

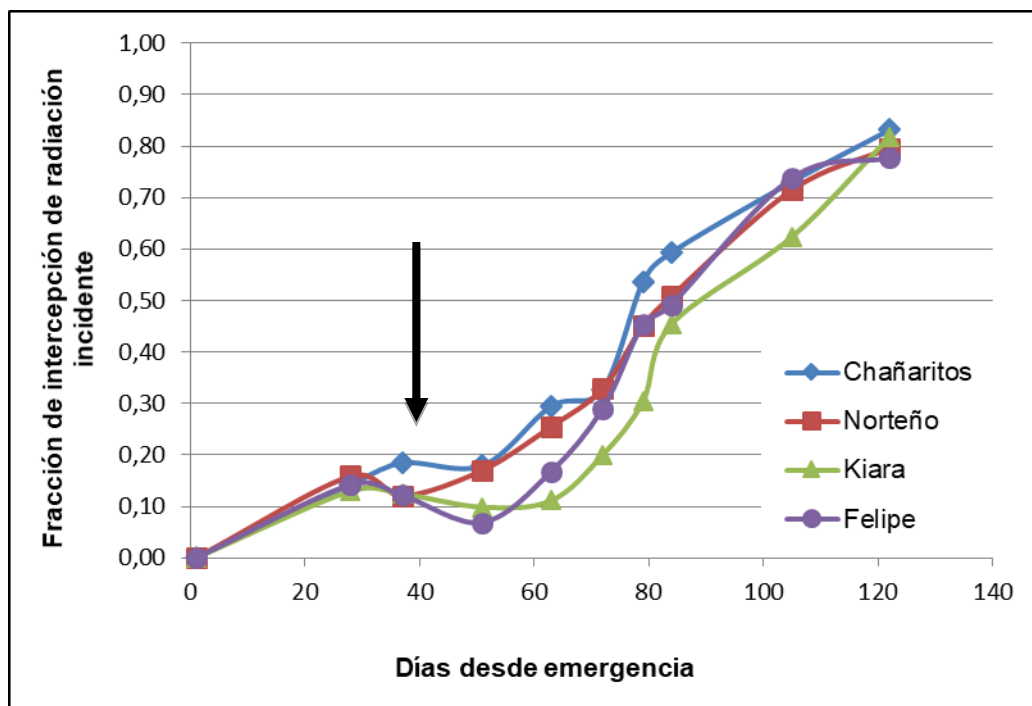


Figura 1: Evolución de la fracción de radiación incidente interceptada en función de los días desde emergencia para cuatro variedades de garbanzo del PMGG. La flecha indica el momento de ocurrencia de severas heladas.

Duración de ciclo y biomasa total producida

No se detectaron cambios en la duración total del ciclo desde emergencia a cosecha y todas las variedades llegaron a madurez entre los 150 y 154 días.

Los genotipos se diferenciaron significativamente en la cantidad de biomasa producida a cosecha (Tabla 1). La producción de materia seca osciló entre las 5 y las 8.5 Tn MS/ha. Las mayores diferencias se encontraron entre el material más antiguo y uno de los más modernos (Felipe UNC-INTA). Cuando se contrastó la producción de biomasa de cada variedad con su año de liberación, se observó una tendencia a incrementar la producción de MST como consecuencia del mejoramiento genético del cultivo (Figura 2).

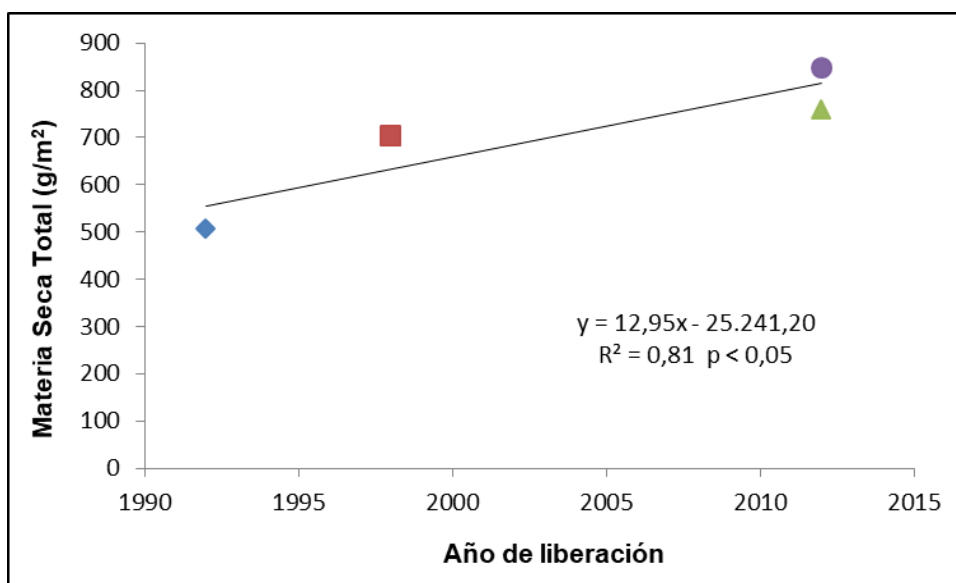


Figura 2: Materia Seca Total a cosecha en función del año de liberación de cuatro variedades del PMGG. Rombo: Chañaritos S-156, Cuadrado: Norteño, Triángulo: Kiara UNC-INTA, Círculo: Felipe UNC-INTA.

