



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE DISTINTAS VARIEDADES DE LENTEJA  
(*Lens culinaris* Medik) PARA SER UTILIZADAS EN PROGRAMAS INTEGRALES  
DE MEJORAMIENTO**

**LAURA TATIANA PALACIOS MARTÍNEZ**

**TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE MAGISTER DE GENÉTICA VEGETAL**

**Directora. Dra. Carolina Julieta Bermejo**

**Codirectora. Dra. Fernanda Guindon**

**Asesor. Dr. Enrique Cointry**

**Año 2021**

**EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE DISTINTAS VARIEDADES DE LENTEJA  
(*Lens culinaris* Medik) PARA SER UTILIZADAS EN PROGRAMAS INTEGRALES  
DE MEJORAMIENTO**

Laura Tatiana Palacios Martínez

Biotecnóloga – Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia

Esta Tesis es presentada como parte de los requisitos para optar al grado académico de Magister en Genética Vegetal, de la Universidad Nacional de Rosario y no ha sido previamente presentada para la obtención de otro título en ésta u otra Universidad. La misma contiene los resultados obtenidos en investigaciones llevadas a cabo en el Laboratorio de Investigaciones y en la sección Horticultura del Campo Experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Rosario, durante el período comprendido entre 1 de febrero de 2019 al 30 de junio de 2021, bajo la dirección de la Dra. Carolina Julieta Bermejo, Dra. Fernanda Guindon y asesoría del Dr. Enrique Cointry.

**Nombre y firma del Maestrando: LAURA TATIANA PALACIOS MARTÍNEZ.....**

**Nombre y firma de la Directora: CAROLINA JULIETA BERMEJO.....**

**Nombre y firma del Co-Director: MARÍA FERNANDA GUINDON.....**

**Nombre y firma del Asesor: ENRIQUE COINTRY.....**

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Dra. Carolina Bermejo por ser la directora de mi tesis de Magister, por darme su apoyo a través de sus conocimientos, dedicación, por el tiempo para la elaboración de este trabajo, por sus valiosos comentarios y sugerencias para enriquecer el manuscrito.

A mi co-directora, la Dra. Fernanda Guindon por brindarme todo su conocimiento, por las horas dedicadas a darme asesoría académica, y especialmente por darme apoyo moral, por escucharme, por resaltar mis capacidades e impulsarme a creer en ellas lo cual fue muy valioso para mi crecimiento personal y académico por lo que siempre le estaré agradecida.

A mi Asesor, Dr. Enrique Cointry por aceptarme en su grupo de trabajo, por el buen recibimiento, por las asesorías y la buena disposición para atender mis consultas.

Agradezco a todos los integrantes de la cátedra de mejoramiento, especialmente a Fernando Maglia por su apoyo, por los momentos compartidos y por consejos, fue un placer trabajar con todos ustedes.

Finalmente, aprovecho esta oportunidad para extender mi gratitud a la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Rosario y particularmente a la comisión asesora del Magister de Genética Vegetal por la beca que me otorgó para realizar mis estudios de posgrado y enriquecerme académicamente.

## PUBLICACIONES

### TRABAJOS PUBLICADOS EN REVISTAS CIENTÍFICAS

Bermejo, C; Maglia, F.; Palacios, T.; Espósito, M.A.; Cazzola, F; Guindon, F; Gatti, I; Cointry, E. (2021). Aplicación de diferentes metodologías en el mejoramiento de lenteja (*Lens culinaris* Medik). *BAG. Journal of Basic & Applied Genetics* **32** (2), 32-39.

### TRABAJOS CIENTÍFICOS PUBLICADOS COMO RESÚMENES

- Maglia, F.; Bermejo, C.; Palacios, L.T.; Cointry, E. (2020) “*Speed Breeding* para la multiplicación de colecciones activas en lenteja (*Lens culinaris* Medik)”. *Journal of Basic & Applied Genetics*, (ISSN: 1852 – 6233) **31** (Suppl. 1): 142.
- Palacios, L.T.; Guindon, M.F.; Maglia, F.; Cointry, E.; Bermejo, C. (2020) “Perfil proteico en diferentes genotipos macrospermas y microspermas de lenteja (*Lens culinaris* Medik)”. *Journal of Basic & Applied Genetics*, (ISSN: 1852 – 6233) **31** (Suppl. 1): 142.

### PRESENTACIONES A CONGRESOS

**Palacios, L.**; Guindon, F.; Maglia, F.; Cointry, E; Bermejo, C. “Perfil proteico en diferentes genotipos de lentejas macrospermas y microspermas de lenteja (*Lens culinaris* Medik)”. XLVIII Congreso Argentino de Genética 2020. Congreso. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 24/09/20-26/09/20. Póster.

Maglia, F.; Bermejo, C.; **Palacios, L.**; Cointry, E. “*Speed Breeding* para la multiplicación de colecciones activas en lenteja (*Lens culinaris* Medik)”. XLVIII Congreso Argentino de Genética 2020. Congreso. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 24/09/20-26/09/20. Póster.

Maglia, F.; **Palacios, L.** “Evaluación y caracterización de una colección de lenteja (*Lens culinaris* Medik.) y determinación la consistencia de diferentes estrategias de selección de parentales para un plan de biofortificación” XXVIII Jornada de Jóvenes Investigadores de AUGM. Jornada. Santiago de Chile, 10-12/11/2021.

**Palacios, L.**; Guindon, F.; Maglia, F.; Cointry, E; Bermejo, C. “Análisis de calidad en genotipos de lenteja (*Lens culinaris* Medik)”. XXIII Congreso y XLI reunión anual de la Sociedad de Biología de Rosario 2021. Rosario, Santa Fe, 23/11/2021. Poster

## TABLA DE CONTENIDO

ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS	1
RESUMEN	4
ABSTRACT	6
1 INTRODUCCIÓN	7
1.1 Historia de la lenteja	7
1.2 Taxonomía y distribución geográfica	8
1.3 Generalidades del cultivo	8
1.4 Producción y comercio mundial	10
1.5 Mercado en Argentina	11
1.6 Mejoramiento genético de lenteja	12
1.6.1 Mejoramiento orientado al productor	12
1.6.2 Mejoramiento orientado a la industria	13
1.6.2.1 Potencial de almacenamiento y retención del color seminal	14
1.6.3 Mejoramiento orientado al consumidor	14
1.6.3.1 Proteínas	15
1.6.3.2 Carbohidratos	16
1.6.3.3 Minerales	16
1.6.3.4 Compuestos antinutrientes	17
1.6.3.5 Biofortificación	18
1.6.4 Antecedentes en el mejoramiento de lenteja	19
2 HIPÓTESIS	21
3 OBJETIVOS	21
3.1 Objetivos generales	21
3.2 Objetivos específicos	21
4 MATERIALES Y MÉTODOS	22
4.1 Material Vegetal	22
4.2 Ambientes de evaluación y diseño experimental	22
4.3 Caracteres morfológicos y productivos	23
4.3.1 Caracteres morfovegetativos cualitativos	23
4.3.2 Caracteres morfovegetativos cuantitativos	23
4.4 Características físico-químicas	24
4.4.1 Calidad industrial	24
4.4.1.1 Determinación de la capacidad de absorción de agua	24

4.4.1.2	Determinación del tiempo de cocción	24
4.4.1.3	Determinación del color	24
4.4.1.4	Análisis del potencial de almacenamiento y retención del color seminal	25
4.4.2	Calidad nutricional	26
4.4.2.1	Determinación del contenido proteico	26
4.4.2.2	Determinación de la composición proteica	26
4.4.2.2.1	Evaluación de los geles de SDS-PAGE	27
4.4.2.3	Determinación de compuestos fenólicos y taninos	27
4.4.2.4	Determinación de ácido fítico	28
4.4.2.5	Determinación de hierro	28
4.5	Análisis Estadísticos de caracteres cualitativos	28
4.5.1	Análisis de Agrupamiento	28
4.6	Análisis estadísticos de caracteres cuantitativos	29
4.6.1	Análisis de datos de la primera fecha de siembra	29
4.6.1.1	Análisis de la variancia	29
4.6.1.2	Heredabilidad	30
4.6.1.3	Análisis de Componentes Principales	30
4.6.1.4	Análisis del potencial de almacenamiento y retención del color seminal	31
4.6.2	Análisis de datos de los cuatro ambientes	31
4.6.2.1	Análisis de la interacción genotipo-ambiente	31
4.7	Selección de parentales	32
5	RESULTADOS	33
5.1	Caracteres cualitativos- Caracterización Morfológica	33
5.1.1	Análisis de agrupamiento	35
5.2	Caracteres cuantitativos	36
5.2.1	Análisis de datos de la primera fecha de siembra	37
5.2.1.1	Caracteres productivos	38
5.2.1.1.1	Análisis de la variancia	38
5.2.1.1.2	Análisis de la interacción genotipo-ambiente	39
5.2.1.1.3	Variables con efecto del ambiente	40
5.2.1.1.4	Variables con efecto del genotipo	42
5.2.1.1.5	Análisis de componentes principales	43
5.2.1.2	Caracteres de calidad industrial	45
5.2.1.2.1	Análisis de la variancia	45

5.2.1.2.2 Variables con efecto del ambiente	46
5.2.1.2.3 Variables con efecto del genotipo	48
5.2.1.2.4 Análisis del potencial de almacenamiento y retención del color seminal	49
5.2.1.2.5 Análisis de componentes principales	52
5.2.1.3 Caracteres nutricionales	54
5.2.1.3.1 Análisis de la variancia	54
5.2.1.3.2 Análisis de la interacción Genotipo-Ambiente	55
5.2.1.3.3 Variables con efecto del genotipo	57
5.2.1.3.4 Análisis de componentes principales	59
5.2.2 Análisis de datos de los cuatro ambientes	60
5.2.2.1 Análisis de la variancia	60
5.2.2.2 Análisis de la interacción genotipo-ambiente por GGE biplot	62
5.3 Selección de Parentales	64
6 DISCUSIÓN	66
7 CONCLUSIONES	80
8 BIBLIOGRAFÍA	82
9 ANEXOS	93

## ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

°C: grados celsius.

a: zona de variación entre el rojo y el verde del espectro en el sistema color CIELAB.

ABH<sub>2</sub>O: absorción de agua.

AC: antes de Cristo.

ACP: análisis de componentes principales.

AF: ácido fítico.

AG: ácido gálico.

Al: aluminio.

Andeva: análisis de la variancia.

AP: altura de planta.

b: zona de variación entre el azul y amarillo del espectro en el sistema color CIELAB.

C: calibre del grano.

Ca: calcio.

CC: color de cotiledón.

CIELAB: modelo cromático usado normalmente para describir todos los colores que puede percibir el ojo humano, desarrollado por la *Commission Internationale d'Eclairage* (Comisión Internacional de la Iluminación).

cm: centímetros.

CM: cuadrados medios.

CP: componentes principales.

Cr: cromo.

Cu: cobre.

CV: coeficiente de variación.

DBCA: diseño en bloque completamente aleatorizado.

DF: días a floración.

F: fenoles.

F<sub>1</sub>: filial 1.

F<sub>2</sub>: filial 2.

F<sub>3</sub>: filial 3.

F<sub>5</sub>: filial 5.

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentos.

FCA: Facultad de Ciencias Agrarias.

Fe: hierro.

g: gramos.

GGE: “*genotype and genotype-environmental interaction*”. genotipo e interacción genotipo-ambiente.

GxA: genotipo por ambiente.

Gpb: giga pares de bases.

gl: grados de libertad.

ha: hectáreas.

h: horas.

IC: índice de color.

ICARDA: “*Internacional Center for Agricultural Research in the Dry Areas*”. Centro Internacional de Investigación Agrícola en las Zonas Secas.

INTA: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

K: potasio

KDa: kilo dalton.

m: metros.

M: molar.

mA: miliamperios.

Mg: magnesio.

mg g<sup>-1</sup>: miligramo por gramo.

mg ml<sup>-1</sup>: miligramos por mililitro.

mg kg<sup>-1</sup>: miligramo por kilogramo.

min: minutos.

mm: milímetros.

nm: nanómetros.

Mn: manganeso.

Mo: molibdeno.

Na: sodio.

Ni: níquel.

NSP: número de semillas por planta.

NSV: número de semillas por vaina.

NVP: número de vainas por planta.

L: valor de luminancia o brillo de la muestra va desde el blanco al negro.

Leg/Vic: relación legumina-vicilina.

P: fósforo.

p: valor p (estadístico de probabilidad).

P<sub>100</sub>: peso de 100 semillas.

Pb: plomo.

PG: porcentaje de germinación.

PM: peso molecular.

P: proteína.

P/V: relación en porcentaje entre el peso del soluto y el volumen de la solución.

RE: rendimiento por planta.

rpm: revoluciones por minuto.

s: segundos.

T: taninos.

TC: tiempo de cocción.

ton ha<sup>-1</sup>: toneladas por hectárea.

V: voltios.

w: watt. vatio.

μl: microlitros.

Zn: zinc.

Se: selenio.

V/V: porcentaje volumen en volumen definido como cantidad de mililitros que hay en 100 mililitros de solución.

## RESUMEN

El cultivo de lenteja (*Lens culinaris* Medik) es de gran interés en todo el mundo, principalmente en países en desarrollo, dado que posee un alto contenido de proteínas, carbohidratos y minerales esenciales para suplir las necesidades de la dieta humana. Sin embargo, contiene antinutrientes que se unen a las proteínas y minerales resultando en una disminución de la absorción y biodisponibilidad. Argentina posee excelentes condiciones agroecológicas para su cultivo, sin embargo, las variedades existentes de las que disponen los productores están poco adaptadas a los distintos ambientes, lo que conlleva a bajos rendimientos y difícil manejo.

Es por ello que, en este proyecto de tesis se planteó identificar dentro de una colección activa de lenteja (*Lens culinaris* Medik) germoplasma genéticamente diverso en cuanto a características morfológicas, de potencial de almacenamiento y físico-químicas y seleccionar materiales con un desempeño superior al testigo comercial Silvina y con características nutricionales óptimas para llevar a cabo la biofortificación de materiales de alto rendimiento agronómico. Para ello, se utilizaron 40 variedades de lenteja de distintos orígenes geográficos. Se evaluaron caracteres tanto morfológicos como productivos: pigmentación del tallo, pubescencia foliar, presencia de zarcillos, color de flor, color del cotiledón, color del tegumento, hábito de crecimiento, patrón del tegumento, días a floración, número de vainas por planta, número de semillas por vaina, número de semillas por planta, diámetro, peso de 100 semillas, y altura de planta; caracteres industriales: capacidad de absorción de agua, tiempo de cocción, potencial de almacenamiento y retención de color seminal, caracteres nutricionales: contenido y composición proteica, fenoles, taninos y ácido fítico; estos caracteres fueron evaluados en cuatro ambientes distintos y se compararon con la variedad comercial Silvina.

La distribución de frecuencias y el análisis de agrupamiento para los caracteres cualitativos demostraron la existencia de variabilidad. Los caracteres cuantitativos estudiados mostraron amplios rangos de variación, principalmente para los caracteres rendimiento de planta, números de vainas por planta y número de semillas por planta, destacándose los genotipos 42a, 54a, 55a, 57a, 58a y 59a por sus altos rendimientos y estabilidad frente a las condiciones bióticas y abióticas.

El análisis de envejecimiento acelerado permitió identificar variedades con mayor capacidad de retención de color seminal original que el testigo Silvina, las variedades 32a, 39a y 42a presentaron los menores cambios en el índice de color y mantuvieron su porcentaje de germinación por encima del 80,00% después de las 72 h de envejecimiento.

El análisis de componentes principales tanto para caracteres productivos, industriales y nutricionales permitió una clara discriminación entre variedades, permitiendo la caracterización de genotipos promisorios. Además de los genotipos mencionados anteriormente se destacaron las variedades 16a, 23a, 32a, 45a, 58-13 por tener una alta capacidad de absorción de agua, bajos tiempos de cocción y todas excepto la variedad 58-13 mostraron un color de tegumento similar al testigo Silvina, en cuanto a los caracteres nutricionales las variedades 16a, 23a, 27r, 30r y 42a se destacaron por presentar alto contenido proteico y bajo contenido de fenoles, taninos y ácido fítico.

Los GGE biplot para rendimiento identificaron la presencia de dos mega-ambientes los cuales se agruparon en función a la fecha de siembra (temprana y tardía), mientras que el análisis para el contenido de proteínas detectó cuatro mega-ambientes diferentes. Se identificaron los genotipos más rendidores y estables: la variedad 16a presentó mejor comportamiento en fechas de siembra temprana y mayor contenido de proteína, mientras que la variedad 57a presentó los más altos rendimientos en fechas de siembra tardía. Se encontró una alta variabilidad para todos los caracteres cuantitativos estudiados lo que implica un gran potencial de las variedades para ser usadas en futuros programas de mejora a través de la selección de estos caracteres. Los estudios desarrollados en esta tesis constituyen un primer paso para la selección de posibles parentales con caracteres productivos y nutricionales óptimos que satisfagan las necesidades tanto del productor como de la industria y el consumidor.

**Palabras clave:** características productivas, industriales y nutricionales, mejoramiento genético, potencial de almacenamiento, biofortificación.

**ABSTRACT****EVALUATION OF THE POTENTIAL OF DIFFERENT VARIETIES OF LENTIL  
(*Lens culinaris* Medik) TO BE USED IN INTEGRAL BREEDING PROGRAMS**

The lentil (*Lens culinaris* Medik) crop is of great interest, mainly in developing countries. The legume seed has beneficial nutrients (proteins, carbohydrates and minerals), that helps to improve human nutrition. However, it contains antinutrients that bind to proteins and minerals resulting in decreased absorption and bioavailability. This study was carried out to identify genetically diverse germplasm within an active lentil collection in terms of morphological and productive characteristics and storage potential with the aim of selecting materials with optimal nutritional characteristics superior to the Silvina control and genotypes to be used as parents in breeding programs. The frequency distribution and the grouping analysis for the qualitative traits demonstrated the existence of variability. The quantitative traits showed high phenotypic variation ranges mainly for yield, number of pods and seed per plant. The accelerated aging analysis allowed the identification of varieties with a greater capacity to retain the original seminal color than the Silvina control. This study allowed to identify and select varieties with optimal productive, industrial and nutritional characteristics to be used as parents in breeding programs.