Rendimiento

El rendimiento de las variedades de garbanzo osciló entre los 188.9 y los 337 g de grano/m² y las variedades se diferenciaron significativamente en esta

variable (Tabla 1). El rendimiento se incrementó como consecuencia del mejoramiento genético a través de los años de liberación de las variedades. La tasa de mejora encontrada fue de 54 kg/ha/año (Figura 3) y el año de liberación explicó el 78% de este aumento.

Tabla 1: Materia seca total producida por metro cuadrado, rendimiento en grano (0% humedad), peso de mil granos, número de granos por metro cuadrado e índice de cosecha de cuatro variedades de garbanzo de diferentes épocas de liberación al mercado en Argentina.

Variedad	Año de liberación	Materia seca total	Rendimiento	Peso 1000 granos	Granos/m ²	IC
		g/m ²	g/m ²	g	núm/m ²	%
Chañaritos S-156	1992	505,9 a*	188,9 a	286,6 a	656,5 a	37,1 a
Norteño	1998	703,3 b	274,2 b	440,7 c	621,5 a	38,9 a
Kiara UNC INTA	2012	758,4 b	291,6 b	436,6 c	663,3 a	38,3 a
Felipe UNC INTA	2012	848,8 c	337,0 c	335,4 b	1002,5 b	39,6 a
DMS †		80.1	42.6	44.2	81.9	5.1

† DMS: diferencia mínima significativa para comparar entre medias.

* Valores de medias seguidas de la misma letra no difieren significativamente LSD 0.05

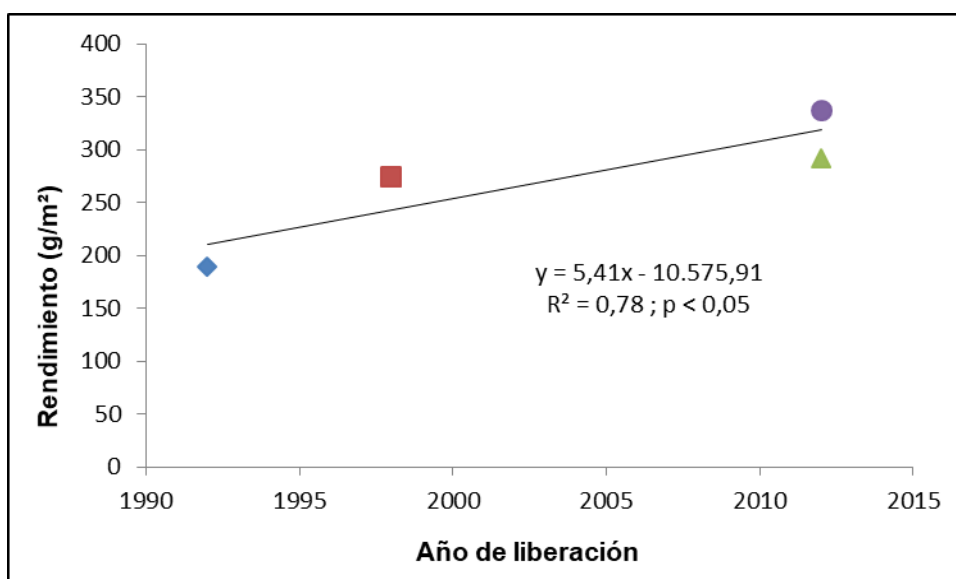


Figura 3: Rendimiento en grano (humedad 0%) en función del año de liberación de cuatro variedades de garbanzo liberadas en el marco del PMGG. Rombo: Chañaritos S-156, Cuadrado: Norteño, Triángulo: Kiara UNC-INTA, Círculo: Felipe UNC-INTA.

Los cultivares difirieron significativamente tanto en el NG como en el PG (Tabla 1) y los cambios de ambos componentes pudieron explicar las variaciones encontradas en el rendimiento. Para el conjunto de los cultivares evaluados, el 45% ($p < 0,05$) de la variación del rendimiento fue explicado por el NG mientras que solo un 19% pudo ser explicado por cambios en el PG (Figuras 4 y 5 respectivamente).

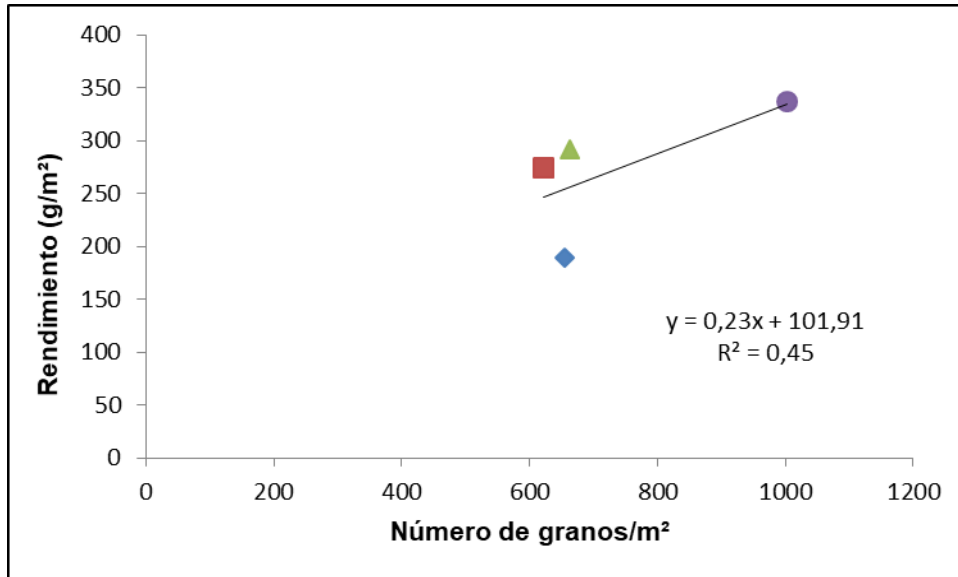


Figura 4: Variaciones del Rendimiento (humedad 0%) en función del número de granos/m² para cuatro variedades liberadas en el PMGG. Rombo: Chañaritos S-156, Cuadrado: Norteño, Triángulo: Kiara UNC-INTA, Círculo: Felipe UNC-INTA.

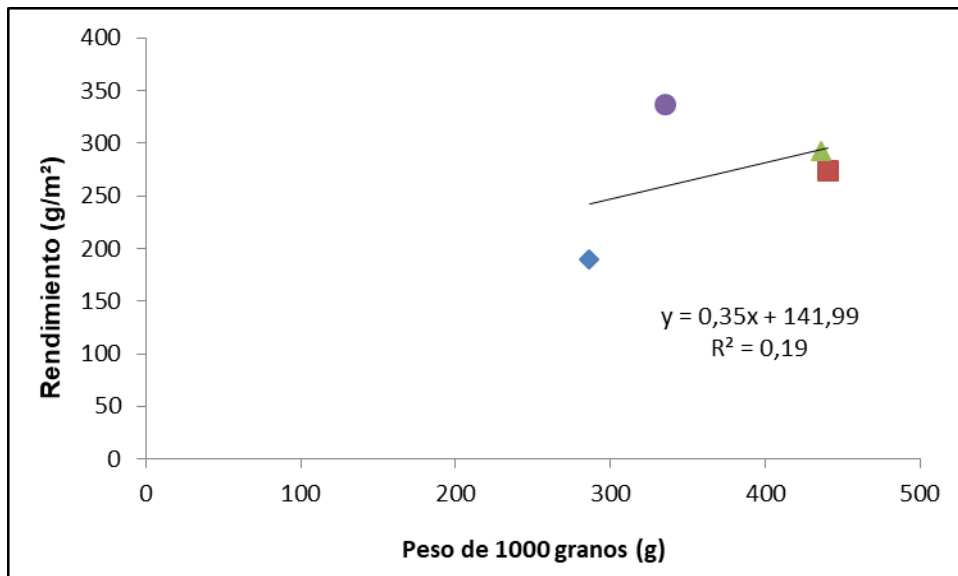


Figura 5: Variaciones del Rendimiento (humedad 0%) en función del peso de mil granos para cuatro variedades liberadas en el PMGG. Rombo: Chañaritos S-156, Cuadrado: Norteño, Triángulo: Kiara UNC-INTA, Círculo: Felipe UNC-INTA.

El efecto del mejoramiento sobre los componentes del rendimiento fue bajo. Predominó un mayor efecto sobre el NG, en donde el año de liberación explicó el 35% de la variación (Figura 6) mientras que no se observó un efecto del año de liberación sobre el peso de mil granos (Figura 7). En ninguno de los dos casos los modelos ajustados resultaron significativos.