## 1 INTRODUCCIÓN

El aumento de la producción de cultivos de leguminosas de grano es una de las principales tareas estratégicas de la agricultura para resolver tanto problemas ambientales como de seguridad alimentaria para la población mundial. La FAO (1996) postula que “la seguridad alimentaria es el estado en el que todas las personas, en todo momento, tienen acceso físico y económico a alimentos suficientes, inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades dietéticas y preferencias alimentarias para una vida activa y saludable”.

La producción de legumbres ayuda a crear sistemas alimentarios sostenibles, ya que poseen una alta capacidad de adaptación a suelos pobres, favoreciéndolos por el aporte de materia orgánica y por la mejora en su capacidad de retención de agua. Además, por su capacidad de fijar nitrógeno atmosférico al suelo, a través de la simbiosis con bacterias del género *Rhizobium*, permiten equilibrar sistemas y disminuir la adición de productos químicos, contribuyendo a generar una menor huella de carbono.

Por otro lado, el aumento de consumidores más conscientes respecto a alimentos saludables y al origen de los mismos ha impulsado la demanda de alternativas alimentarias asequibles y saludables. Tal demanda, ha dado lugar a un interés creciente por las legumbres debido a su capacidad para satisfacer las necesidades de nutrientes esenciales de la dieta humana, su bajo costo, su versatilidad para ser cocinadas y las propiedades funcionales de sus componentes. Para impulsar el consumo de las legumbres es necesario mejorar sus niveles de producción a través de enfoques integrales que consideren diversidad, rendimiento y calidad, para generar alternativas que satisfagan las necesidades nutricionales de la población, mejorando la productividad agrícola y favoreciendo el desarrollo sostenible.

### 1.1 Historia de la lenteja

La lenteja es considerada uno de los cultivos alimentarios más antiguos de la humanidad y una de las primeras especies de plantas domesticadas y más apreciadas en el viejo mundo, junto con la cebada, el trigo y la arveja (Singh et al., 2020). Se han encontrado restos carbonizados de semillas de lenteja que datan de 11.000 años AC en la cueva Franchthi de Grecia siendo los restos más antiguos conocidos. Se encontraron pequeños tipos de semillas (2 – 3 mm) en Tell Mureybit en Siria que fechan entre 8.500 y 7.500 AC (Sonnante et al., 2009).

## 1.2 Taxonomía y distribución geográfica

El género *Lens* pertenece a la familia *Fabaceae*, y se han reconocido un total de siete taxones con seis especies anuales en base a caracteres morfológicos, incluyendo el polen y pistilo, caracteres bioquímicos y cruzamientos intra e interespecíficos. La clasificación más aceptada es la propuesta por Van Oss et al. (1997):

*Lens. culinaris* Medik.

ssp. *culinaris* (forma cultivada)

ssp. *orientalis* (Boiss.) Ponert (forma silvestre)

*Lens odemensis* (Ladiz.)

*Lens ervoide* (Brign.)

*Lens lamottei* (Czefr.)

*Lens nigricans* (M.Bieb.)

*Lens tomentosus* (Ladiz.)

*Lens culinaris* Medik. ssp. *culinaris* (especie cultivada) es una leguminosa del Viejo Mundo que se cultiva principalmente en el centro y sureste de Asia, el sur de Europa, el norte de África y Etiopía. Esta legumbre también se distribuyó en América del Sur y del Norte. Morfológicamente, la lenteja es notablemente variable y se han descrito variaciones en 39 caracteres cuantitativos y cualitativos diferentes (Ladizinsky y Hebrew, 1979).

## 1.3 Generalidades del cultivo

Es una hierba espesa anual, puede exhibir una variación considerable en el hábito de crecimiento bajo y tupido, de porte erecto o semierecto, muy ramificada, suavemente pilosa; tallos delgados, angulosos, de 25-75 cm de altura; hojas compuestas, pinnadas, generalmente terminadas en un zarcillo o erizadas; 4-7 pares de folíolos, alternos u opuestos, ovalados, sésiles, de 1-2 cm de largo (Duke 1981) (Figura 1).



Figura 1 Planta de lenteja con sus partes. Fuente: Grabado de “Flora von Deutschland, de Otto Wilhelm Thomé, Österreich und der Schweiz 1885, Gera, Alemania. Tomado de Barreiro (2008).

La ramificación y la floración son indeterminados, siendo este último un evento particularmente importante, ya que determina la duración de la fase vegetativa, que establece el potencial del cultivo y determina las condiciones climáticas a las que el cultivo estará expuesto durante el crecimiento reproductivo (Ford et al., 2007).

La lenteja crece en una amplia gama de suelos, desde los más ligeros a los más pesados, con una variación de pH comprendida entre 5 a 9. Está considerada como planta de día largo, es sensible a la temperatura base para su germinación, mientras que el fotoperíodo afecta la respuesta de floración (Erskine, 1996).

La semilla de lenteja tiene tres componentes principales: la cubierta de la semilla, los cotiledones y el embrión (incluyendo la radícula, la plúmula y el eje embrionario), contribuyendo al 8,00, 90,00 y 2,00%, respectivamente, del peso total de la semilla. Los cotiledones son el componente principal de la semilla y su reserva de nutrientes, por ello el descascarado de las semillas, incluida la eliminación del embrión, no reduce en gran medida la concentración de nutrientes (Bhatty, 1988).

Barulina (1930) agrupó a la lenteja cultivada en dos subespecies sobre la base de caracteres morfológicos:

### **Macrosperma**

Se caracterizan por tener semillas grandes y planas (>4,5 mm de diámetro) (Fratini y Pérez de la Vega, 2011), con un peso de semilla de 30 a 75 mg, con cotiledones generalmente amarillos

y tegumento de color verde pálido y partes vegetativas con escasa pigmentación, con vainas grandes (15-20 x 7,5-10,5 mm), flores grandes con los dientes del cáliz largos, blancas, grandes folíolos ovales y una altura de 35 a 75 cm. Se consumen principalmente en Europa y el sur de Asia (Duke, 1981; Khazaei et al., 2018).

### **Microsperma**

Caracterizada por vainas pequeñas a medianas (6-14,5 x 3,5 -7 mm) las cuales son convexas. Las semillas son subglobosas, pequeñas (< 4,5 mm de diámetro) (Fratini y Pérez de la Vega, 2011), de 15 a 50 mg de peso de semilla, flores pequeñas de color azul violeta a blanco o rosa, folíolos pequeños y lanceolados, y una altura que no sobrepasa los 35 cm, cotiledones naranja-rojizos o amarillos y pigmentación en sus partes vegetativas. Se ha informado que este grupo proporciona los mejores rendimientos (Duke, 1981). Se consumen principalmente en forma descascarada (sin tegumento) en el sur de Asia y Oriente Medio (Khazaei et al., 2018).

### **1.4 Producción y comercio mundial**

Las legumbres (frijoles, arvejas y lentejas) se han consumido durante al menos 10.000 años y se encuentran entre los alimentos más consumidos en el mundo. Dentro de la familia de las leguminosas se denominan legumbres secas o leguminosas de grano a aquellas especies de las que se consumen las semillas secas, limpias y separadas de su vaina. En esta categoría están incluidas, además de las lentejas, las alubias, los garbanzos, las arvejas y las habas (Khazaei et al., 2018; Neyra Rivera, 2014). El consumo global de lenteja está aumentando más rápido que el crecimiento de la población humana y su producción está creciendo en muchas regiones del mundo (Hassan et al., 2021). Aproximadamente el 70,00% de la producción mundial de lenteja es consumida en los países en que se cultiva, siendo en algunas regiones, un cultivo muy valioso y relevante, pero que, a nivel mundial, tiene una escala relativamente pequeña.

La lenteja es una de las leguminosas más cultivadas en todo el mundo con una superficie de alrededor de 4,9 millones de ha, una producción anual de 5,9 millones ton y un rendimiento promedio de 1,196 ton ha<sup>-1</sup> (FAOSTAT, 2019). Los principales países productores de lenteja en el mundo son: Canadá 47,00%, India 21,00%, Australia 9,00%, Turquía 6,00%, Nepal 4,00%, Estados Unidos 4,00% y Bangladesh 3,00% proporcionando el 94,00% de la producción mundial anual de lenteja (FAOSTAT, 2019).

### 1.5 Mercado en Argentina

En Argentina, la lenteja se cultiva desde 1934. Las provincias de Buenos Aires y Santa Fe cubren el 95,00% de la superficie cultivada siendo las áreas de mayor difusión del cultivo los departamentos de Constitución y Rosario en la provincia de Santa Fe, y parte del norte de la provincia de Buenos Aires. En estas zonas el cultivo se hace en forma extensiva, de secano y durante el invierno. Otras regiones donde también se cultivan, aunque en menor volumen son: Salta (para semilla), Mendoza y recientemente en el noroeste de Córdoba. Las condiciones agroclimáticas de las provincias del Noroeste Argentino, principalmente las provincias de Salta y Jujuy, permitirían obtener un producto de mejor calidad y sanidad que el de la región tradicional. Por ende, representaría una potencial zona de importante producción. Actualmente la superficie cultivada en esa región es mínima, y el escaso volumen obtenido se destina al autoconsumo, careciendo de valor estadístico. Para la campaña 2019/20 se sembraron 32.906 ha y la producción alcanzó las 34.476 ton con un rendimiento medio de 1,0 ton ha<sup>-1</sup> mientras que en la campaña 2020/21 se sembraron 32.277 ha y la producción alcanzó las 20.207 ton con un rendimiento medio de 0,62 ton ha<sup>-1</sup>, mucho menor al alcanzado el año anterior (Sistema Nacional De Vigilancia Y Monitoreo De Plagas, 2021). En la Figura 2 se muestran coloreadas las principales zonas productivas de lenteja de la Argentina.

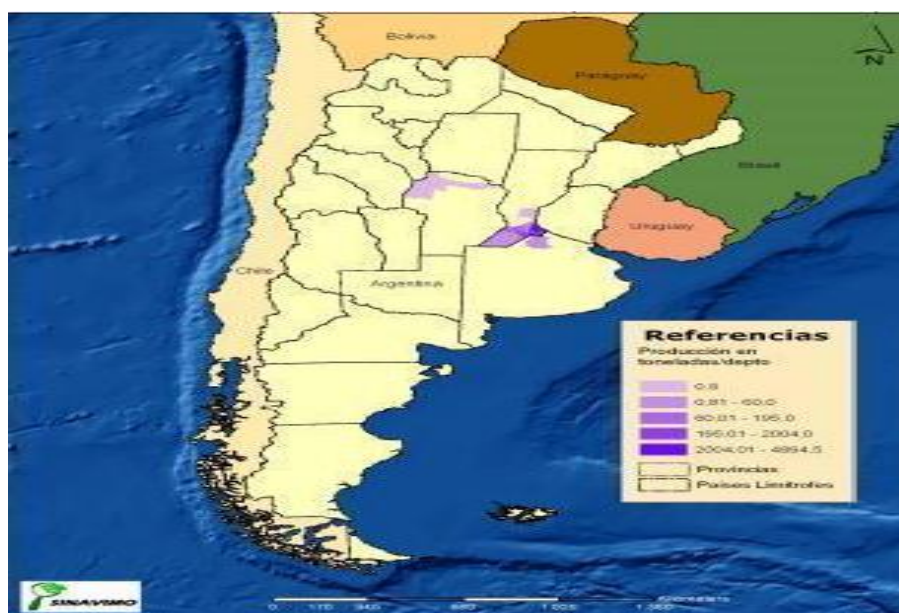


Figura 2: Áreas de producción del cultivo de *Lens culinaris* en Argentina. Fuente: Sistema Nacional De Vigilancia Y Monitoreo De Plagas, (2021). Figura elaborada con datos tomados del Instituto Nacional de Estadística y Censos y de las direcciones de las estadísticas provinciales.

## **1.6 Mejoramiento genético de lenteja**

La producción mundial actual de lenteja está por debajo de la demanda mundial, que se espera que aumente pronto debido al rápido crecimiento de la población y al mercado de proteínas vegetales. Para cerrar la brecha entre la oferta y la demanda, se requieren esfuerzos para acelerar la ganancia genética (Rajendran et al., 2021) la cuál es muy baja debido a que la mayoría de las variedades mejoradas han surgido a partir de hibridaciones entre variedades élites genéticamente relacionadas y selección de líneas puras. Esta selección artificial ha derivado progresivamente en el reemplazo de variedades autóctonas poseedoras de una gran riqueza de genes, por variedades mejoradas cada vez más uniformes, resultando por consiguiente en un estrechamiento de la base genética (Muhammad et al., 2021).

La ganancia genética futura depende de la integración de diversas estrategias en los programas de mejoramiento convencionales que permitan solucionar los actuales cuellos de botella, al mejorar la eficiencia de la selección y acelerar el desarrollo de cultivares mejorados. Actualmente, la selección de genotipos prometedores se basa exclusivamente en los rasgos agronómicos sin hacer foco calidad nutricional, por lo que es necesario desarrollar germoplasma adaptado a distintos ambientes que sean capaces de integrar los caracteres agromorfológicos con los parámetros de calidad nutricional.

### **1.6.1 Mejoramiento orientado al productor**

En la actualidad, la oferta de variedades disponibles de este cultivo para los productores es extremadamente acotada, principalmente debido a las limitaciones de adaptación del germoplasma a los diferentes ambientes, lo que conlleva a bajos rendimientos y difícil manejo de las variedades existentes (Neupane et al., 2021).

La complejidad del mejoramiento de lenteja está determinada por características biológicas del cultivo como un tallo relativamente corto, baja adherencia de las vainas, competitividad contra las malezas, baja tolerancia a los herbicidas, maduración desigual, agrietamiento de las vainas y rotura de semillas, baja resistencia a factores bióticos y abióticos, etc. La productividad de la lenteja está regida por la interacción de diversos factores tales como el número de vainas, número de semillas por vaina, número de semillas por planta y peso de 1.000 semillas. El cambio climático, principalmente durante la floración y el llenado de las vainas, afecta negativamente el rendimiento y la calidad de las semillas. Además del desafío que representa para los sistemas agrícolas mecanizados la presencia de tallos débiles y

crecimiento indeterminado, dando como resultado rendimientos bajos e inestables (Saikenova et al., 2021).

Argentina tiene cuatro variedades de lenteja inscriptas a la fecha: tres nacionales (Arbolito, Natalia INTA y Silvina INTA) y una canadiense (Laird). La variedad nacional más utilizada Silvina (precoz), que por los años que lleva siendo reproducida es prácticamente una variedad indefinida. Se caracteriza por ser de ciclo corto (93 días de floración) y presentar semilla grande, de color verde (tegumento) y amarillo (cotiledón) (subespecie macrosperma). Si bien se han hecho introducciones de lenteja desde Canadá, con buenos resultados respecto a las variedades locales, por el momento no se hallan disponibles en forma comercial (Sistema Nacional de Vigilancia y Monitoreo de plagas, 2021).

Para superar dichas limitaciones es necesario identificar germoplasma que presente precocidad, alto rendimiento, granos con características que cumplan con los requerimientos de comerciantes y consumidores, adaptación a la cosecha mecanizada y otros rasgos agronómicos de interés tales como tamaño de semilla y color de cotiledón más diverso, que generen un mayor interés entre los agricultores, la industria y los consumidores que puedan ser incluidos en los programas de mejoramiento.

### **1.6.2 Mejoramiento orientado a la industria**

El color es uno de los parámetros de calidad más considerados por los consumidores y la industria. Dicho parámetro, es consecuencia de varios pigmentos: el rojo, amarillo y naranja, debido a la presencia de carotenoides y antocianinas, mientras que el verde se debe a clorofila. El color del tegumento, cotiledón y el tamaño de la semilla son los criterios principales que identifican las numerosas clases de mercado reconocidas en todo el mundo (Beninger y Hosfield, 2003).

A nivel mundial, la lenteja de semilla pequeña (subespecie microsperma) y el cotiledón naranja-rojo son las más producidas y comercializadas, debido a la demanda del mercado internacional, principalmente del subcontinente indio (Cardoso et al., 2021). Sin embargo, este tipo de lenteja no tiene un mercado muy extendido en Argentina.

Actualmente, Argentina solo dispone de la variedad comercial Silvina, que posee una cubierta seminal color beige claro cuando es recién cosechada, la cual se va oscureciendo rápidamente durante su almacenamiento. Esto afecta negativamente su comercialización y consumo, ya que la retención de color es un marcador de primera calidad. Por lo tanto, es importante

encontrar nuevas variedades elite con mayor poder de retención del color seminal original y potencial de almacenamiento.

#### ***1.6.2.1 Potencial de almacenamiento y retención del color seminal***

En comparación con otros cultivos, las pérdidas de semillas de leguminosas debido al almacenamiento son bastante elevadas. El envejecimiento de la semilla es un fenómeno fisiológico poscosecha relacionado con una combinación de cambios ambientales que incluyen factores físicos, como humedad, temperatura, luz y concentración de oxígeno; factores biológicos, como insectos, aves y microorganismos; factores de ingeniería, como equipos de manipulación de procesos, estructuras de almacenamiento utilizadas y factores genéticos (Benayad y Aboussaleh, 2021).

El deterioro de la semilla puede definirse como la pérdida de calidad, viabilidad, capacidad de germinación y vigor debido al envejecimiento o al efecto de factores ambientales adversos (Kapoor et al., 2010). Como resultado de estos efectos de deterioro, el cambio físico visible es la decoloración u oscurecimiento del tegumento de la semilla, donde el cambio de color puede ser bastante heterogéneo dentro de una muestra. El almacenamiento prolongado influye negativamente en la viabilidad de las semillas e incluso está relacionado con el aumento en el tiempo de cocción de estas (Siqueira et al., 2014), la disminución de la capacidad de absorción de agua y el porcentaje de germinación, generando pérdidas de fenoles totales libres, taninos totales y condensados (protoantocianidinas), que conduce al aumento en la tasa de deterioro con el oscurecimiento del tegumento y los cotiledones durante el almacenamiento (Nasar, 2007). Las semillas que mantienen su color original en plena madurez tienden a conservar un vigor elevado puesto de manifiesto por la rápida emergencia de las plántulas y la tolerancia de las semillas a diferentes factores ambientales (Dell'Aquila, 2006).