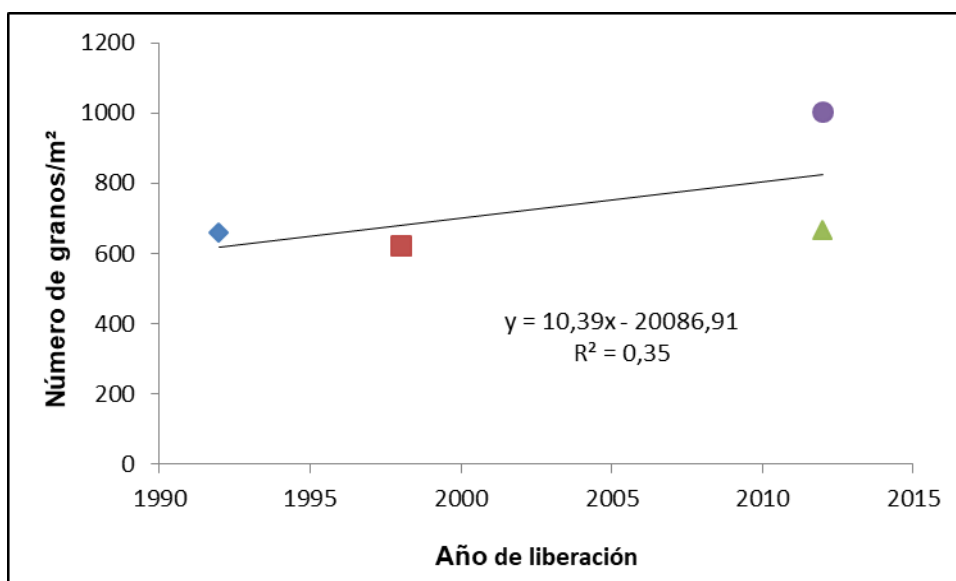


Figura 6: Variaciones del número de granos/m² en función del año de liberación de cuatro variedades de garbanzo liberadas en el marco del PMGG. Rombo: Chañaritos S-156, Cuadrado: Norteño, Triángulo: Kiara UNC-INTA, Círculo: Felipe UNC-INTA.

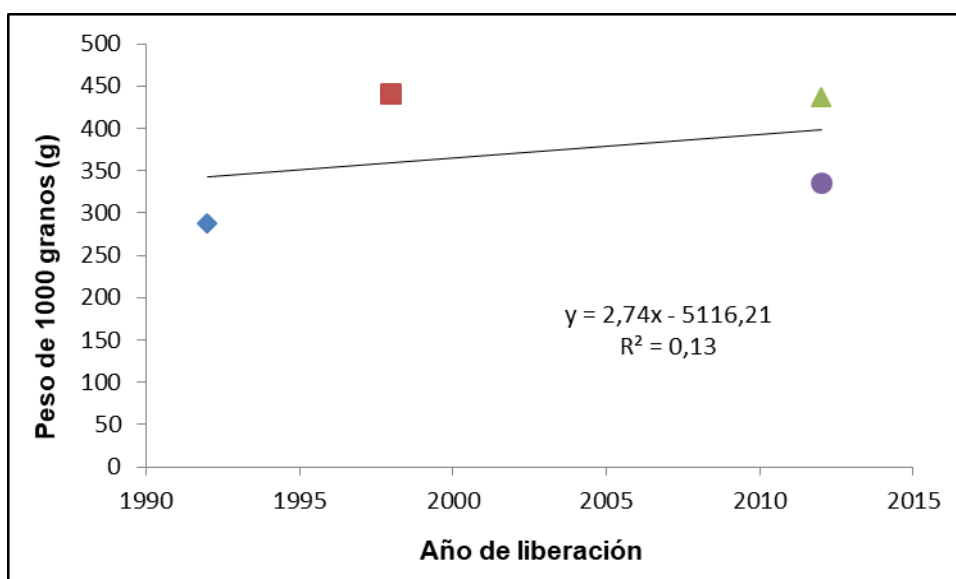


Figura 7: Variaciones en el peso de mil granos en función del año de liberación de cuatro variedades de garbanzo liberadas en el marco del PMGG. Rombo: Chañaritos S-156, Cuadrado: Norteño, Triángulo: Kiara UNC-INTA, Círculo: Felipe UNC-INTA.

No se encontraron diferencias significativas entre variedades en el Índice de Cosecha (Tabla 1) y esta variable no se asoció con el año de liberación (Figura 8).

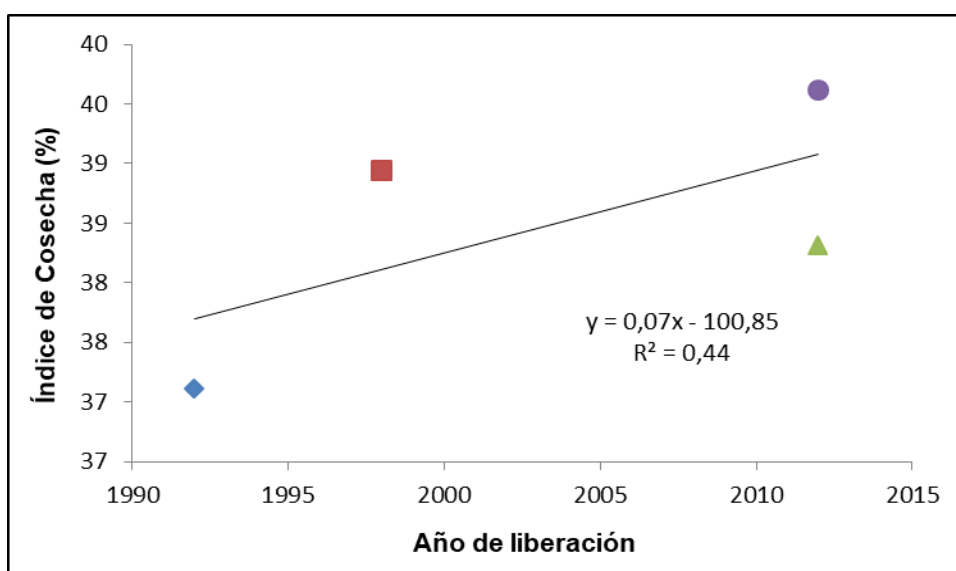


Figura 8: Variaciones en el Índice de Cosecha en función del año de liberación de cuatro variedades de garbanzo liberadas en el marco del PMGG. Rombo: Chañaritos S-156, Cuadrado: Norteño, Triángulo: Kiara UNC-INTA, Círculo: Felipe UNC-INTA.