#### **1.6.3 Mejoramiento orientado al consumidor**

Las legumbres pueden ser una forma rentable de satisfacer la demanda futura de proteínas y mejorar la calidad alimentaria general en individuos de todos los niveles de ingresos. Las semillas de lenteja tienen altas concentraciones de proteínas (25,00% en base húmeda), carbohidratos (66,00%) y fibra dietética (11,00%). Son ricas en tiamina, niacina, ácido fólico, riboflavina, piridoxina, caroteno y son una fuente apropiada de aminoácidos esenciales, como la lisina, ofreciendo así beneficios para la salud, como un riesgo reducido de mortalidad en

ciertos individuos (Farooq et al., 2018; Gupta et al., 2013; Kumar et al., 2018; Muhammad et al., 2013).

### ***1.6.3.1 Proteínas***

La proteína (P) es uno de los principales componentes alimentarios de las dietas humanas balanceadas. Debido a la creciente preocupación por la sostenibilidad ambiental y la seguridad alimentaria, existe un interés creciente en reemplazar las proteínas animales por proteínas vegetales, ya sea para producir nuevos alimentos para el hombre como para animales (Subedi et al., 2021).

Las proteínas de lenteja consisten principalmente en proteínas de almacenamiento clasificadas según su comportamiento de solubilidad como albúminas (16,00%) solubles en agua, globulinas (11,00%) solubles en sal, glutelinas (11,00%) solubles en ácido / base y prolaminas (3,00%) solubles en alcohol. Las globulinas constan de dos tipos de proteínas, vicilina (7S), que se compone de trímeros de subunidades glicosiladas, cada una con un peso molecular (PM) de 40-70 kDa conectados sin puentes disulfuro y legumina (11S), que es una proteína hexámera con un peso molecular de 320 a 380 kDa. Las seis subunidades de legumina no están unidas covalentemente, y cada subunidad está compuesta por una cadena polipeptídica ácida (~ 40 kDa) y una básica (~ 20 kDa) unidas por un enlace disulfuro. Se ha informado que los puntos isoeléctricos de las proteínas en la lenteja oscilan entre un pH de 4,5 a 5,9 (Joehnke et al., 2021).

Wang et al. (2009) establecieron que las concentraciones de proteínas en lenteja presentan un nivel relativamente alto en semillas crudas, germinadas, descascaradas, cocinadas o no cocinadas, son altamente digeribles y no pierden sus cualidades al someterlas al calor.

Khazaei et al. (2019) determinaron que el contenido de proteína en lenteja varía de 23,00 a 36,00%. Tienen un alto valor nutricional, buenas proporciones de Leucina/Lisina y Leucina/Isoleucina, un contenido de vicilina y convicilina de 14,00 y 53,00%, respectivamente, y una alta digestibilidad. La mayoría de las legumbres son ricas en el aminoácido lisina, que a menudo se encuentra en baja cantidad en cereales, pero son deficientes en los aminoácidos esenciales metionina y triptófano, presentes en los productos a base de cereales. Por lo que, se recomienda su consumo de forma combinada, para lograr un equilibrio entre sí que aumente la calidad de la proteína total (Alam et al., 2019; Ríos-Castillo et al., 2018; Roy et al., 2010).

Aunque las proteínas de lenteja pueden tener todos los requisitos previos para ser nutricionalmente superiores, una proteína no tendrá ningún efecto sobre la nutrición humana a menos que tenga las propiedades funcionales (solubilidad y propiedades de adsorción de agua y grasas) que mejoran la bioaccesibilidad necesaria para su incorporación exitosa en los sistemas alimentarios. Por lo tanto, es necesario investigar las propiedades funcionales de las proteínas vegetales y, si es necesario, incorporarlas en la proteína mediante procesos de modificación de las mismas. Se ha documentado que la germinación de semillas de leguminosas es un tratamiento eficaz para reducir los factores antinutricionales y mejorar la calidad nutricional al aumentar el nivel de algunos aminoácidos, vitaminas y minerales (Bamdad et al., 2009).

### ***1.6.3.2 Carbohidratos***

La lenteja, como muchas otras legumbres, es rica en una variedad de carbohidratos prebióticos, como los oligosacáridos de la familia de las rafinosas, fructooligosacáridos, alcoholes de azúcar y almidón resistente, que son fermentados por los microorganismos benéficos presentes en el colon, lo que brinda beneficios para la salud del consumidor (Johnson et al., 2021). El contenido de carbohidratos en lenteja varía de 40 a 75 g/100g de materia seca (Vogelsang-O'Dwyer et al., 2021).

Johnson et al. (2021), determinaron que la presencia de estos carbohidratos es vital para la salud de las plantas de lenteja ya que están asociados con el transporte, almacenamiento y tolerancia al estrés abiótico de carbono, haciendo de estos un objetivo de mejoramiento nutricional para aumentar la adaptabilidad de los cultivos ante los cambios ambientales.

### ***1.6.3.3 Minerales***

La lenteja es una fuente de minerales dietéticos esenciales, estos incluyen macronutrientes; potasio (K), fósforo (P), calcio (Ca), magnesio (Mg) y sodio (Na), micronutrientes; hierro (Fe), zinc (Zn), cobre (Cu), manganeso (Mn) y elementos traza; aluminio (Al), cromo (Cr), níquel (Ni), plomo (Pb), selenio (Se), molibdeno (Mo) (Thavarajah et al., 2011; Yadav et al., 2007). La mayoría de los minerales se encuentran en los cotiledones, a excepción de Ca y Fe que están presentes en una proporción considerable en el tegumento (Bermejo, 2013).

Entre las deficiencias de micronutrientes, las correspondientes a Fe y Zn son las principales manifestaciones de la desnutrición mineral (Gupta et al., 2021). La cantidad diaria

recomendada de Fe es de 8,0 mg y 18,0 mg, mientras que para el Zn es de 11,0 mg y 8,0 mg para hombres y mujeres, respectivamente. El Fe participa en una amplia variedad de procesos metabólicos; síntesis de ADN y el transporte de electrones, incluido el transporte de oxígeno (Benayad y Aboussaleh, 2021). La deficiencia de Fe es la causa predominante de anemia y afecta al 27,00% de la población mundial, conduciendo al deterioro del desarrollo cognitivo, inmunosupresión, fatiga, bajo peso al nacer de los lactantes, aumento de la mortalidad y morbilidad (Gupta et al., 2021).

#### ***1.6.3.4 Compuestos antinutrientes***

El potencial nutricional de las proteínas derivadas de la lenteja y otras legumbres puede verse limitado por la presencia de alérgenos y de quelantes naturales que limitan la disponibilidad y absorción de nutrientes. Estos componentes incluyen, fenoles, taninos, ácido fítico, inhibidores de tripsina y oligosacáridos (rafinosa, estaquiosa y verbascosa) (Zhang et al., 2014).

Los compuestos fenólicos (F) están asociados con beneficios para la salud, incluida la actividad antioxidante y la protección contra enfermedades como los trastornos cardiovasculares, el cáncer, el VIH (Virus de la inmunodeficiencia humana) y la diabetes, sin embargo, hay literatura que los considera antinutrientes debido a que reduce la biodisponibilidad de algunos minerales (Mirali et al., 2016). El contenido de fenoles varía de 9,00 a 633,30 mg equivalente de ácido gálico /g (Zou et al., 2011).

Los taninos (T) están involucrados en la decoloración de las semillas, además, se unen a las proteínas mediante enlaces de hidrógeno y reacciones hidrofóbicas, lo que reduce la digestión de aminoácidos como la lisina o metionina (Wang y Daun, 2006). También pueden inhibir algunas de las enzimas digestivas (Nozzolillo y Bezada, 1984). El contenido de taninos varía de 1,60 a 6,20 mg de equivalentes de catequina/ g (Zhang et al., 2014).

El ácido fítico (AF) es la principal forma de almacenamiento de P en muchos tejidos vegetales, especialmente en cereales y semillas. Se une a minerales como el Ca, Fe y Zn en el tracto intestinal, reduciendo su biodisponibilidad, lo que puede conducir a deficiencias de micronutrientes. El contenido de ácido fítico de la lenteja varía de 2,40 a 4,40 mg g<sup>-1</sup>: (Thavarajah et al., 2009).

Los inhibidores de proteasas como la tripsina y quimiotripsina son proteínas de bajo peso molecular capaces de unirse e inactivar la enzima digestiva tripsina reduciendo su digestibilidad. Los oligosacáridos son los responsables de la flatulencia debido a que el

intestino humano carece de la enzima  $\alpha$ -galactosidasa, por lo que no son digeridos ni fermentados por la microflora colónica (Joehnke et al., 2021).

Por otro lado, se ha ido cambiando el concepto de antinutrientes de estos compuestos debido a que se ha encontrado una relación entre la ingesta de lenteja y otras legumbres con actividades antioxidantes que reducen el estrés oxidativo y participan en la prevención de enfermedades, con disminución del colesterol y las grasas, así como una menor incidencia del cáncer de colon, de la diabetes del tipo II y una estimulación del sistema inmunológico (Barrios, 2012).

#### ***1.6.3.5 Biofortificación***

La biofortificación es el proceso de mejora de cultivos dirigida a incrementar el contenido de micronutrientes específicos y limitantes en los tejidos comestibles de los cultivos. Los objetivos nutricionales para la biofortificación incluyen un alto contenido de minerales, mayor contenido de vitaminas, aminoácidos esenciales, una mejor composición de ácidos grasos y mayores niveles de antioxidantes en los cultivos (Hirschi, 2009).

La biofortificación se puede realizar a través de metodologías basadas en el uso de la biotecnología, de prácticas agronómicas y mediante el mejoramiento convencional. Estas involucran el uso de la transgénesis, estrategias de fertilización y mejoramiento de cultivos, respectivamente. Esta última es una alternativa rentable y sostenible que consiste en la selección de una variedad dentro de un conjunto de materiales superiores para un carácter nutritivo y en su hibridación con variedades de alto rendimiento para obtener en la descendencia y mediante selección, variedades de alto rendimiento y con valor nutricional incrementado, siendo esta una solución eficaz y sostenible en el tiempo (Kumar et al., 2016).

Estudios de biofortificación genética a nivel mundial han destacado el perfil nutricional superior de la lenteja estableciendo que son una rica fuente de minerales altamente biodisponibles, proteínas, carbohidratos, compuestos fenólicos y otros micronutrientes, demostrando presencia de variabilidad genética significativa para estos caracteres entre diferentes variedades incluyendo germoplasma cultivado, especies silvestres, locales y mejoradas convirtiéndola en un cultivo ideal para la biofortificación (Dell'Aquila et al., 2000; Kumar et al., 2016).

Por lo tanto, evaluar la variabilidad genética disponible para la concentración de proteína, carbohidratos, micronutrientes como Ca y Fe y de antinutrientes en distintas variedades de lenteja resulta fundamental para identificar y disponer de materiales potenciales para biofortificación, de modo de contribuir a la lucha contra la desnutrición. Por esto, el uso de

semillas de calidad es fundamental para aumentar la productividad agrícola, garantizar la seguridad alimentaria y satisfacer las expectativas tanto del productor como del consumidor.

#### **1.6.4 Antecedentes en el mejoramiento de lenteja**

El problema de la baja variabilidad genética existente y motivado por la falta de variedades comerciales en el cultivo de lenteja, ha sido abordado por nuestro grupo de trabajo, integrado por docentes-investigadores pertenecientes de la Cátedra de Mejoramiento Vegetal y Producción de Semillas de la Facultad de Ciencias Agrarias (FCA), desde hace muchos años. Se ha planteado obtener nuevas variedades adaptadas a las condiciones de la región que al incrementar la estabilidad disminuyan los riesgos de plagas y enfermedades.

Con la necesidad de ampliar el panorama varietal, se inició un plan de mejora a partir del año 2004 en el cual se han implantado poblaciones  $F_2$  en la Sección Horticultura de la FCA, donde fueron sometidas a un proceso de selección masal durante seis ciclos. Posteriormente, al alcanzarse el nivel de homocigosis deseado se procedió a la selección de plantas individuales en función de la fecha de floración, características del grano y porte de la planta para la multiplicación de semillas y la posterior evaluación en parcelas con repeticiones a campo por caracteres morfo-vegetativos y productivos por tres ciclos consecutivos (Bermejo et al., 2008; Crippa et al., 2009). Como resultado de ello se derivaron 25 RILs las cuales se han caracterizado y evaluado morfológicamente demostrándose una amplia variabilidad genética para todos los caracteres analizados (Bermejo et al., 2012, 2014). Además, se han caracterizado molecularmente mediante los marcadores moleculares SRAP's (Sequence-Related Amplified Polymorphism) y marcadores microsatélites (SSR; Simple Sequence Repeat), que resultaron herramientas útiles, reproducibles y confiables para detectar la diversidad genética entre las RILs. Los marcadores SRAP y SSR produjeron información complementaria y utilizados en conjunto discriminaron a todos los genotipos (Bermejo et al., 2010, 2014). Tanto los marcadores morfológicos empleados como los moleculares, permitieron identificar genotipos de gran valor para el mejoramiento de la especie. Recientemente, se han obtenido dos cultivares de lenteja derivadas de este programa de mejora, una de la subespecie macrosperma y una de la subespecie microsperma que presentan aspectos destacables como un excelente rendimiento superior al testigo, ciclo precoz y buen tamaño y calidad de grano. Actualmente, se está desarrollando un nuevo programa de mejora de lenteja en la FCA de la Universidad Nacional de Rosario (UNR) en convenio con instituciones nacionales (INTA a través del proyecto integrado "Desarrollo de bases

tecnológicas para el aumento de la competitividad con sostenibilidad de las legumbres en Argentina”, Convenio INTA – UNR PNHFA-1106075) y con el ICARDA (Centro Internacional para la Investigación de la Agricultura en Áreas Secas). Esta última proveyó material segregante obtenido por hibridación entre variedades adaptadas específicamente a las condiciones agroecológicas de diferentes regiones y países que permitió la derivación de líneas a partir de 50 familias  $F_3$  originadas de diferentes cruzamientos. Se ha desarrollado una Colección Activa de lenteja con el fin de conservar y evaluar su variabilidad. Por el momento se han evaluado caracteres morfológicos y productivos de los materiales existentes (Bermejo et al., 2019), pero no se han generado datos respecto de la variación genética a nivel de caracteres de calidad industrial y nutricional de dichos materiales. Si bien la lenteja tiene un alto potencial para el mejoramiento orientado a la industria y al consumidor, por el momento hay pocos datos con este enfoque, ya que el mismo se ha basado principalmente en los caracteres agronómicos y fenotípicos (Vaz Patto et al., 2015).

## 2 HIPÓTESIS

La variabilidad genética existente entre las distintas variedades de lenteja para características morfológicas, de potencial de almacenamiento y nutricionales puede ser aprovechada en el desarrollo de un programa de mejoramiento integral, que incorpore el objetivo de biofortificación.

## 3 OBJETIVOS

### 3.1 Objetivos generales

Identificar dentro de una colección activa de lenteja (*Lens culinaris* Medik) germoplasma genéticamente diverso en cuanto a características morfológicas, de potencial de almacenamiento y físicoquímicas.

Seleccionar materiales con un desempeño superior al testigo comercial Silvina y con características nutricionales óptimas para llevar a cabo la biofortificación de materiales de alto rendimiento agronómico.

### 3.2 Objetivos específicos

- Evaluar características morfoagronómicas, de potencial de almacenamiento y físico-químicas en un conjunto de 40 líneas de lenteja.
- Estimar la variabilidad presente mediante diferentes tipos de análisis multivariado.
- Estimar parámetros genéticos como el coeficiente de variación genética y la heredabilidad.
- Evaluar el efecto de diferentes ambientes productivos sobre los caracteres cuantitativos.
- Detectar variedades de alta calidad comercial y potencial de almacenamiento superiores al testigo comercial.
- Seleccionar materiales que presenten características nutricionales óptimas para programas de biofortificación de materiales de alto rendimiento agronómico.

## 4 MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1 Material Vegetal

Como material experimental se utilizaron 40 variedades de lenteja de distintos orígenes geográficos pertenecientes a la subespecie macrosperma y microsperma del Programa de Mejoramiento de Leguminosas de Grano de la FCA de la UNR y provenientes del ICARDA. Como testigo se utilizó la variedad comercial Silvina desarrollada por el INTA (EEA San Pedro, 1992). El nombre, origen/características y subespecie de todos los genotipos empleados se mencionan en la Tabla 1 del ANEXO.

### 4.2 Ambientes de evaluación y diseño experimental

Durante el año 2020, las líneas se sembraron en el Campo Experimental “J. F. Villarino” de la FCA de la UNR, 33° 1' LS y 60° 53' LO y 50 m sobre el nivel del mar. La densidad de siembra fue de 50 plantas por m<sup>2</sup>, con un espaciamiento de 0,50 m entre surcos y 0,03 m entre plantas. Se utilizó un sistema de riego por goteo y se llevaron a cabo prácticas recomendadas de manejo de cultivos agregando 3- (3,4-diclorofenil)-1-metoxi-1-metilurea (Linurón) como herbicida pre-emergente e incorporado al suelo, para evitar la competencia con malezas.

Las muestras se sembraron en un diseño en bloques completamente aleatorizado con dos repeticiones. Para poder estudiar la influencia de las condiciones inherentes al año agrícola sobre características morfológicas, productivas y de calidad se realizaron dos fechas de siembra, principios de julio y agosto, y se evaluó el efecto del uso de un inoculante en base a cepas de *Rhizobium leguminosarum biovar viceae* con la dosis recomendada (200 ml / 50 Kg). Se generaron cuatro ambientes que se definieron de la siguiente manera:

**Primer ambiente:** primera fecha de siembra (julio) sin inoculante.

**Segundo ambiente:** segunda fecha de siembra (agosto) sin inoculante.

**Tercer ambiente:** primera fecha de siembra (julio) con inoculante.

**Cuarto ambiente:** segunda fecha de siembra (agosto) con inoculante.

Las semillas se cosecharon a finales de noviembre y principios de diciembre. Las semillas cosechadas se limpiaron y se almacenaron a 20 °C hasta su evaluación.

### **4.3 Caracteres morfológicos y productivos**

Se evaluaron características morfológicas, fenológicas y productivas según los descriptores estándares de lenteja establecidos por *Bioversity International*. Los caracteres cualitativos se clasificaron de acuerdo a la escala establecida por Lázaro et al. (2001) exceptuando el color de cubierta seminal y el hábito de crecimiento donde se utilizó una escala propia.

#### **4.3.1 Caracteres morfovegetativos cualitativos**

Pigmentación antociánica del tallo (1: ausente, 2: presente).

Pubescencia foliar (1: ausente, 2: leve, 3: densa).

Presencia de zarcillos (1: ausente, 2: presente).

Color de flor (1: blanca, 2: blanca con venas violetas o azules, 3: violeta).

Color del cotiledón (1: amarillo, 2: naranja).

Color del tegumento (1: beige claro, 2: marrón, 3: gris).

Hábito de crecimiento (Observado luego de la floración) (1: semi erguido, 2: erguido).

Patrón del tegumento (1: ausente, 2: punteado).

#### **4.3.2 Caracteres morfovegetativos cuantitativos**

Altura de la planta (AP): Medida en centímetros desde la base de la planta hasta el ápice, en el momento de cosecha.

### **Caracteres fenológicos**

Días a 50% de floración (DF): período comprendido desde la siembra hasta el 50% de inicio de floración de la parcela. Se consideró el inicio de la floración cuando se efectuó la apertura de la flor.

### **Caracteres productivos**

Número de vainas por planta (NVP) (promedio del recuento de 10 plantas representativas).

Número de semillas por planta (NSP) (promedio del recuento de 10 plantas representativas).

Número de semillas por vaina (NSV) (promedio de 10 vainas secas).

Calibre de la semilla (mm) (C) (promedio de 20 semillas tomadas al azar de 10 plantas representativas).

Peso de 100 semillas (g) (p100) (peso de 100 granos tomados al azar de 10 plantas, expresado en gramos).

Rendimiento/planta (g) (RP) (peso promedio del total de semillas producidas en 10 plantas).

#### **4.4 Características físico-químicas**

Todos los análisis se realizaron por duplicado, utilizando semillas crudas, cosechadas en su etapa de madurez.

##### **4.4.1 Calidad industrial**

###### ***4.4.1.1 Determinación de la capacidad de absorción de agua***

La capacidad de absorción de agua (ABH<sub>2</sub>O) se determinó a partir del protocolo realizado por Abdel-Aal et al. (2019) con modificaciones. Una muestra de 20 semillas de cada variedad fue remojada en 1 ml de agua destilada durante 24 h a temperatura ambiente, luego se secaron con una toalla de papel y se dejaron reposar durante 1 h hasta obtener un peso constante en una balanza analítica (OHAUS- PIONER). La capacidad de absorción se expresa como los gramos de agua que absorben 100 gramos de semilla.

###### ***4.4.1.2 Determinación del tiempo de cocción***

Se estimó el tiempo de cocción (TC) para cada variedad utilizando 20 semillas de lenteja remojadas durante 24 h. Se les agregó 100 ml de agua destilada y se calentaron en un baño termostático modelo Masson a 95 °C. Luego de 25 min de cocción, se tomaron muestras de tres semillas a intervalos de cinco min y se midió su firmeza usando un durómetro. Para determinar el valor de firmeza de referencia de la lenteja cocidas, se realizaron mediciones en cuatro marcas de lenteja enlatadas comerciales (Arcor, Compro, Inalpa, Campagnola) y se estableció un valor promedio (Theologidou et al., 2018; Abdel-Aal et al., 2019).

###### ***4.4.1.3 Determinación del color***

Se escanearon dos repeticiones de 50 semillas de lenteja de cada variedad con un escáner Samsung CLX 3300 con una resolución de 600 dpi y se evaluó su color con el programa

*Tomato Analyzer* (Rodríguez et al., 2010). Se determinaron los parámetros de color del tegumento  $a^*$ ,  $b^*$  y  $L^*$  y se calculó el índice de color (IC) mediante la expresión propuesta por Jiménez-Cuesta et al. (1981):

$$IC = (1000 \times a) / (L \times b)$$

L: valor de luminancia o brillo de la muestra que va desde el blanco al negro.

a: zona de variación entre el rojo y el verde del espectro.

b: zona de variación entre el amarillo y el azul del espectro.

IC: índice de color.

#### ***4.4.1.4 Análisis del potencial de almacenamiento y retención del color seminal***

Para ello se utilizaron cajas plásticas conteniendo 40 ml de una solución saturada de NaCl (40 g NaCl/ 100 ml de agua destilada) y una superficie de plástico suspendida en su interior sobre la cual se depositaron 50 semillas. Estos sistemas se incubaron a 42 °C por 72 h (Gordin et al., 2015) para inducir el envejecimiento. El experimento se realizó por triplicado.

Los parámetros de color ( $a^*$ ,  $b^*$ ,  $L^*$  e IC) se determinaron mediante fenotipado digital y lectura con el programa *Tomato Analyzer* antes y después del tratamiento. Posteriormente se calculó el cambio en el índice de color debido al envejecimiento ( $\Delta IC$ ) utilizando la siguiente expresión:

$$\Delta IC = ((IC_{72h} - IC_{0h}) / IC_{0h}) * 100$$

Donde:

$\Delta IC$ : Cambio del índice de color.

IC<sub>0h</sub>: Índice de color medido a las 0 horas del ensayo de envejecimiento.

IC<sub>72h</sub>: Índice de color medido a las 72 horas del ensayo de envejecimiento.

Las semillas envejecidas se colocaron simultáneamente con un control de 50 semillas sin envejecer en cajas de petri sobre papel humedecido durante cinco días, a temperatura ambiente y sin luz. Luego se calculó el porcentaje de semillas que germinó para determinar el porcentaje de germinación (PG).

Estos análisis se realizaron sobre las variedades que presentaron valores de las variables  $a^*$  e IC iguales o inferiores al testigo comercial (Bermejo et al., 2017).

#### 4.4.2 Calidad nutricional

Los análisis se llevaron a cabo utilizando harina de lenteja para lo cual alrededor de 2 g de semillas se pulverizaron con un mortero y se tamizaron utilizando un tamiz serie estándar A.S.T.M N° 70 con una malla 0,15 mm con el fin de obtener un tamaño de partícula uniforme.

##### 4.4.2.1 Determinación del contenido proteico

Se realizó la extracción a partir de 50 mg de harina de lenteja utilizando 1 ml de buffer Tris-HCl 0,025 M pH:8 y SDS 1,00% durante 1,5 h a temperatura ambiente y se dejaron en agitación constante en una incubadora de agitación orbital modelo mrc a 150 rpm. Los extractos se centrifugaron a 10.000 rpm durante 15 min, se separó el sobrenadante y se realizó una re-extracción repitiendo el procedimiento sobre el sedimento obtenido. El contenido proteico de la mezcla de los dos sobrenadantes se determinó a partir del kit comercial *Qubit Protein Assay* (Invitrogen).

##### 4.4.2.2 Determinación de la composición proteica

La composición proteica se analizó a través de electroforesis en geles de poliacrilamida en condiciones desnaturalizantes y reductoras (SDS-PAGE). Se prepararon geles con 12,00% P/V de poliacrilamida para el gel de separación (partiendo de una solución de Acrilamida-Bisacrilamida 30:0,80% P/V, Tris-HCl 0,126 M pH 8,8, SDS 0,26% P/V) y 4,50% P/V para el gel de concentración (partiendo de una solución de Acrilamida-Bisacrilamida 30:0,80% P/V, Tris-HCl 0,126 M pH 6,8, SDS 0,26% P/V). Las muestras de proteína se suplementaron con solución de siembra (glicerol 5,00% V/V, SDS 2,00% P/V,  $\beta$ -mercapto-etanol 0,10% V/V, azul de bromofenol 0,01% P/V) y se incubaron durante 10 min a 100 °C. El sistema de electroforesis empleado fue el Miniprotean III®, de BioRad. Las corridas se realizaron utilizando la solución amortiguadora Laemmli (Tris 0,30% P/V, glicina 1,44% P/V, y SDS 0,10% P/V) aplicando una corriente constante de 20 mA. Luego de la corrida los geles se fijaron durante 10 min con una solución de etanol: ácido acético: agua (25:7,5:67,5), y se tñieron durante 10 min con una solución de azul de Coomassie R250 1,00% P/V en etanol: ácido acético: agua (50:10:40). La decoloración se llevó a cabo hirviendo los geles en agua. Las distintas subunidades de vicilinas y leguminas se identificaron comparando el peso

molecular (PM) de las bandas obtenidas con valores de referencia publicados (Ladjal-Ettoumi et al., 2016).

#### ***4.4.2.2.1 Evaluación de los geles de SDS-PAGE***

Los geles de SDS-PAGE fotografiados se evaluaron con el programa *Gel Analyzer 19.1* (Alzohairy, 2008). Se analizó el color de los geles en el modo "oscuro sobre claro". Para cada calle, todas las bandas existentes se detectaron automáticamente, se corrigieron manualmente y se enumeraron según sus respectivos valores de rf (distancia desde el punto de partida). Para cada calle, la suma de los volúmenes brutos (basados en la intensidad de píxeles) de todas las bandas se estableció como 100,00%, y se calcularon las intensidades relativas de cada banda individual obteniendo el porcentaje que cada subunidad de legumina y vicilina representa respecto del total extraído. Con estos datos fue posible calcular la relación de legumina-vicilina (Leg/Vic). El análisis se realizó por duplicado.

#### ***4.4.2.3 Determinación de compuestos fenólicos y taninos***

La determinación se realizó a partir del protocolo descrito por Xu y Chang, (2007) sobre muestras de 50 mg de harina de lenteja. Se adicionaron 500  $\mu$ l de acetona 70,00% V/V y se dejaron en agitación en una incubadora de agitación orbital modelo mrc a 150 rpm a 23°C durante 24 h en oscuridad. Los extractos obtenidos se centrifugaron a 5000 rpm durante 10 min, se conservaron los sobrenadantes y se repitió la extracción sobre los sedimentos. Posteriormente, se mezclaron los dos sobrenadantes obtenidos.

El contenido de F se determinó a partir del reactivo Folin-Ciocalteu usando ácido gálico (GA) como estándar. Se mezclaron 15  $\mu$ L de muestra, 900  $\mu$ L de agua destilada, 75  $\mu$ L de Folin-Ciocalteu y 225  $\mu$ L de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 7,00% y se incubaron durante 8 min a temperatura ambiente. Luego se añadieron 285  $\mu$ L de agua y se incubaron las muestras 2 h a temperatura ambiente. Finalmente, se midió la absorbancia a 765 nm y se determinó la concentración de F como equivalentes de GA.

El contenido de T se determinó mezclando 15  $\mu$ L de muestra, 800  $\mu$ L de una solución al 4,00% de vainillina en metanol y 450  $\mu$ L de HCl al 36,00% P/V. Se incubó por 15 min a temperatura ambiente y se midió absorbancia a 500 nm. La cantidad de T se expresó como equivalentes de catequina a partir de una curva de calibración realizada con dicho reactivo.

#### **4.4.2.4 Determinación de ácido fítico**

La extracción se realizó a partir de 50 mg de harina de lenteja con 1 ml de solución de HCl 0,80 N, se llevó a agitación en una incubadora de agitación orbital modelo mrc durante 16 h a 150 rpm. Posteriormente, las muestras se centrifugaron a 10000 rpm a 10 °C durante 10 min y se separó el sobrenadante. A 100  $\mu$ L de muestra se le agregaron 50  $\mu$ L de H<sub>2</sub>O, 600  $\mu$ L de reactivo de Wade (0,03% FeCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O + 0,30% ácido sulfosalicílico) y se midió absorbancia a 490 nm. Se determinó la cantidad de AF a partir de una curva de calibración realizada con AF comercial (Sigma).

#### **4.4.2.5 Determinación de hierro**

Se enviaron 100 mg de harina de cada una de las variedades de lenteja al Laboratorio de Química Analítica de la Universidad Nacional del Litoral para la determinación de Fe, la cual fue realizada por duplicado utilizando un Espectrómetro de Absorción Atómica por atomización por llama, Perkin Elmer AAnalyst 200.

### **4.5 Análisis Estadísticos de caracteres cualitativos**

Se calculó la frecuencia con que cada tipo de variable cualitativa aparece en los 40 genotipos de lenteja.

#### **4.5.1 Análisis de Agrupamiento**

Los datos obtenidos con los caracteres morfológicos cualitativos fueron utilizados para calcular las distancias genéticas entre los distintos materiales utilizando el coeficiente de similitud de Dice (Dice, 1945). Las matrices de distancia obtenidas fueron sometidas a un análisis de agrupamiento utilizando el método de encadenamiento promedio UPGMA (*Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean*) del programa InfoStat, obteniéndose el dendrograma correspondiente.

## 4.6 Análisis estadísticos de caracteres cuantitativos

### 4.6.1 Análisis de datos de la primera fecha de siembra

Se calcularon los valores promedios, mínimos y máximos para todos los caracteres evaluados considerando los datos de los dos ambientes. Se determinó el coeficiente de variación (CV), cómo la relación entre el desvío estándar y la media. La variabilidad de los caracteres se midió a través del CV, considerándose baja si fue menor al 10,00%, intermedia cuando tomó valores entre 10,00 y 20,00% y alta si resultó mayor al 20,00% (Kosev et al., 2012).

#### 4.6.1.1 Análisis de la variancia

Para el estudio de las variables cuantitativas (productivas, industriales y nutricionales) se realizó un análisis de la variancia (Andeva) combinado incluyendo los efectos de los genotipos y de dos ambientes de evaluación (ambientes uno y tres), donde crecieron el mayor número de genotipos), para determinar el grado de significancia de los efectos del ambiente y de la interacción genotipo por ambiente para cada variable. Previamente se determinó la normalidad de las variables mediante la prueba de Shapiro-Wilk (1965), las variables que no mostraron una distribución normal se evaluaron por medio de la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis (Kruskal y Wallis, 1952). Estos análisis se efectuaron a través del programa estadístico Infostat (Di Rienzo et al., 2008).

En un diseño en bloques completamente aleatorizado (DBCA) el modelo aditivo lineal es:

$$Y_{ijk} = \mu + g_i + e_j + g_{ej} + b_{jk} + \varepsilon_{ijk}$$

Siendo:

$Y_{ijk}$  = valor fenotípico del genotipo  $i$ -ésimo en el bloque  $k$ -ésimo del  $j$ -ésimo ambiente.

$\mu$  = media total de todas las observaciones.

$g_i$  = efecto del genotipo  $i$ -ésimo.

$e_j$  = efecto del ambiente  $j$ -ésimo.

$g_{ej}$  = interacción del genotipo  $i$ -ésimo en el ambiente  $j$ -ésimo.

$b_{jk}$  = efecto del bloque  $k$ -ésimo en el ambiente  $j$ -ésimo.

$\varepsilon_{ijk}$  = componente del error experimental, o variación residual de la observación en el bloque  $k$ -ésimo del ambiente  $j$ -ésimo para el genotipo  $i$ -ésimo.

Los efectos principales genotipo y ambiente se consideraron factores fijos y el bloque se consideró aleatorio.

En el caso de las variables que presentaron interacción GxA se realizaron representaciones gráficas para evaluar cómo cambia el efecto del genotipo en los dos ambientes. Para las variables que no presentaron interacción GxA pero sí efecto del ambiente se evaluaron las 21 variedades que crecieron en los dos ambientes por una prueba de comparación de valores promedios de Duncan con el fin de determinar la existencia de diferencias genéticas significativas entre los ambientes (con y sin inoculante) y entre genotipos, mientras que para las variables que no presentaron interacción GxA ni efecto del ambiente se analizaron los 40 genotipos por una prueba de comparación de valores promedios de Duncan sin considerar el efecto del ambiente.

#### **4.6.1.2 Heredabilidad**

Se calculó la heredabilidad de todas las variables analizadas en función de la relación entre la varianza genética y fenotípica según Holland et al. (2003):

$$H^2 = \sigma^2_g / (\sigma^2_g + \sigma^2_{ge}/e + \sigma^2_{error}/re)$$

Donde:

$H^2$  es la heredabilidad en sentido amplio para el carácter de interés

$\sigma^2_g$  = variancia genotípica

$\sigma^2_{ge}$  = variancia de la interacción (genotipo x ambiente)

$\sigma^2_{error}$  = variancia del error experimental

r = número de repeticiones

e = número de ambientes

Según Stanfield (1971) los caracteres se consideran de heredabilidad alta cuando ésta es mayor a 0,5, de heredabilidad media entre 0,20 y 0,50, y de heredabilidad baja si es menor a 0,20.

#### **4.6.1.3 Análisis de Componentes Principales**

Se efectuó un análisis de componentes principales (ACP) de la variancia mediante el programa Infostat (Di Rienzo et al., 2008) considerando por separado los caracteres morfológicos y productivos, los caracteres de calidad industrial y los caracteres de calidad nutricional. La interpretación visual de los resultados se obtuvo mediante la construcción de

un gráfico bidimensional, usando como ejes a las dos primeras componentes principales (CP1 y CP2), que explican el mayor porcentaje de variabilidad total.

#### ***4.6.1.4 Análisis del potencial de almacenamiento y retención del color seminal***

Se midieron los valores de  $a^*$  e IC de las semillas de lenteja antes y después de inducir las a envejecimiento acelerado. Con los datos obtenidos se efectuó un Andeva con el programa Infostat (Di Rienzo et al., 2008) y diagramas de dispersión, utilizando una hoja de cálculo de Microsoft Excel, 2016, para identificar grupos de variedades con color de tegumento más claro y mayor poder de retención del color seminal que el testigo Silvina. Asimismo, se compararon los datos obtenidos con la curva de envejecimiento natural realizada para la variedad comercial Silvina por Bermejo et al. (2017).

#### **4.6.2 Análisis de datos de los cuatro ambientes**

Se llevaron a cabo Andeva combinados, a través de los ambientes evaluados para determinar la significancia en cada caso de los efectos del genotipo, del ambiente y de la interacción genotipo x ambiente. Se realizó el análisis para las siete variedades que crecieron en las dos fechas de siembra con y sin inoculante.

##### ***4.6.2.1 Análisis de la interacción genotipo-ambiente***

Se realizó un GGE (*Genotype and Genotype-Environmental Interaction*) biplot para analizar la interacción genotipo-ambiente, investigar la diferenciación de mega-ambientes entre los ambientes en estudio y seleccionar cultivares superiores en un mega-ambiente dado. La técnica GGE biplot trabaja con los datos de las variables después de descontar los efectos de los ambientes (limpios de efecto ambiental), permitiendo así una exploración gráfica de los patrones de variabilidad debido a los efectos de genotipo y de la interacción (G+GE o simplemente GGE). El modelo para construir un GGE biplot con las dos primeras componentes principales (CP), a partir de la descomposición por valor singular de datos centrados por efecto de ambientes (Yan y Hunt, 2002) es:

$$y_{ij} - \bar{y}_j = \lambda_1 \xi_{i1} \eta_{j1} + \lambda_2 \xi_{i2} \eta_{j2} + \varepsilon_{ij}$$

donde  $y_{ij}$  es el rendimiento medio del genotipo  $i$  en el ambiente  $j$ ,  $\bar{y}_j$  es la media de los genotipos en el ambiente  $j$ ,  $\lambda_1$  y  $\lambda_2$  son los autovalores para la CP1 y CP2 respectivamente,  $\xi_{i1}$  y  $\xi_{i2}$  son los *scores* del genotipo  $i$  en la CP1 y CP2 respectivamente,  $\eta_{j1}$  y  $\eta_{j2}$  son los *scores* del ambiente  $j$  en la CP1 y CP2 respectivamente y  $\varepsilon_{ij}$  es el término residual asociado a la observación promedio del genotipo  $i$  en el ambiente  $j$  centrado por el efecto del ambiente  $j$ .