Las variaciones del rendimiento fueron fuertemente explicadas por cambios en la materia seca producida a cosecha. La asociación entre ambas variables mostró un alto grado de ajuste con un modelo lineal simple (Figura 9).

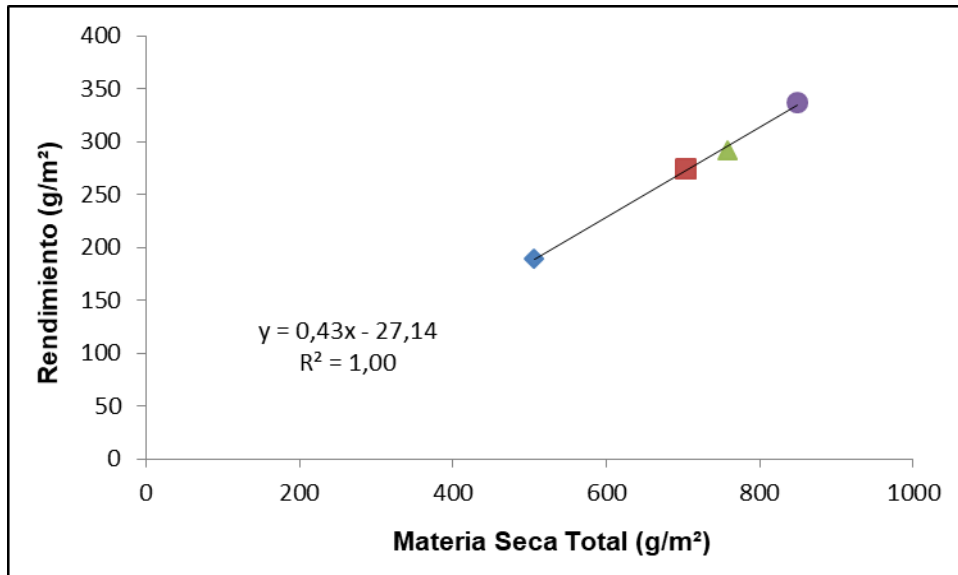


Figura 9: Variaciones del Rendimiento (humedad 0%) en función de la Materia Seca Total a cosecha de cuatro variedades liberadas en el marco del PMGG. Rombo: Chañaritos S-156, Cuadrado: Norteño, Triángulo: Kiara UNC-INTA, Círculo: Felipe UNC-INTA.

5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La ocurrencia de severas heladas en etapas tempranas del cultivo, alrededor del día 40 del ciclo (Figura 1), provocó una importante pérdida de individuos lo que redujo sensiblemente la superficie de las parcelas destinadas a evaluar la producción de materia seca. Por este motivo, no se pudo realizar muestreos en floración y durante el período de llenado de granos, lo que impidió la determinación de variables como la Eficiencia en el uso de la Radiación y la cuantificación de posibles cambios en la disponibilidad de fuente

para el llenado de los granos. Por lo tanto, lo propuesto en las hipótesis 2 y 3 no pudo ser testeado.

No obstante, el incremento de la producción de la biomasa de los cultivares modernos (Figura 2) podría estar asociada a i) mayor producción debida a una mayor duración de ciclo y en consecuencia mayor cantidad de luz acumulada, ii) mayor capacidad de captura de radiación de los cultivares modernos y iii) un aumento de la eficiencia de uso de la radiación (EUR).

A diferencia de lo hallado por Berger *y col.*, (2004) y Soltani y Sinclair (2012) que indican incrementos en la producción de garbanzo por cambios en la duración del ciclo debido al mejoramiento genético, en este trabajo no se encontró evidencia de ello. La región sobre la que se desarrolla el cultivo en nuestro país no presenta mayores limitantes durante la estación de crecimiento que requiera ajustar la fenología del cultivo, por lo que no sería éste un rasgo de interés para ser incorporado a la especie en Argentina.

Las variedades no se diferenciaron en su capacidad para interceptar luz a los 120 DDE (Figura 1). Es probable que esta tendencia se haya mantenido hasta la madurez, pero no se dispone de mediciones de intercepción de luz hasta ese momento. Bajo este supuesto, cabe la posibilidad de considerar un aumento de la EUR de los materiales modernos. A campo pudieron observarse diferencias en la arquitectura de las plantas asociadas al porte y ramificaciones. Se sabe que la arquitectura de las plantas puede modificarse a través del mejoramiento genético y con ello incrementar la EUR del cultivo, tal como lo demostró Luque *y col.*, (2006) en maíz. El incremento de la materia seca producida a cosecha de las variedades modernas (Tabla 1) bajo un mismo

nivel de intercepción de luz, podría ser consecuencia entonces de una mayor EUR debida a cambios en la arquitectura del cultivo introducidos mediante el mejoramiento genético (Carreras y col., 2016).