#### **4.7 Selección de parentales**

Para elegir los materiales que se incorporarán al programa de biofortificación se consideraron las características nutricionales, retención del color seminal y las características morfológicas evaluadas previamente. Los materiales elegidos posteriormente se incorporarán dentro del programa de mejoramiento y fuera del alcance de la tesis, se hibridarán y se someterán a procesos de selección.

## 5 RESULTADOS

### 5.1 Caracteres cualitativos- Caracterización Morfológica

Las variables cualitativas registradas fueron, como era de esperar, estables en los distintos ambientes. En la Tabla 1.1 se muestran las frecuencias de cada uno de los caracteres cualitativos en el conjunto de genotipos evaluados. La Figura 1.1 muestra los fenotipos encontrados para los caracteres pubescencia de hojas, color de flor, presencia de zarcillos, pigmentación del tallo, color y patrón de la cubierta seminal. La distribución de frecuencias indicó la presencia de variabilidad para todos los caracteres estudiados. El 57,00% de los genotipos presentaron tallos con pigmentación verde en el estadio de plántula, mientras que el resto (43,00%) presentaron tallos de color púrpura. La mayoría de los genotipos mostraron hojas levemente pubescentes y flores blancas con venas violetas. Se observaron dos colores de cubierta seminal: marrón y beige claro, siendo predominante el color beige claro (62,00%). Solo el 7,00% de los genotipos presentó un punteado de color negro en la cubierta seminal. Se observaron cotiledones amarillos en el 63,00% de los genotipos mientras que el resto (37,00%) mostró cotiledones naranjas. En su mayoría las plantas mostraron un hábito de crecimiento erguido (68,00%) contra semi erguido.

Caracteres cualitativos	Clase	Porcentaje
Pigmentación del tallo	1: ausente	57,00
	2: presente	43,00
Pubescencia foliar	1: ausente	0,00
	2: leve	90,00
	3: densa	10,00
Presencia de zarcillos	1: ausente	1,00
	2: presente	99,00
Color de flor	1: blanca	0,00
	2: blanca con venas violetas	95,00
	3: lila	5,00
Color tegumento	1: beige claro	62,00
	2: marrón	38,00
	3: gris	0,00
Patrón de la cubierta seminal	1: ausente	93,00
	2: punteado	7,00
Color del cotiledón	1: amarillo	63,00
	2: naranja	37,00
Hábito de crecimiento	1: semi erguido	32,00
	2: erguido	68,00

Tabla 1.1 Porcentaje de cada carácter cualitativo en 40 genotipos de lenteja.

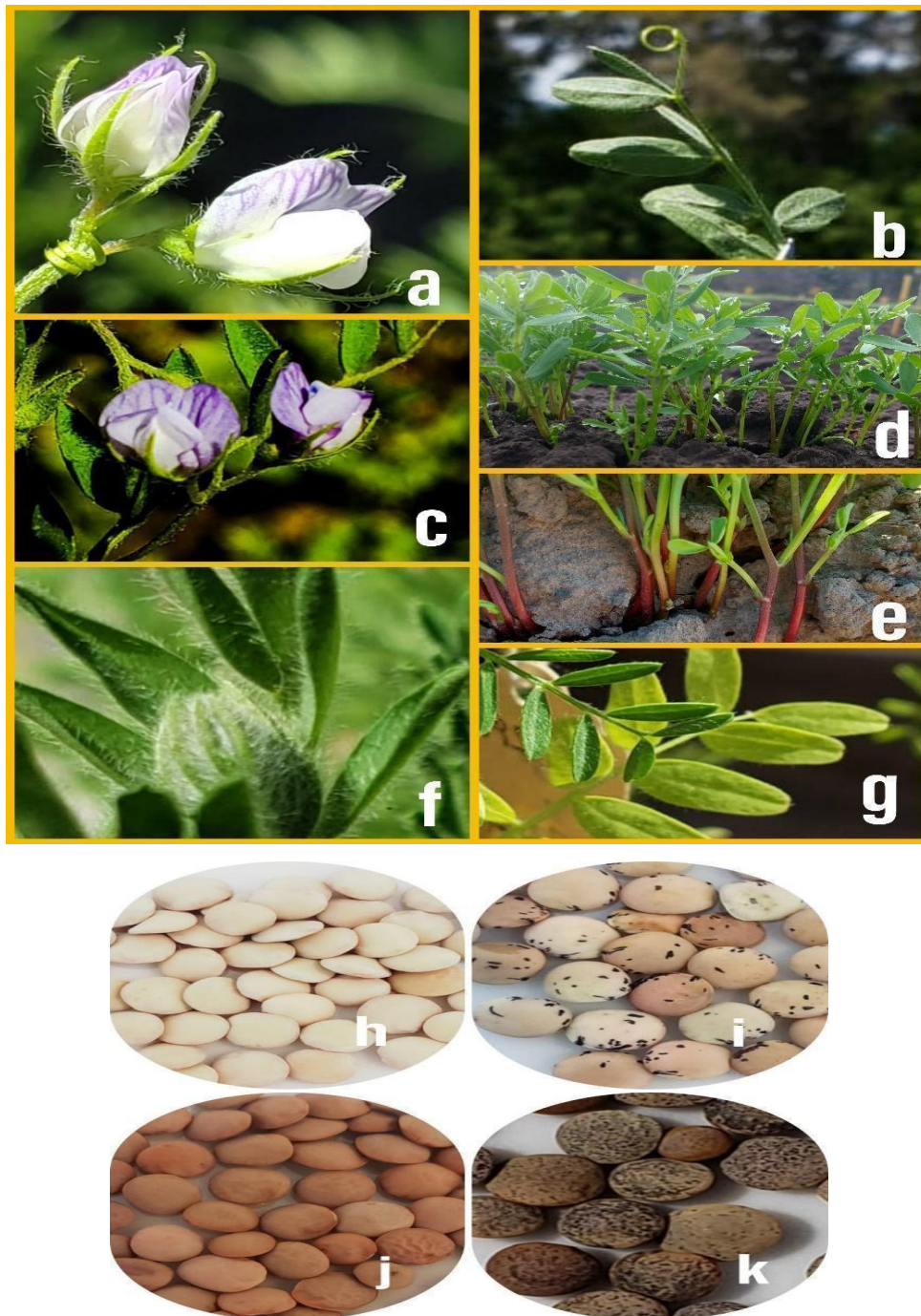


Figura 1.1 Caracteres morfológicos cualitativos. a: color de flor blanca con estrías violeta, b: presencia de zarcillos, c: color de flor violeta, d: ausencia de pigmentación en tallo, e: presencia de pigmentación en tallo, f: pubescencia densa, g: pubescencia leve, h: semilla con color de tegumento beige y patrón de tegumento ausente, i: semilla con color de tegumento beige y patrón de tegumento punteado, j: semilla con color de tegumento marrón y patrón de tegumento ausente, k: semilla con color de tegumento marrón y patrón de tegumento punteado.

### 5.1.1 Análisis de agrupamiento

El análisis de distancias genéticas entre genotipos a partir del índice de similitud de Dice determinó que las distancias fluctuaron entre valores mínimos de cero y valores máximos de uno. Como se muestra en la Tabla 2 del ANEXO, no se encontraron diferencias a nivel cualitativo (distancia = 0) entre 8a y Silvina, 63a, 58a, 55a y 44a, entre 10r y 27r, 31r, 56-2, 58-19/3, entre 16a y 57-5/6, 58-13, 58-22/2, 58-7/9, entre 16r y 57-5/6, 58-7/9, 58-22/2, 58-13, entre 22a y 23a, 30a, 33a, 47a, 54a, 88a, 144a, entre 30r y 15r y finalmente, entre 58-25/26 y 58-25/20. La mayor diversidad (distancia = 1) se encontró entre 10r y 16a, 27r, 31r, 32a, 39a, 42a, 56a, 57a, 58-19/3 y 59a. El dendrograma obtenido a partir de la matriz de distancia mostró una correlación cofenética muy alta de 0,98.

El análisis de agrupamiento permitió reunir los genotipos en tres grupos fijando como criterio de corte la distancia 0,66 (Figura 1.2). El primer grupo (G1) conformado por una sola variedad (57a) se distinguió del resto por no presentar zarcillos, tener flores violetas, cotiledones amarillos y producir semillas beige claro con cubierta seminal lisa. El segundo grupo (G2) estuvo conformado por genotipos que mostraron flores blancas con venas violetas, presencia de zarcillos, semillas color beige y cotiledones amarillos, se dividió a su vez en tres subgrupos, G2A (39a) se distinguió por no presentar pigmentación en tallo y tener hábito de crecimiento semi erguido, presentar patrón de tegumento liso y pubescencia foliar leve, G2B (16a, 32a, 42a, 59a, 56a, 58-25/20 y 58-25/16) se destacó por presentar pigmentación en tallo y G2C (Silvina (sil), 8a, 22a, 23a, 30a, 33a, 44a, 47a, 51a, 54a, 63a, 58a, 55a 88a y 144a) se destacaron por presentar un hábito de crecimiento erguido. El tercer grupo (G3) constituido por genotipos que presentaron zarcillos, color de tegumento marrón y color de cotiledón naranja, se dividió a su vez en dos subgrupos, G3A (8R) se diferenció por presentar hojas con pubescencia densa y color de flor violeta, G3B se diferenció por presentar pubescencia leve y color de flor blanca con estrías violetas.

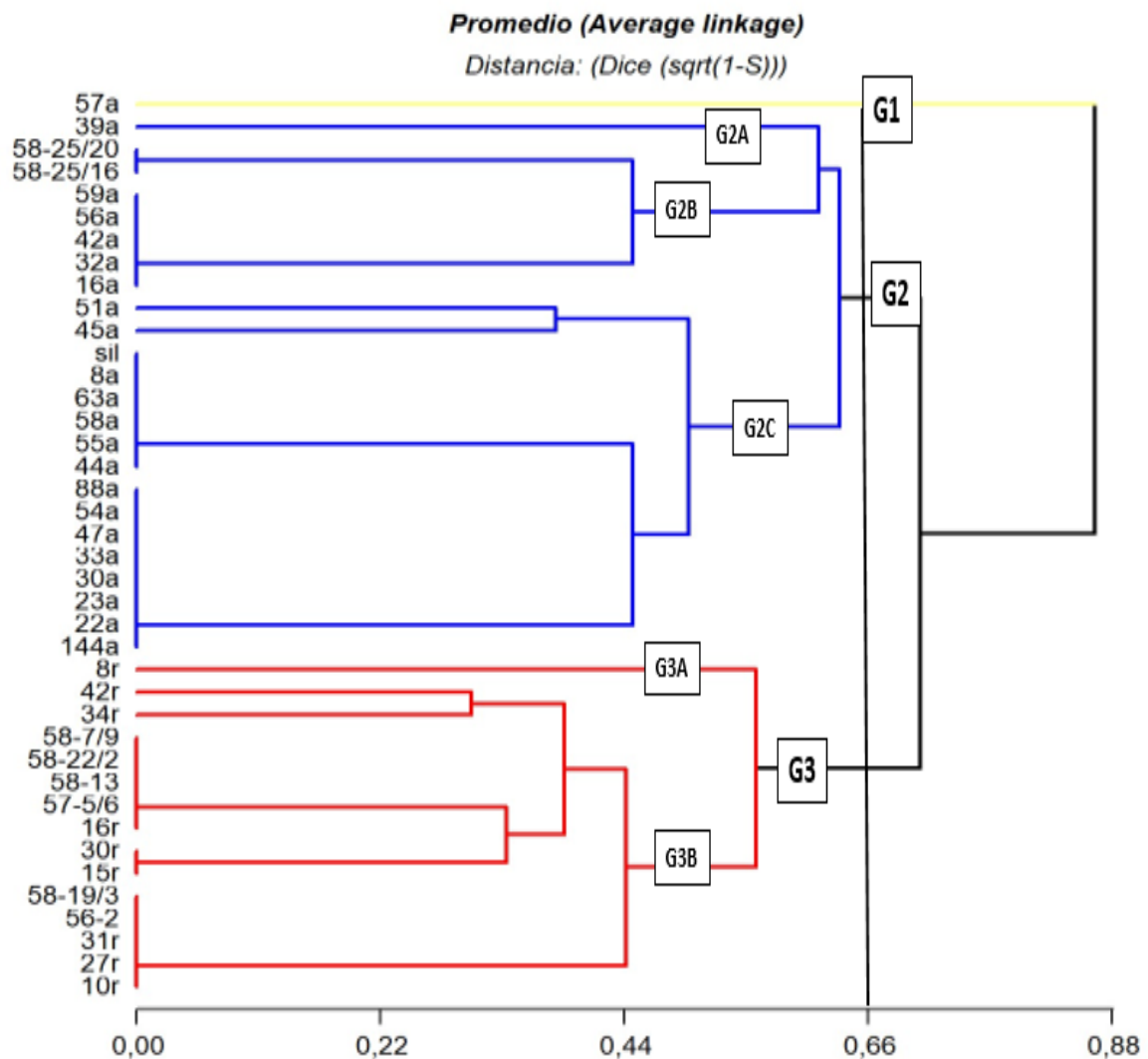


Figura 1.2 Dendrograma resultante del análisis de agrupamiento aplicado sobre los 40 genotipos de lenteja utilizando el método de Encadenamiento Promedio UPGMA (*Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean*) sobre la matriz de distancia construida a partir del índice de similitud de Dice. Caracteres morfológicos cualitativos. Coeficiente de Correlación Cofenética: 0,98.

## 5.2 Caracteres cuantitativos

Los análisis para las variables cuantitativas se realizaron con las variedades que crecieron y desarrollaron cantidad suficiente de semillas. En la primera fecha de siembra desarrollaron correctamente 37 variedades en el primer ambiente y 24 variedades en el tercer ambiente, por lo que los análisis se realizaron sobre 21 variedades comunes en ambos ambientes. Sólo siete de las 40 variedades sembradas tuvieron la capacidad de desarrollarse en fechas tardías de siembra.

### 5.2.1 Análisis de datos de la primera fecha de siembra

En la Tabla 2.1 se muestran los valores promedios, mínimos y máximos y el coeficiente de variación para todos los caracteres cuantitativos evaluados en el primer y tercer ambiente. La variabilidad de los caracteres se midió a través del CV. Los CV fluctuaron de distinta manera en función al carácter, la mayoría de caracteres presentaron un CV alto, excepto por NSV y C que presentaron valores de CV intermedios y DF, AP y el parámetro L\* que presentaron un CV bajo. Los caracteres RP, NVP y NSP presentaron los CV más altos.

Carácter	Promedio	CV	Mín	Máx
DF	88,54	6,58	75,00	100,00
AP	27,54	9,66	20,00	33,00
NVP	19,99	54,20	3,50	58,50
NSV	1,31	18,54	0,99	1,80
NSP	25,82	53,39	5,60	65,80
C	5,10	13,08	3,89	6,57
P <sub>100</sub>	3,68	20,48	1,60	5,10
RP	9,49	55,98	1,70	23,80
P	20,97	23,30	12,50	34,90
F	4,71	23,04	1,62	7,15
T	7,17	39,55	3,20	16,70
AF	0,97	47,74	0,05	2,81
Leg/Vic	1,62	21,73	0,72	2,51
ABH <sub>2</sub> O	107,37	22,80	70,20	180,29
TC	52,20	25,16	25,00	70,00
"L"	52,76	8,59	39,99	65,75
"a"	11,80	20,25	7,39	23,17
"b"	13,54	21,38	7,00	19,91
"IC"	18,33	49,06	6,91	45,85

Tabla 2.1 Valores promedios, mínimos y máximos y coeficiente de variación (CV) (%) para todos los caracteres cuantitativos. DF: días a floración, AP: altura de planta expresada en cm, NVP: número de vainas por planta, NSV: número de semillas por vaina, NSP: número de semillas por planta, C: calibre del grano expresado en mm, P<sub>100</sub>: peso de 100 granos expresado en g, RP: rendimiento por planta expresado en g/planta, P: contenido de proteína (%), b.h: base húmeda), F: contenido de fenoles (mg g<sup>-1</sup>), T: contenido de taninos (mg g<sup>-1</sup>), AF: contenido de ácido fítico (mg g<sup>-1</sup>), Leg/Vic: relación legumina-vicilina, ABH<sub>2</sub>O: absorción de agua medido en %, TC: tiempo de cocción medido en min, L\*: valor de luminancia o brillo de la muestra va desde el blanco al negro. a\*: zona de variación entre el

rojo y el verde del espectro, b\*: zona de variación entre el amarillo y el azul del espectro, IC: índice de color, CV: coeficiente de variación, Mín: valor mínimo, Máx: valor máximo.