La ocurrencia de fuertes heladas tempranas, anormales para la región, provocó una importante pérdida de área foliar que afectó la capacidad de captura de radiación (Figura 1). Las variedades más afectadas fueron Kiara y Felipe, pero al finalizar el ciclo lograron recuperarse e interceptar la misma cantidad de luz al igual que las demás variedades, y fueron las que obtuvieron un mayor peso de materia seca en granos. Aunque esto puede representar un rasgo desfavorable, los genotipos modernos exhibieron una gran capacidad de recuperación de la canopia. Este comportamiento para restituir el área foliar perdida, refleja una mejora en la capacidad de respuesta de las variedades modernas ante eventos desfavorables que puede interpretarse como mecanismo de tolerancia a heladas incorporado a través del proceso de mejora genética.

El rendimiento del cultivo mostró un incremento de 54 kg grano/ha/año por efecto del mejoramiento genético. Biderbost (2016), señala que los principales objetivos del mejoramiento del cultivo en la Argentina, estuvieron asociados con la incorporación de tolerancia al frío y de enfermedades como fusariosis en las variedades disponibles. Sin embargo, estos autores no mencionan ningún registro sobre el avance genético obtenido en este programa. La incorporación de estas características, no necesariamente pudo estar asociado con la expresión de un mayor rendimiento per sé, sino con la obtención de variedades que brinden una mayor seguridad de cosecha del cultivo. El rendimiento

superior que las variedades modernas mostraron en este experimento (Figura 3) podría ser reflejo de este objetivo. Abbo y col. (2003) señalan que pueden existir variedades localmente muy bien adaptadas, pero la base genética podría no ser muy extensa para dar grandes saltos en el progreso genético. Esto último podría sugerir que el incremento del rendimiento obtenido en las variedades modernas del presente trabajo sea relativamente bajo. Si bien este camino del mejoramiento es bueno y sólido, tiene la particularidad de necesitar varios años para ver dicho progreso. Las referencias sobre el progreso genético del rendimiento en esta especie a nivel mundial son escasas. En su mayoría analizan los rasgos ecofisiológicos que mejor explican la adaptación de diferentes genotipos a diferentes ambientes y cómo el análisis de la interacción genotipo x ambiente puede ayudar a direccionar los esfuerzos del mejoramiento genético (Berger y col., 2004; Lake y Sadras, 2016; Soltani y Sinclair, 2012). Sin embargo, en nuestro país ésta es la primera cuantificación del progreso genético de esta especie que se tenga registro y refleja el éxito del PMGG en Argentina.

El rendimiento obtenido osciló entre los 189 y 337 g/m². Los valores de rendimiento logrados con cada variedad son similares a los reportados por García Medina y col. (2016) en ensayos comparativos de rendimiento realizados en la provincia de Salta, mientras que en Córdoba, los registros de las últimas 8 campañas muestran rendimientos que oscilaron entre 5 y 29 qq/ha (BCCBA, 2018). La brecha que existe entre el rendimiento obtenido por Tula y col. (2016) de 5400 kg/ha y el máximo logrado en el presente trabajo (3370 kg/ha) es amplia. Esto muestra una gran posibilidad de incrementar el

rendimiento a partir de mejoras del ambiente de producción con la genética actualmente disponible.

En este experimento, el PG1000 no mostró ninguna tendencia por efecto del mejoramiento (Figura 7), mientras que el NG mostró una respuesta positiva (Figura 6). En muchos cultivos, la tendencia a tener granos más livianos en cultivares con más granos muestra que esa vía de selección podría estar implicando un rasgo negativo. Hay antecedentes que indican que el aumento de NG por planta implica caídas muy importantes en el PG1000 (Güller y col., 2001). La respuesta del PG hallada concuerda con datos mostrados por García Medina y col., (2016) quienes comparan los mismos cultivares aquí evaluados, aunque las respuestas informadas por estos autores son muy variables entre años y localidades. Esto probablemente refleje alguna susceptibilidad a cambios en la relación fuente/destino que merezca mayor atención en posteriores estudios.

No hubo una consistente asociación del IC con el año de liberación (Figura 8). Sin embargo, se observó una fuerte asociación entre el RTO y la MST (Figura 9), lo que refleja que no hubo cambios en la partición de biomasa hacia destinos reproductivos. Esto sugiere un buen camino del mejoramiento para el incremento del rendimiento. En otras especies como trigo o maíz, ha sido evidente un incremento de la partición hacia destinos reproductivos con el consecuente aumento del IC (Brancourt-Hulmel y col., 2003; Luque y col., 2006). En las variedades de garbanzo generadas en el PMGG, resultó evidente que el incremento del rendimiento estuvo acompañado por un fuerte aumento

de la biomasa total a cosecha y concuerda con los hallazgos de Mallu y col. (2014) quienes demostraron que una alta producción de biomasa permite obtener un rendimiento mayor de granos a cosecha y de mayor peso. Este camino de incremento de la producción ha sido explorado en otros cultivos y es una vía interesante de mejora cuando no hay limitaciones de fuente para el llenado de los granos, característica que podría estar presente en las variedades estudiadas.

La gran longitud del ciclo del cultivo y la falta de herbicidas para el control de malezas en estados avanzados, facilita la proliferación de malezas, lo que pudo afectar de forma importante el crecimiento de las plantas y su posterior llenado de granos. Sin embargo, a pesar de la mortandad temprana de plantas y del pobre estado fisiológico de las que sobrevivieron, las mismas mostraron buena capacidad de recuperación, llegando a un buen nivel de captura de los recursos hacia el final del cultivo y aumentando la producción de biomasa, lo que permite producir una cantidad de granos levemente superior que las más antiguas, logrando así, mantener constante el IC. Esto reflejaría una mejor capacidad de compensación frente a un estrés de las variedades más nuevas respecto a las más antiguas. Recientes estudios en garbanzo apoyan la teoría de que fenotipos menos competitivos están asociados con mayores rendimientos (Lake y Sadras, 2015) conforme a la idea del "ideotipo comunal" expresada para trigo por Donald (1981).

Resumen de los principales hallazgos

Hubo un significativo incremento del rendimiento por efecto del mejoramiento genético del cultivo. La ganancia genética de 54 kg/ha/año encontrada, es la primera cuantificación de este tipo hallada al respecto.

Se observó una mejora sobre el NG por efecto del mejoramiento genético de las variedades liberadas en el PMGG.

No se detectó efecto del mejoramiento genético sobre el peso del grano.

El IC no mostró una fuerte asociación de mejora genética debido al año de liberación de las variedades.

El principal rasgo que se asoció al aumento del rendimiento fue una mayor capacidad de producir biomasa por m².

Recomendaciones prácticas, o aspectos a tener en cuenta.

Desde el punto de vista del mejoramiento genético, una mejora en la partición a destinos reproductivos se muestra como un buen rasgo a trabajar.

Los datos sugieren una capacidad diferencial de las variedades modernas para recuperarse de un estrés, es un rasgo importante a incorporar en nuevas variedades.

La estabilidad del IC permitiría incrementar el rendimiento mejorando la disponibilidad de recursos, por lo tanto con técnicas de manejo se puede lograr este objetivo:

- mejor control de malezas,
- herramientas para el control tardío de malezas,
- aumentar el monitoreo y control de enfermedades,

- semillas de buena calidad,
- rotación de cultivos en el lote.

6. AGRADECIMIENTOS

A Dios por sobre todas las cosas.

A la familia que siempre confió en mí y acompañó en todos los años de facultad.

Diego, mejor amigo y colega, gracias por siempre estar, te amo.

A las amigas que me regaló la facultad.

Al Ing. Agr. Luque Sergio por su tiempo, ayuda y dedicación en compartir sus conocimientos y guiarme en esta última etapa de la carrera. Y a la cátedra de Cereales y Oleaginosas de la FCA-UNC en general.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbo, S., Berger, J., Turner, N. (2003). Evolution of cultivated chickpea: four bottlenecks limit diversity and constrain adaptation. *Functional Plant Biology*. 30:1081–1087.

- Berger, J.D.; Turner, N. C., Siddique, K. H. M., Knights, E. J., Brinsmead, R. B., Mock, I., Edmondson, C., and Khan, T. N. (2004) Genotype by environment studies across Australia reveal the importance of phenology for chickpea (*Cicer arietinum* L.) improvement. *Aust. J. of Agri. Res.* 55, 1071-1084.

- Berger, J.D. 2007. Ecogeographic and evolutionary approaches to improving adaptation of autumn-sown chickpea (*Cicer arietinum* L.) to terminal

drought: the search for reproductive chilling tolerance. *Field Crop Res.* 104:112–122.

- Biderbost, E. (2016). Programa de mejoramiento del garbanzo (*Cicer arietinum* L.). Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba. Periodo 1970-1988. En: *El Cultivo de Garbanzo en la Argentina*. Carreras, Mazzuferi y Karlin (Eds.) Córdoba, Argentina. Pp: 135-177.

- Bolsa de Cereales de Córdoba (2018). Estadísticas de producción, departamento de información agroeconómica. <http://www.bccba.com.ar/garbanzo-6448.html>.

- Bolsa de Cereales de Córdoba (2019). Cálculos finales de producción garbanzo 2018/2019. Informe final de producción nº 171. <http://www.bccba.com.ar/dia/info/calculos-finales-produccion-garbanzo-20182019-8767.html>

- Borrás L.; Slafer, G.A., and Otegui, M.E. 2004. Seed dry weight response to source–sink manipulations in wheat, maize and soybean: a quantitative reappraisal. *Field Crops Res.* 86: 131–146.