### 5.2.1.1 Caracteres productivos

#### 5.2.1.1.1 Análisis de la variancia

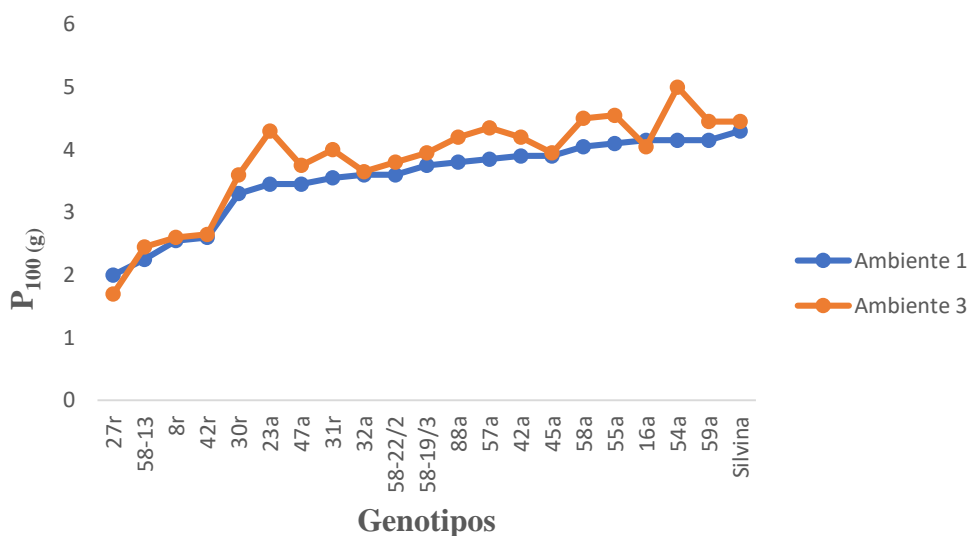
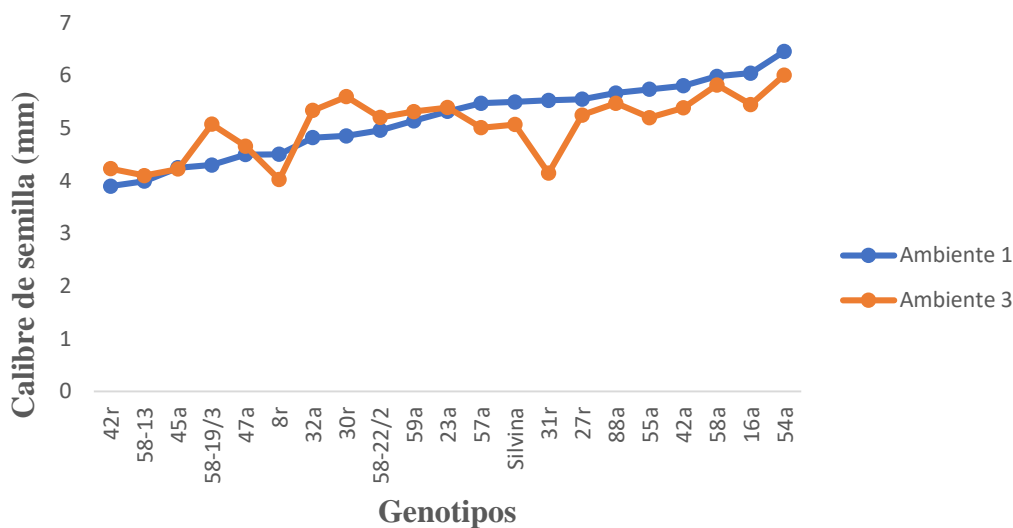
Para cada variable se comprobó la normalidad por el test de Shapiro-Wilk y se realizó un análisis de variancia (Tabla 2.2), el cual mostró una interacción GxA altamente significativa ( $p < 0,001$ ) para el carácter C, una interacción leve ( $p < 0,05$ ) para P<sub>100</sub> y NSV, mientras que las demás variables no mostraron interacción GxA. El análisis mostró diferencias altamente significativas ( $p < 0,001$ ) entre ambientes para los caracteres RP, NSP y NVP y entre genotipos para los caracteres DF y AP. Todos los caracteres evaluados presentaron valores de heredabilidad en sentido amplio ( $H^2$ ) igual o mayor al 90,00%.

		DF		AP		NVP		NSV	
	gl	CM	F	CM	F	CM	F	CM	F
Genotipo	20	129,91	44,54 <sup>***</sup>	21,46	10,42 <sup>***</sup>	308,19	6,53 <sup>***</sup>	0,22	57,04 <sup>***</sup>
Ambiente	1	0,01	4,E-03 <sup>NS</sup>	0,96 <sup>NS</sup>	0,47 <sup>NS</sup>	879,47	18,63 <sup>***</sup>	0,08	20,28 <sup>***</sup>
GXA	20	4,91	1,68 <sup>NS</sup>	3,51 <sup>NS</sup>	1,71 <sup>NS</sup>	35,89	0,76 <sup>NS</sup>	0,01	2,11 <sup>*</sup>
Error	41	2,92		2,06		47,22		0,004	
$H^2$		98,00		90,00		91,00		97,00	
		NSP		C		P <sub>100</sub>		RP	
	gl	CM	F	CM	F	CM	F	CM	F
Genotipo	20	489,00	6,32 <sup>***</sup>	1,47	27,32 <sup>***</sup>	2,14	65,49 <sup>***</sup>	68,77	6,74 <sup>***</sup>
Ambiente	1	1864,03	24,08 <sup>***</sup>	0,26	4,78 <sup>*</sup>	1,55	47,43 <sup>***</sup>	355,06	35,05 <sup>***</sup>
GXA	20	44,05	0,57 <sup>NS</sup>	0,26	4,78 <sup>***</sup>	0,08	2,34 <sup>**</sup>	9,32	0,92 <sup>NS</sup>
Error	41	77,08		0,05		0,03			
$H^2$		92,00		91,00		98,00		90,00	

Tabla 2.2 Análisis de la Variancia combinado para los distintos caracteres morfológicos cuantitativos. DF: días a floración, AP: altura de planta expresada en cm, NVP: número de vainas por planta, NSV: número de semillas por vaina, NSP: número de semillas por planta, C: calibre del grano expresado en mm, P<sub>100</sub>: peso de 100 granos expresado en g, RP: rendimiento por planta expresado en g/planta, gl: grados de libertad, CM: cuadrados medios. F: prueba F de Snedecor,  $H^2$ : heredabilidad en sentido amplio. \* $p < 0,05$ , \*\* $p < 0,01$ , \*\*\* $p < 0,001$ , NS: no significativo.

**5.2.1.1.2 Análisis de la interacción genotipo-ambiente**

La Figura 2.1 muestra la variación de cada genotipo en cada uno de los ambientes evaluados para los caracteres C, P<sub>100</sub> y NSV, si bien los genotipos mostraron diferencias entre ambientes, es posible identificar variedades que se comportan de manera estable con buena adaptación a los distintos ambientes para todos los caracteres evaluados. Los genotipos 58-19/3, 30r y 31r fueron los que presentaron cambio en el ranking más marcado para el carácter C, mientras que para P<sub>100</sub> fueron las variedades 23a y 54a y para NSV fueron las variedades 54a y 58-22/2a. Los valores oscilaron entre 3,89 y 6,57 mm para C, 1,60 y 5,10 g para P<sub>100</sub> y 0,99 y 1,80 para NSV.



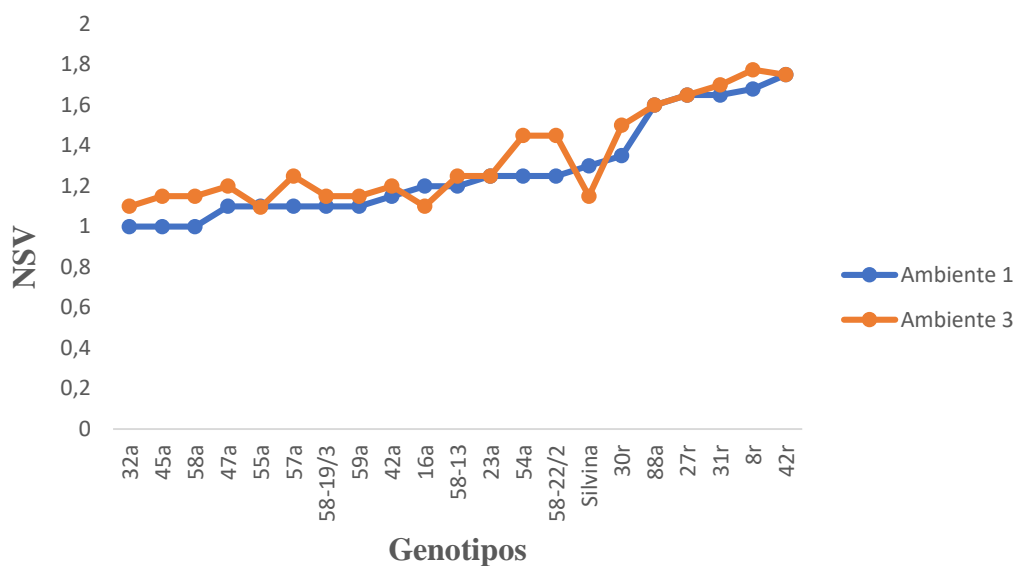


Figura 2.1 Interacción genotipo por ambiente para los caracteres C: calibre del grano expresado en mm, P<sub>100</sub>: peso de 100 granos expresado en g, NSV: número de semillas por vaina en los 21 genotipos de lenteja.

### 5.2.1.1.3 Variables con efecto del ambiente

En la Tabla 2.3 se muestran los valores promedios para los 21 genotipos evaluados en dos ambientes. Se observó un amplio rango de variación para todos los caracteres (NVP= 3,50 a 58,50, NSP= 5,60 a 65,80 y RP= 1,70 a 23,80 g/planta) (Tabla 2.1), el genotipo 16a presentó los valores más altos similares al testigo Silvina para todos los caracteres en los dos ambientes evaluados. Todas las variables productivas presentaron valores superiores en el ambiente tres (con inoculante) para la mayoría de las variedades analizadas (Tabla 2.4).

Variedades	Ambiente	NVP	NSP	RP
8r	1	26,20 <sup>BCDEFG</sup>	45,70 <sup>ABC</sup>	11,30 <sup>CDEFG</sup>
8r	3	30,50 <sup>BCD</sup>	54,85 <sup>AB</sup>	14,20 <sup>BCDE</sup>
16a	1	31,30 <sup>BCD</sup>	37,55 <sup>ABCDEF</sup>	15,25 <sup>BCDE</sup>
16a	3	51,25 <sup>A</sup>	56,35 <sup>A</sup>	22,55 <sup>A</sup>
23a	1	8,70 <sup>HIJK</sup>	9,70 <sup>HIJ</sup>	3,50 <sup>GHIJ</sup>
23a	3	12,50 <sup>EFGHIJK</sup>	15,60 <sup>GHIJ</sup>	6,70 <sup>EFGHIJ</sup>
27r	1	5,35 <sup>K</sup>	8,75 <sup>IJ</sup>	1,75 <sup>J</sup>
27r	3	9,95 <sup>GHIJK</sup>	16,85 <sup>FGHIJ</sup>	3,05 <sup>HIJ</sup>
30r	1	18,30 <sup>CDEFGHIJK</sup>	24,70 <sup>CDEFGHIJ</sup>	8,15 <sup>DEFGHIJ</sup>
30r	3	15,70 <sup>DEFGHIJK</sup>	23,60 <sup>DEFGHIJ</sup>	8,50 <sup>DEFGHIJ</sup>
31r	1	4,80 <sup>K</sup>	7,95 <sup>IJ</sup>	2,80 <sup>IJ</sup>

31r	3	12,10 <sup>FGHIJK</sup>	20,50 <sup>EFGHIJ</sup>	8,20 <sup>DEFGHIJ</sup>
32a	1	6,60 <sup>JK</sup>	6,65 <sup>J</sup>	2,50 <sup>J</sup>
32a	3	7,20 <sup>IJK</sup>	7,95 <sup>IJ</sup>	2,90 <sup>IJ</sup>
42a	1	20,50 <sup>CDEFGHIJK</sup>	23,65 <sup>DEFGHIJ</sup>	9,25 <sup>CDEFGHIJ</sup>
42a	3	27,75 <sup>BCDEF</sup>	33,35 <sup>CDEFG</sup>	14,15 <sup>BCDE</sup>
42r	1	15,35 <sup>DEFGHIJK</sup>	26,70 <sup>CDEFGHIJ</sup>	6,90 <sup>EFGHIJ</sup>
42r	3	19,80 <sup>CDEFGHIJK</sup>	34,40 <sup>BCDEFG</sup>	8,55 <sup>DEFGHIJ</sup>
Silvina	1	22,70 <sup>CDEFGHIJ</sup>	29,50 <sup>CDEFGHI</sup>	12,45 <sup>CDEF</sup>
Silvina	3	39,40 <sup>AB</sup>	45,60 <sup>ABC</sup>	20,25 <sup>ABC</sup>
45a	1	8,40 <sup>HIJK</sup>	8,40 <sup>IJ</sup>	3,10 <sup>HIJ</sup>
45a	3	8,95 <sup>HIJK</sup>	10,30 <sup>HIJ</sup>	4,05 <sup>GHIJ</sup>
47a	1	24,30 <sup>BCDEFGH</sup>	26,80 <sup>CDEFGHIJ</sup>	9,00 <sup>DEFGHIJ</sup>
47a	3	29,80 <sup>BCD</sup>	36,60 <sup>ABCDEFG</sup>	13,35 <sup>BCDE</sup>
54a	1	12,65 <sup>EFGHIJK</sup>	15,60 <sup>GHIJ</sup>	6,45 <sup>EFGHIJ</sup>
54a	3	21,35 <sup>CDEFGHIJK</sup>	30,95 <sup>CDEFGH</sup>	15,50 <sup>ABCD</sup>
55a	1	21,10 <sup>CDEFGHIJK</sup>	23,20 <sup>DEFGHIJ</sup>	9,50 <sup>CDEFGHIJ</sup>
55a	3	17,80 <sup>CDEFGHIJK</sup>	22,30 <sup>DEFGHIJ</sup>	9,55 <sup>CDEFGHIJ</sup>
57a	1	15,60 <sup>DEFGHIJK</sup>	17,15 <sup>EFGHIJ</sup>	6,60 <sup>EFGHIJ</sup>
57a	3	30,80 <sup>BCD</sup>	38,70 <sup>ABCDE</sup>	16,80 <sup>ABCD</sup>
58-13	1	21,00 <sup>CDEFGHIJK</sup>	25,20 <sup>CDEFGHIJ</sup>	5,15 <sup>FGHIJ</sup>
58-13	3	33,80 <sup>BC</sup>	43,10 <sup>ABCD</sup>	10,45 <sup>CDEFGHI</sup>
58-19/3	1	21,60 <sup>CDEFGHIJK</sup>	23,75 <sup>DEFGHIJ</sup>	8,90 <sup>DEFGHIJ</sup>
58-19/3	3	28,30 <sup>BCDEF</sup>	32,40 <sup>CDEFG</sup>	12,80 <sup>BCDEF</sup>
58-22/2	1	15,55 <sup>DEFGHIJK</sup>	19,30 <sup>EFGHIJ</sup>	6,95 <sup>EFGHIJ</sup>
58-22/2	3	22,35 <sup>CDEFGHIJ</sup>	32,30 <sup>CDEFG</sup>	12,30 <sup>CDEF</sup>
58a	1	19,55 <sup>CDEFGHIJK</sup>	19,55 <sup>EFGHIJ</sup>	8,05 <sup>DEFGHIJ</sup>
58a	3	29,10 <sup>BCDE</sup>	34,00 <sup>CDEFG</sup>	15,55 <sup>ABCD</sup>
59a	1	17,45 <sup>CDEFGHIJK</sup>	19,65 <sup>EFGHIJ</sup>	8,15 <sup>DEFGHIJ</sup>
59a	3	23,65 <sup>BCDEFGHI</sup>	27,45 <sup>CDEFGHIJ</sup>	12,25 <sup>CDEF</sup>
88a	1	14,90 <sup>DEFGHIJK</sup>	23,90 <sup>DEFGHIJ</sup>	10,40 <sup>CDEFGHI</sup>
88a	3	15,75 <sup>DEFGHIJK</sup>	24,05 <sup>DEFGHIJ</sup>	10,80 <sup>CDEFGH</sup>

Tabla 2.3 Valor medio para cada variable productiva que mostró efecto del ambiente en las 21 variedades de lenteja. NVP: número de vainas por planta, NSP: número de semillas por planta RP: rendimiento por planta expresado en g/planta. Medias con una letra común dentro de una columna no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ) de acuerdo al Test de Rangos Múltiples de Duncan.

Ambiente	NVP	NSP	RP
1	7,43 <sup>B</sup>	16,76 <sup>B</sup>	21,11 <sup>B</sup>
3	11,55 <sup>A</sup>	23,23 <sup>A</sup>	30,53 <sup>A</sup>

Tabla 2.4 Valor promedio para cada variable productiva en los ambientes 1 y 3. NVP: número de vainas por planta, NSP: número de semillas por planta RP: rendimiento por planta expresado en g/planta. Medias con una letra común dentro de una columna no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ) de acuerdo al Test de Rangos Múltiples de Duncan.

#### 5.2.1.1.4 Variables con efecto del genotipo

Dado que los caracteres DF y AP no presentaron interacción GxA y efecto del ambiente se analizaron los 40 genotipos realizando una prueba de comparación de valores promedios de Duncan sin considerar el efecto del ambiente.

Los genotipos mostraron diferencias altamente significativas ( $p < 0,001$ ) para los caracteres DF y AP, y además se pudieron identificar genotipos más precoces que el testigo Silvina (15r, 39a, 54a, 58-25/16, 58-25/20, 59a y 144a) (Tabla 2.5). Respecto a AP todas las variedades presentaron alturas similares o inferiores al testigo.

Variedad	DF	AP
8a	98,50 <sup>D</sup>	24,00 <sup>GHI</sup>
8r	93,50 <sup>FG</sup>	29,00 <sup>ABCD</sup>
10r	99,50 <sup>CD</sup>	17,00 <sup>J</sup>
15r	76,00 <sup>R</sup>	28,00 <sup>ABCDE</sup>
16a	85,00 <sup>LMN</sup>	25,50 <sup>EFGHI</sup>
16r	96,00 <sup>EF</sup>	29,00 <sup>ABCD</sup>
22a	88,50 <sup>JK</sup>	27,50 <sup>BCDEF</sup>
23a	95,00 <sup>F</sup>	27,00 <sup>CDEFG</sup>
27r	94,50 <sup>F</sup>	30,50 <sup>AB</sup>
30a	87,50 <sup>JKL</sup>	29,00 <sup>ABCD</sup>
30r	91,50 <sup>GH</sup>	27,50 <sup>BCDEF</sup>
31r	92,00 <sup>GH</sup>	27,50 <sup>BCDEF</sup>
32a	95,50 <sup>EF</sup>	22,50 <sup>I</sup>
33a	97,50 <sup>DE</sup>	28,00 <sup>ABCDE</sup>
34r	101,00 <sup>BC</sup>	29,00 <sup>ABCD</sup>
39a	78,00 <sup>QR</sup>	28,50 <sup>ABCDE</sup>
42r	85,50 <sup>LMN</sup>	23,50 <sup>HI</sup>

42a	89,50 <sup>HIJ</sup>	30,50 <sup>AB</sup>
Silvina	84,50 <sup>LMN</sup>	30,00 <sup>ABC</sup>
44a	103,50 <sup>A</sup>	30,00 <sup>ABC</sup>
45a	99,00 <sup>CD</sup>	31,00 <sup>A</sup>
47a	83,50 <sup>NO</sup>	30,00 <sup>ABC</sup>
51a	87,50 <sup>JKL</sup>	28,00 <sup>ABCDE</sup>
54a	79,50 <sup>PQ</sup>	25,50 <sup>EFGHI</sup>
55a	84,50 <sup>LMN</sup>	26,00 <sup>DEFGH</sup>
56-2	88,50 <sup>IJK</sup>	28,50 <sup>ABCDE</sup>
56a	103,00 <sup>AB</sup>	25,50 <sup>EFGHI</sup>
57-5/6	90,50 <sup>HI</sup>	28,00 <sup>ABCDE</sup>
57a	85,00 <sup>LMN</sup>	25,50 <sup>EFGHI</sup>
58-13	90,00 <sup>HIJ</sup>	23,00 <sup>HI</sup>
58-19/3	86,50 <sup>LM</sup>	28,00 <sup>ABCDE</sup>
58-22/2	84,50 <sup>MN</sup>	30,50 <sup>AB</sup>
58-25/16	80,50 <sup>P</sup>	26,00 <sup>DEFGH</sup>
58-25/20	81,00 <sup>P</sup>	24,50 <sup>Fghi</sup>
58-7/9	83,50 <sup>N</sup>	28,00 <sup>ABCDE</sup>
58a	85,00 <sup>LMN</sup>	29,00 <sup>ABCD</sup>
59a	81,00 <sup>P</sup>	23,00 <sup>HI</sup>
63a	83,50 <sup>NO</sup>	28,50 <sup>ABCDE</sup>
88a	94,50 <sup>F</sup>	31,00 <sup>A</sup>
144a	70,50 <sup>S</sup>	28,00 <sup>ABCDE</sup>

Tabla 2.5 Valor medio para cada variable cuantitativa en las 21 variedades de lenteja que mostraron efecto del genotipo. DF: días a floración, AP: altura de planta expresada en cm. Medias con una letra común dentro de una columna no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ) de acuerdo al Test de Rangos Múltiples de Duncan.

#### 5.2.1.1.5 Análisis de componentes principales

El ACP demostró que dos CP explican el 72,00% de la variación total observada entre los genotipos (Tabla 2.6) La CP1 explicó el 44,00% de la variación (Tabla 2.6) y fue caracterizada principalmente por las variables DF, NVP y RP, la variable que más variación aporta es RP (Tabla 2.7). La CP2 explicó el 28,00% de la variación (Tabla 2.6) y estuvo

fuertemente correlacionada con las variables AP, NSV, NSP, C y P<sub>100</sub>, la variable que más variación está aportando es NSP (Tabla 2.7).

N°	Autovalor	Variancia	Variabilidad acumulada
<b>1</b>	3,49	<b>44</b>	44
<b>2</b>	2,28	<b>28</b>	<b>72</b>
3	0,91	11	83
4	0,64	8	91
5	0,44	6	97
6	0,23	3	100
7	0,02	0.19	100
8	4,7E-03	0.59	100

Tabla 2.6 Autovalores, porcentaje de variancia que explica cada uno y porcentaje de variabilidad acumulada para los caracteres productivos.

Variables	CP1	CP2
DF	<b>-0,42</b>	0,06
AP	-0,16	<b>0,43</b>
NSV	-0,24	<b>0,41</b>
NVP	<b>0,47</b>	0,28
NSP	0,37	<b>0,46</b>
C	0,22	<b>-0,38</b>
P <sub>100</sub>	0,30	<b>-0,41</b>
RP	<b>0,50</b>	0,19

Tabla 2.7 Autovectores asociados a los dos primeros autovalores. Participación de las variables originales en las dos primeras CP (CP1 y CP2). DF: días a floración, AP: altura de planta expresada en cm, NSV: número de semillas por vaina, NVP: número de vainas por planta, NSP: número de semillas por planta C: calibre del grano expresado en mm, P<sub>100</sub>: peso de 100 granos expresado en g, RP: rendimiento por planta expresado en g/planta.

La Figura 2.2 muestra una clara discriminación entre cuatro grupos principales de lenteja, el primer y tercer grupo se caracterizaron por ser tardías con mayores DF, pero se distinguieron entre sí por el C y P<sub>100</sub> de semilla perteneciendo el grupo uno a la subespecie microsperma y el grupo tres a la subespecie macrosperma. El grupo dos se caracterizó por ser precoz, con altos RP, alto NVP y NSP, y el grupo cuatro que se caracterizó también por ser precoces, de alto RP, NVP, pero con mayor C y P<sub>100</sub> que el grupo anterior.

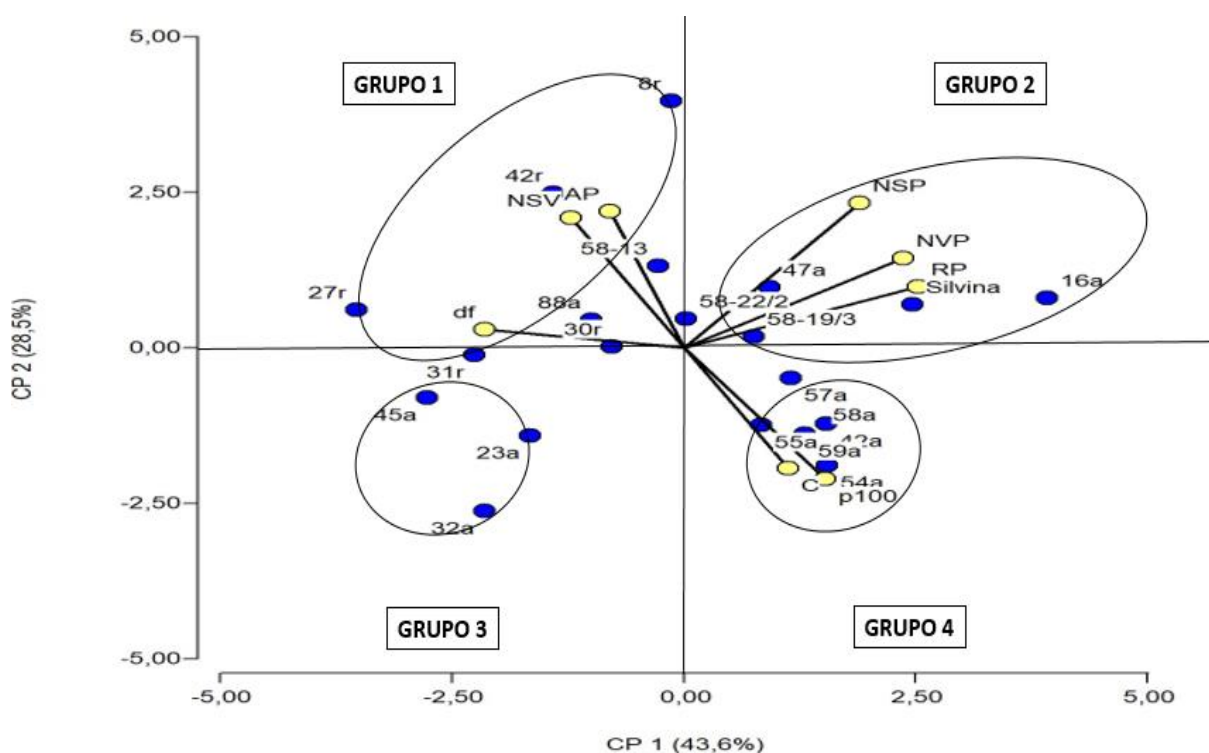


Figura 2.2 ACP para caracteres productivos: Distribución de los 21 genotipos de lenteja en función de CP1 y CP2. Los puntos azules representan los genotipos y los vectores las variables. DF: días a floración, AP: altura de planta expresada en cm, NSV: número de semillas por vaina, NVP: número de vainas por planta, NSP: número de semillas por planta C: calibre del grano expresado en mm, P<sub>100</sub>: peso de 100 granos expresado en g, RP: rendimiento por planta expresado en g/planta.

### 5.2.1.2 Caracteres de calidad industrial

#### 5.2.1.2.1 Análisis de la variancia

Para cada variable se comprobó la normalidad por el test de Shapiro-Wilk. Las variables TC, L\*, a\*, b\* y ABH<sub>2</sub>O presentaron distribución normal y se realizaron los correspondientes Andevas. Como se observa en la Tabla 2.8, los genotipos no mostraron interacción GxA significativa ( $p > 0,05$ ) para ninguno de los caracteres evaluados, la variable L\* mostró un efecto del ambiente levemente significativo ( $p < 0,05$ ), mientras que las variables TC, ABH<sub>2</sub>O, a\* y b\* mostraron un efecto del genotipo altamente significativo ( $p < 0,001$ ). Todos los caracteres presentaron valores de H<sup>2</sup> superiores al 90,00%.

El carácter IC no presentó una distribución normal por lo que para determinar si hay diferencias significativas entre las variedades se realizó un test de Kruskal Wallis, este no mostró diferencias significativas ( $p > 0,05$ ).

	ABH <sub>2</sub> O		TC		L*		a*		b*		IC**			
	gl	CM	F	CM	F	CM	F	CM	F	CM	F	gl	C	H
Genotipo	20	1772,83	8,05***	643,07	21,29***	66,56	11,72***	16,33	7,30***	25,47	9,86***	83	1	83 <sup>NS</sup>
Ambiente	1	225,67	1,02 <sup>NS</sup>	7,44	0,25 <sup>NS</sup>	30,78	5,42*	7,25	3,24 <sup>NS</sup>	6,23	2,41 <sup>NS</sup>			
GXA	20	249,52	1,13 <sup>NS</sup>	9,32	0,31 <sup>NS</sup>	5,49	0,97 <sup>NS</sup>	2,37	1,06 <sup>NS</sup>	3,11	1,20 <sup>NS</sup>			
Error	41	220,21		30,20		5,68		2,24		2,58				
H <sup>2</sup>		91,00		98,00		94,00		90,00		92,00				

Tabla 2.8 Análisis de la Variancia combinado y test de Kruskal Wallis para los distintos caracteres de calidad industrial. ABH<sub>2</sub>O: absorción de agua medido en %, TC: tiempo de cocción medido en min, L\*: valor de luminancia o brillo de la muestra va desde el blanco al negro. a\*: zona de variación entre el rojo y el verde del espectro, b\*: zona de variación entre el amarillo y el azul del espectro, IC: índice de color. gl: grados de libertad, CM: cuadrados medios. F: prueba F de Snedecor, H: prueba de Kruskal Wallis, C: factor de corrección que InfoStat utiliza para actualizar el estadístico en casos de empates. H<sup>2</sup>: heredabilidad en sentido amplio, \*\*: variable no normal, no se calculó el valor de heredabilidad. \* $p < 0,05$ , \*\* $p < 0,01$ , \*\*\* $p < 0,001$ , NS: no significativo.

#### 5.2.1.2.2 Variables con efecto del ambiente

La tabla 2.9 muestra los valores promedio de L\* de los genotipos en el primer y tercer ambiente. Las variedades 16a, 23a, 27r, 31r, 32a, 42r, 45a, 47a, 54a, 55a, 57a, 58-13, 58a, 59a y 88a presentaron valores similares al testigo Silvina en al menos un ambiente. Por el contrario, los demás genotipos presentaron valores más bajos. Al analizar todas las variedades en conjunto, el tercer ambiente presentó valores inferiores a los del ambiente uno, así mismo las variedades con color de cotiledón naranja (r) presentaron valores de L\* inferiores que las amarillas (a) (Tabla 2.10).

Variedad	Ambiente	L*
8r	1	44,90 <sup>MNO</sup>
8r	3	42,54 <sup>O</sup>
16a	1	57,61 <sup>ABCD</sup>
16a	3	57,12 <sup>ABCDE</sup>
23a	1	59,56 <sup>AB</sup>
23a	3	55,77 <sup>ABCDEFGF</sup>
27r	1	54,02 <sup>BCDEFGHI</sup>
27r	3	51,98 <sup>DEFGHIJK</sup>

30r	1	46,85 <sup>KLMNO</sup>
30r	3	47,11 <sup>JKMN</sup>
31r	1	52,27 <sup>CDEFGHIJK</sup>
31r	3	52,80 <sup>CDEFGHIJ</sup>
32a	1	60,16 <sup>A</sup>
32a	3	54,90 <sup>ABCDEF</sup>
42a	1	56,33 <sup>ABCDEF</sup>
42a	3	54,55 <sup>ABCDEF</sup>
42r	1	44,60 <sup>NO</sup>
42r	3	44,94 <sup>MNO</sup>
Silvina	1	57,93 <sup>ABC</sup>
Silvina	3	56,70 <sup>ABCDEF</sup>
45a	1	54,72 <sup>ABCDEF</sup>
45a	3	54,96 <sup>ABCDEF</sup>
47a	1	51,40 <sup>DEFGHIJK</sup>
47a	3	52,35 <sup>CDEFGHIJK</sup>
54a	1	53,86 <sup>BCDEF</sup>
54a	3	45,69 <sup>LMNO</sup>
55a	1	56,35 <sup>ABCDEF</sup>
55a	3	53,89 <sup>BCDEF</sup>
57a	1	52,41 <sup>CDEFGHIJK</sup>
57a	3	50,37 <sup>FGHIJKM</sup>
58-13	1	54,10 <sup>BCDEF</sup>
58-13	3	53,95 <sup>BCDEF</sup>
58-19/3	1	48,27 <sup>IJKMN</sup>
58-19/3	3	49,58 <sup>HIJKMN</sup>
58-22/2	1	50,36 <sup>GHIJKM</sup>
58-22/2	3	51,16 <sup>EFGHIJKL</sup>
58a	1	55,98 <sup>ABCDEF</sup>
58a	3	54,86 <sup>ABCDEF</sup>
59a	1	53,36 <sup>CDEF</sup>
59a	3	54,70 <sup>ABCDEF</sup>
88a	1	55,64 <sup>ABCDEF</sup>
88a	3	55,30 <sup>ABCDEF</sup>

Tabla 2.9 Valor medio para cada variable cuantitativa en las 21 variedades de lenteja que mostraron efecto del tratamiento. L\*: valor de luminancia o brillo de la muestra va desde el blanco al negro. Medias con una letra común dentro de una columna no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ) de acuerdo al Test de Rangos Múltiples de Duncan.

Ambiente	L*	CC	L*
1	53,37 <sup>A</sup>	Amarillo	54,87 <sup>A</sup>
3	52,16 <sup>B</sup>	Naranja	49,34 <sup>B</sup>

Tabla 2.10 Valor medio para el carácter L\* en los ambientes 1 y 3 y valor medio de acuerdo al color de cotiledón. L\*: valor de luminancia o brillo de la muestra va desde el blanco al negro, CC: color de cotiledón. Medias con una letra común dentro de una columna no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ) de acuerdo al Test de Rangos Múltiples de Duncan.

### 5.2.1.2.3 Variables con efecto del genotipo

El Andeva mostró diferencias altamente significativas entre genotipos para los caracteres a\* y b\*, los valores de a\* variaron de 4,15 a 23,92% (indicando presencia de genotipos con color de tegumento rojo) y los valores de b\* variaron entre 7,29 a 19,14% (indicando presencia de genotipos con colores de tegumento amarillo). Del análisis se desprende que los genotipos 16a, 31r, 32a y 45a presentaron mayor capacidad de ABH<sub>2</sub>O que el testigo Silvina, siendo la variedad 45a la de mayor valor (158,00 contra 106,00%). Muchos genotipos presentaron TC menores que el testigo Silvina (52,50 min), destacándose los genotipos 15r, 39a, 45a, 56-2 y 88a (27,50 a 32,50 min) (Tabla 2.11).