- Brancourt-Hulmel, M., Doussinault, G., Lecomte, C., Bérard, P., Le Buanec, B., and Trottet, M. (2003) Genetic Improvement of Agronomic Traits of Winter Wheat Cultivars Released in France from 1946 to 1992. *Crop Sci.* 43:37–45.

- Carreras, J. 2013. Establecimiento de bases genéticas para la mejora del garbanzo (*Cicer arietinum* L.) en Argentina. Tesis doctoral. Universidad de Córdoba, E.T.S.I.A.M. Departamento de genética.

- Carreras, J., Allende M. J., Rojas E. y Bologna S.B. (2016) Programa de mejoramiento del garbanzo (*Cicer arietinum* L.). Labor interinstitucional e interdisciplinaria. Periodo 1988-2015. Capítulo 7, Sección 2. En El cultivo de garbanzo en la Argentina. Carreras, J. Mazzuferi, V. Karlin, M. (Ed.). (2016) Córdoba, Argentina: UNC. Pgs. 184-214.

- Donald, C. M. (1981) Competitive plants, communal plants, and yield in wheat crops. In: Wheat science - today and tomorrow. (L.T. Evans and W.J. Peacock, eds.). Cambridge University Press, Cambridge. pp. 203-247.

- FAO, 2016. Legumbres. <http://www.fao.org/3/a-i5528s.pdf>

- García Medina, S., Fekete, A., Allende, M., Carreras, J., (2016). Programa de mejoramiento del garbanzo (*Cicer arietinum* L.). Labor interinstitucional e interdisciplinaria. Periodo 1990-2015. Capítulo 7, sección 3. En: El Cultivo de Garbanzo en la Argentina. Carreras, Mazzuferi y Karlin (Eds.) Córdoba, Argentina. Pp: 214-223.

- Güller, M., Sait Adak, M., Ulukan, H. (2001). Determining relationships among yield and some yield components using path coefficient analysis in chickpea (*Cicer arietinum* L.). European Journal of Agronomy. 14: 161–166.

- Jumrani, K., and Bhatia V.S. 2014. Impact of elevated temperatures on growth and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.). Field Crops Res.164:90-97.

- Lake, L., and Sadras V.O. 2014. The critical period for yield determination in chickpea (*Cicer arietinum* L.). Field Crop Res., 168:1-7.

- Lake, L., and Sadras V.O. (2015) Response to competition and association with yield of chickpea. En "*Building Productive, Diverse and*

Sustainable Landscapes “ Proceedings of the 17th ASA Conference, 20 – 24 September 2015, Hobart, Australia. www.agronomy2015.com.au

- Lake, L., and Sadras V. O. (2016) Screening chickpea for adaptation to water stress: Associations between yield and crop growth rate. *Europ. J. of Agron.* 81:86-91.

- Luque, S.F; Cirilo A. G. and Otegui M. E. (2006) Genetic gains in grain yield and related physiological attributes in Argentine maize hybrids. *Field Crop Res.* 95:383–397.

- Mallu T., Mwangi S., Nyende A., Rao G., Odeny D., Rathore A., Kumar A. 2014. Assessment of genetic variation and heritability of agronomic traits in chickpea (*Cicer arietinum* L). *International Journal of Agronomy and Agricultural Research.* 5(4), 76-88.

- Sala R.G., Westgate M.E., Andrade, F.H. 2007. Source/sink ratio and the relationship between maximum water content, maximum volume, and final dry weight of maize kernels. *Field Crops Res.* 101: 19-25.

- Saxena, N.P., Krishnamurthy L., Johansen, C. 2000. Genetic improvement of drought tolerance in chickpea at ICRISAT. In *Field Screening for drought tolerance in crop plants with emphasis on rice.* (Saxena N.P. y O’Toole J.C. Eds). Proceedings of an International Workshop on Field Screening for Drought Tolerance in Rice. ICRISAT, Patancheru, India. pp. 128-137.

- Srinivasan, A., Jhoansen C., Saxena N.P. 1997. Cold tolerance during early reproductive growth of chickpea (*Cicer arietinum* L.): Characterization of stress and genetic variation in pod set. *Field Crop Res.* 57(2):181-193.

- Soltani, A., and Sinclair T. R. (2012) Optimizing chickpea phenology to available water under current and future climates. *Europ. J. of Agron.* 38:22-31.

-Tollenaar, M. 1977. Sink-Source relationships during reproductive development in maize. A review. *Maydica* 22: 49-75.

- Tula, A., Dragneff Mortcheff, E., Luque, S., Cantarero, M. (2016). Estrategias de riego en el cultivo de garbanzo: eficiencia de captura y uso de la radiación y agua, producción de biomasa y rendimiento. En: *El Cultivo de Garbanzo en la Argentina*. Carreras, Mazzuferi y Karlin (Eds.) Córdoba, Argentina. Pp 505-522.