Variedad	ABH <sub>2</sub> O	TC	a*	b*
8a	53,40 <sup>QR</sup>	47,50 <sup>FGH</sup>	19,81 <sup>B</sup>	18,02 <sup>ABC</sup>
8r	112,71 <sup>CDEF</sup>	42,50 <sup>GHI</sup>	14,52 <sup>EF</sup>	7,29 <sup>N</sup>
10r	62,80 <sup>OPQR</sup>	57,50 <sup>BCDEF</sup>	9,21 <sup>NOP</sup>	14,12 <sup>DEFGHIJK</sup>
15r	95,85 <sup>FGHIJK</sup>	27,50 <sup>L</sup>	23,92 <sup>A</sup>	15,95 <sup>ABCDEFGHIJK</sup>
16a	126,29 <sup>BC</sup>	67,50 <sup>AB</sup>	12,64 <sup>FGHIJ</sup>	16,63 <sup>ABCDEFG</sup>
16r	56,47 <sup>QR</sup>	70,00 <sup>A</sup>	10,92 <sup>JKLMNO</sup>	13,35 <sup>FGHIJKL</sup>
22a	71,70 <sup>MNOPQ</sup>	62,50 <sup>ABCD</sup>	7,18 <sup>Q</sup>	15,47 <sup>CDEFGHIJK</sup>
23a	116,24 <sup>CDE</sup>	50,00 <sup>EFGH</sup>	9,38 <sup>MNOP</sup>	16,70 <sup>ABCDEF</sup>
27r	75,75 <sup>LMNOP</sup>	70,00 <sup>A</sup>	9,01 <sup>O<sup>PQ</sup></sup>	19,01 <sup>AB</sup>
30a	90,35 <sup>FGHIJKLM</sup>	50,00 <sup>EFGH</sup>	10,06 <sup>LMNO</sup>	12,99 <sup>JKL</sup>
30r	81,76 <sup>HIJKLMNO</sup>	50,00 <sup>EFGH</sup>	11,14 <sup>JKLMN</sup>	17,49 <sup>ABCD</sup>
31r	142,75 <sup>AB</sup>	52,50 <sup>DEFG</sup>	12,31 <sup>GHIJK</sup>	12,54 <sup>KLM</sup>
32a	138,94 <sup>B</sup>	70,00 <sup>A</sup>	9,89 <sup>LMNO</sup>	14,35 <sup>DEFGHIJK</sup>
33a	110,30 <sup>CDEF</sup>	62,50 <sup>ABCD</sup>	13,46 <sup>FGHI</sup>	14,95 <sup>CDEFGHIJK</sup>
34r	77,08 <sup>JKLMNO</sup>	70,00 <sup>A</sup>	12,39 <sup>GHIJK</sup>	13,25 <sup>GHIJKL</sup>
39a	35,66 <sup>S</sup>	32,50 <sup>JKL</sup>	7,66 <sup>PQ</sup>	16,74 <sup>ABCDEF</sup>
42a	100,87 <sup>DEFGH</sup>	37,50 <sup>IJK</sup>	9,45 <sup>MNOP</sup>	16,92 <sup>ABCDE</sup>
42r	90,31 <sup>GHIJKLM</sup>	67,50 <sup>AB</sup>	14,56 <sup>EF</sup>	7,86 <sup>N</sup>
Silvina	105,65 <sup>DEFG</sup>	52,50 <sup>DEFG</sup>	9,38 <sup>MNOP</sup>	16,57 <sup>ABCDEFGH</sup>
44a	50,50 <sup>RS</sup>	42,50 <sup>GHI</sup>	4,15 <sup>R</sup>	16,24 <sup>ABCDEFGHIJK</sup>
45a	157,53 <sup>A</sup>	27,50 <sup>L</sup>	10,51 <sup>JKLMNO</sup>	13,52 <sup>FGHIJKL</sup>
47a	112,37 <sup>CDEF</sup>	60,00 <sup>ABCDE</sup>	11,78 <sup>HIJKL</sup>	14,38 <sup>DEFGHIJK</sup>
51a	81,38 <sup>HIJKLMNO</sup>	55,00 <sup>CDEF</sup>	11,35 <sup>JKLM</sup>	13,14 <sup>HIJKL</sup>
54a	97,21 <sup>FGHIJ</sup>	40,00 <sup>HIJ</sup>	13,78 <sup>FGH</sup>	14,72 <sup>CDEFGHIJK</sup>
55a	103,95 <sup>DEFG</sup>	55,00 <sup>CDEF</sup>	11,48 <sup>IJKLM</sup>	12,61 <sup>KLM</sup>
56-2	77,49 <sup>JKLMNO</sup>	32,50 <sup>JKL</sup>	18,21 <sup>BC</sup>	19,14 <sup>A</sup>

56a	83,80 <sup>HIJKLMN</sup>	52,50 <sup>DEFG</sup>	7,45 <sup>PG</sup>	16,46 <sup>ABCDEFGHI</sup>
57-5/6	65,00 <sup>NOPQR</sup>	67,50 <sup>AB</sup>	18,75 <sup>BC</sup>	12,92 <sup>JKL</sup>
57a	94,91 <sup>FGHIJKL</sup>	57,50 <sup>BCDEF</sup>	13,97 <sup>EF</sup>	14,83 <sup>CDEFGHIJK</sup>
58-13	107,71 <sup>CDEFG</sup>	42,50 <sup>GHI</sup>	10,49 <sup>KLMNO</sup>	14,11 <sup>DEFGHIJK</sup>
58-19/3	97,96 <sup>EFGHI</sup>	47,50 <sup>FGH</sup>	14,15 <sup>EF</sup>	9,76 <sup>MN</sup>
58-22/2	118,52 <sup>CD</sup>	65,00 <sup>ABC</sup>	11,76 <sup>HIJKL</sup>	10,21 <sup>MLN</sup>
58-25/16	80,74 <sup>IJKLMNO</sup>	57,50 <sup>BCDEF</sup>	14,27 <sup>EFG</sup>	9,66 <sup>MN</sup>
58-25/20	72,25 <sup>MNOPQ</sup>	62,50 <sup>ABCD</sup>	15,83 <sup>DE</sup>	15,68 <sup>BCDEFGHIJK</sup>
58-7/9	57,77 <sup>PQR</sup>	40,00 <sup>HIJ</sup>	17,17 <sup>CD</sup>	13,11 <sup>IJKL</sup>
58a	96,97 <sup>EFGHIJ</sup>	70,00 <sup>A</sup>	10,82 <sup>JKLMNO</sup>	13,59 <sup>EFGHIJKL</sup>
59a	100,12 <sup>DEFGHI</sup>	47,50 <sup>FGH</sup>	11,10 <sup>JKLMNO</sup>	13,58 <sup>EFGHIJKL</sup>
63a	77,74 <sup>IJKLMNO</sup>	62,50 <sup>ABCD</sup>	11,74 <sup>HIJKL</sup>	13,72 <sup>EFGHIJK</sup>
88a	76,18 <sup>KLMNOP</sup>	30,00 <sup>KL</sup>	10,01 <sup>LMNO</sup>	13,19 <sup>GHIJKL</sup>
144a	93,94 <sup>FGHIJKL</sup>	57,50 <sup>BCDEF</sup>	10,96 <sup>JKLMNO</sup>	17,30 <sup>ABCD</sup>

Tabla 2.11 Valor medio para cada variable cuantitativa en las 40 variedades de lenteja que mostraron efecto del genotipo. a\*: zona de variación entre el rojo y el verde del espectro, b\*: zona de variación entre el amarillo y el azul del espectro, ABH<sub>2</sub>O: absorción de agua (%), TC: tiempo de cocción (min). Medias con una letra común dentro de una columna no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ) de acuerdo al Test de Rangos Múltiples de Duncan.

#### 5.2.1.2.4 Análisis del potencial de almacenamiento y retención del color seminal

El Andeva realizado para la primera fecha de siembra no mostró diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) para los parámetros a\* e IC entre los ambientes evaluados (Tabla 2.12), por lo que el ensayo de envejecimiento acelerado se decidió realizar eligiendo dentro del total de las 40 variedades, las que presentaron valores de a\* e IC inferiores a Silvina (ocho variedades).

Ambiente	IC	a*
1	12,82 <sup>A</sup>	10,49 <sup>A</sup>
3	16,37 <sup>A</sup>	10,62 <sup>A</sup>

Tabla 2.12 Valor medio para los caracteres a\* e IC en los ambientes uno y tres. a\*: zona de variación entre el rojo y el verde del espectro, IC: índice de color. Medias con una letra común dentro de una columna no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ) de acuerdo al Test de Rangos Múltiples de Duncan.

El Andeva mostró diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las ocho variedades para el parámetro a\* antes y después del envejecimiento, contrario al parámetro IC que no presentó efecto significativo ni antes ni después del envejecimiento.

Pre-tratamiento 0h					
		a*		IC	
	gl	CM	F	CM	F
Genotipo	7	6,52	3,88*	6,44	0,91 <sup>NS</sup>
Error	8	1,68		7,07	
Pos-tratamiento 72h					
		a*		IC	
	gl	CM	F	CM	F
Genotipo	7	9,03	5,48**	11,66	1,39 <sup>NS</sup>
Error	8	1,65		8,40	

Tabla 2.13 Andeva para el ensayo de envejecimiento acelerado a las 0 h (pre-tratamiento) y a las 72 h (pos-tratamiento). a\*: zona de variación entre el rojo y el verde del espectro, IC: índice de color. gl: grados de libertad. CM: cuadrados medios. F: prueba F de Snedecor. \*p<0,05, \*\*p<0,01, \*\*\*p<0,001, NS: no significativo.

#### 5.2.1.2.4.1 Análisis del diagrama de dispersión.

El diagrama de dispersión permitió una clara discriminación de las semillas de lenteja a las 0 y 72 h. Antes del envejecimiento (0 h) las semillas se dividieron en tres grupos; dos grupos de variedades con color de tegumento más claro que el testigo Silvina, y otro grupo con color de tegumento similar al testigo (Figura 2.3). El grupo más claro fue constituido por la variedad 44a que presentó los valores más bajos de a\* e IC (4,15 y 4,76, respectivamente), el siguiente grupo claro reunió las variedades 22a, 39a y 56a presentando valores de a\* e IC intermedios (Tabla 2.14) y finalmente el grupo que reunió a las demás variedades incluyendo al testigo Silvina presentaron los valores más altos de a\* e IC (Tabla 2.14). Luego de las 72 h de envejecimiento, la variedad 44a continuó siendo la variedad más clara a pesar de haber oscurecido un 23,41% permaneció siendo la más clara de todas las variedades, seguida por la variedad 39a, la cual tuvo un incremento en el IC muy bajo ( $\Delta IC = 6,54\%$ ) lo que estaría indicando su alta capacidad de retención del color seminal original. Además, estas variedades no mostraron una disminución significativa en el PG luego del envejecimiento inducido (Tabla 2.14). Las variedades 22a y 56a presentaron los valores más elevados de  $\Delta IC$  (37,71 y 67,73%, respectivamente) indicando oscurecimiento del tegumento, por lo cual pasaron a formar parte del grupo de las variedades más oscuras (Tabla 2.14 y Figura 2.3). Las variedades 22a, 23a, 56a y Silvina presentaron una fuerte disminución en el PG a las 72 h del ensayo lo que equivaldría a tres-cuatro años de envejecimiento en condiciones naturales de almacenamiento (Tabla 2.14 y Figura 1 del Anexo).

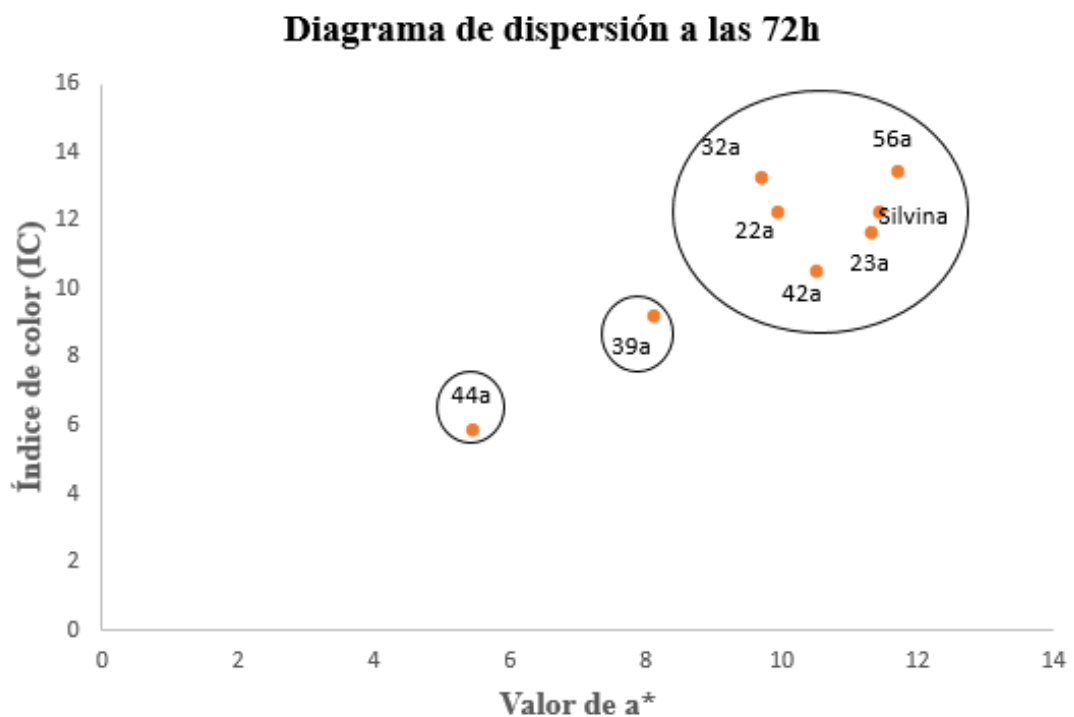
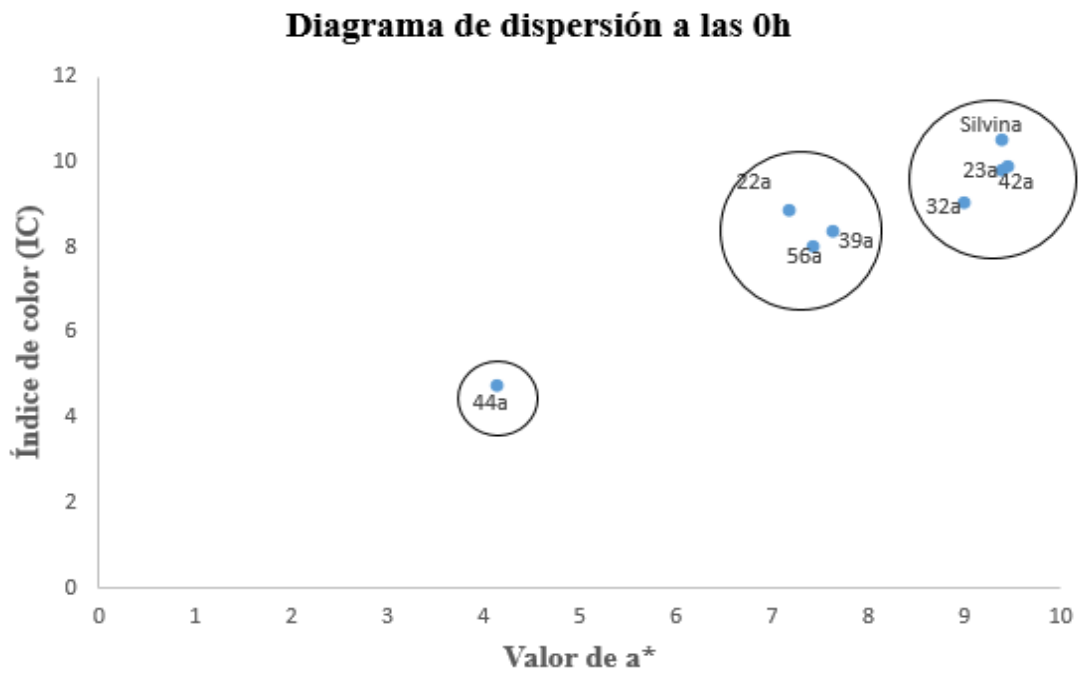


Figura 2.3 Diagrama de dispersión resultante de los valores de  $a^*$  e IC obtenidos de las variedades de lenteja más claras que el testigo Silvina antes y después del envejecimiento acelerado (0 a 72 h).

Variedad	a*0h	a*72h	IC0h	IC72h	$\Delta$ IC	PG0h	PG72h
22a	7,18 <sup>A</sup>	9,94 <sup>AB</sup>	8,89 <sup>A</sup>	12,24 <sup>AB</sup>	37,71 <sup>B</sup>	87,00	20,00
23a	9,38 <sup>A</sup>	11,31 <sup>A</sup>	9,86 <sup>A</sup>	11,66 <sup>AB</sup>	18,18 <sup>C</sup>	93,00	47,00
32a	9,00 <sup>A</sup>	10,49 <sup>AB</sup>	9,09 <sup>A</sup>	9,69 <sup>AB</sup>	6,45 <sup>D</sup>	98,00	90,00
39a	7,66 <sup>A</sup>	8,11 <sup>BC</sup>	8,40 <sup>A</sup>	8,95 <sup>AB</sup>	6,54 <sup>D</sup>	87,00	83,00
42a	9,45 <sup>A</sup>	10,51 <sup>AB</sup>	9,90 <sup>A</sup>	10,61 <sup>AB</sup>	7,18 <sup>D</sup>	90,00	84,00
44a	4,15 <sup>B</sup>	5,43 <sup>C</sup>	4,76 <sup>A</sup>	5,88 <sup>B</sup>	23,41 <sup>C</sup>	97,00	90,00
56a	7,45 <sup>A</sup>	11,72 <sup>A</sup>	8,04 <sup>A</sup>	13,48 <sup>A</sup>	67,73 <sup>A</sup>	90,00	40,00
Silvina	9,38 <sup>A</sup>	11,46 <sup>A</sup>	10,58 <sup>A</sup>	12,29 <sup>AB</sup>	18,68 <sup>C</sup>	94,00	52,00

Tabla 2.14 Valores medios obtenidos para los valores de a\*, IC y porcentaje de germinación (PG) antes (0 h) y después del envejecimiento (72 h). a\*: zona de variación entre el rojo y el verde del espectro, IC: índice de color.  $\Delta$ IC: cambio en el índice de color. Medias con una letra común dentro de una columna no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ) de acuerdo al Test de Rangos Múltiples de Duncan.

#### 5.2.1.2.5 Análisis de componentes principales

El ACP demostró que dos CP explican el 74,00% de la variación total observada entre las variedades (Tabla 2.15). La CP1 explicó el 55,00% de la variación (Tabla 2.15) y fue caracterizada principalmente por las variables L\*, a\*, b\* e IC (Tabla 2.16). La CP2 explicó el 19,00% de la variación (Tabla 2.16) y estuvo fuertemente correlacionada con la variable ABH<sub>20</sub> (Tabla 2.16).

N°	Autovalor	Variancia	Variabilidad acumulada
<b>1</b>	3,29	<b>55</b>	55
<b>2</b>	1,16	<b>19</b>	<b>74</b>
3	1,01	17	91
4	0,37	6	97
5	0,13	2	99
6	0,03	1	100

Tabla 2.15 Autovalores, porcentaje de variancia que explica cada uno y porcentaje de variabilidad acumulada para los caracteres industriales.

Variablen	CP1	CP2
TC	-0,01	<b>-0,06</b>
L*	<b>-0,49</b>	0,25
a*	<b>0,51</b>	-0,05
b*	<b>-0,44</b>	-0,38
IC	<b>0,54</b>	0,08
ABH <sub>2</sub> O	-0,07	<b>0,88</b>

Tabla 2.16 Autovectores asociados a los dos primeros autovalores. Participación de las variables originales en las dos primeras CP (CP1 y CP2). TC: tiempo de cocción, L\*: valor de luminancia o brillo de la muestra va desde el blanco al negro. a\*: zona de variación entre el rojo y el verde del espectro, b\*: zona de variación entre el amarillo y el azul del espectro, IC: índice de color, ABH<sub>2</sub>O: absorción de Agua.

La Figura 2.4 muestra la distribución de las variedades en cuatro grupos distintos. El primer grupo se distingue por tener variedades con color de tegumento claro (valores de a\* e IC bajos), alta capacidad de ABH<sub>2</sub>O y bajos TC, mientras que el segundo grupo presenta variedades con color de tegumento más oscuro (altos valores de a\* e IC) formado principalmente por variedades microspermas. El tercer grupo presenta bajos valores de ABH<sub>2</sub>O y semillas con color de tegumento claro, finalmente, el grupo cuatro contiene variedades con color de tegumento oscuro y muy baja capacidad de ABH<sub>2</sub>O. Los grupos uno y tres están constituidos principalmente por variedades de la subespecie macrosperma.

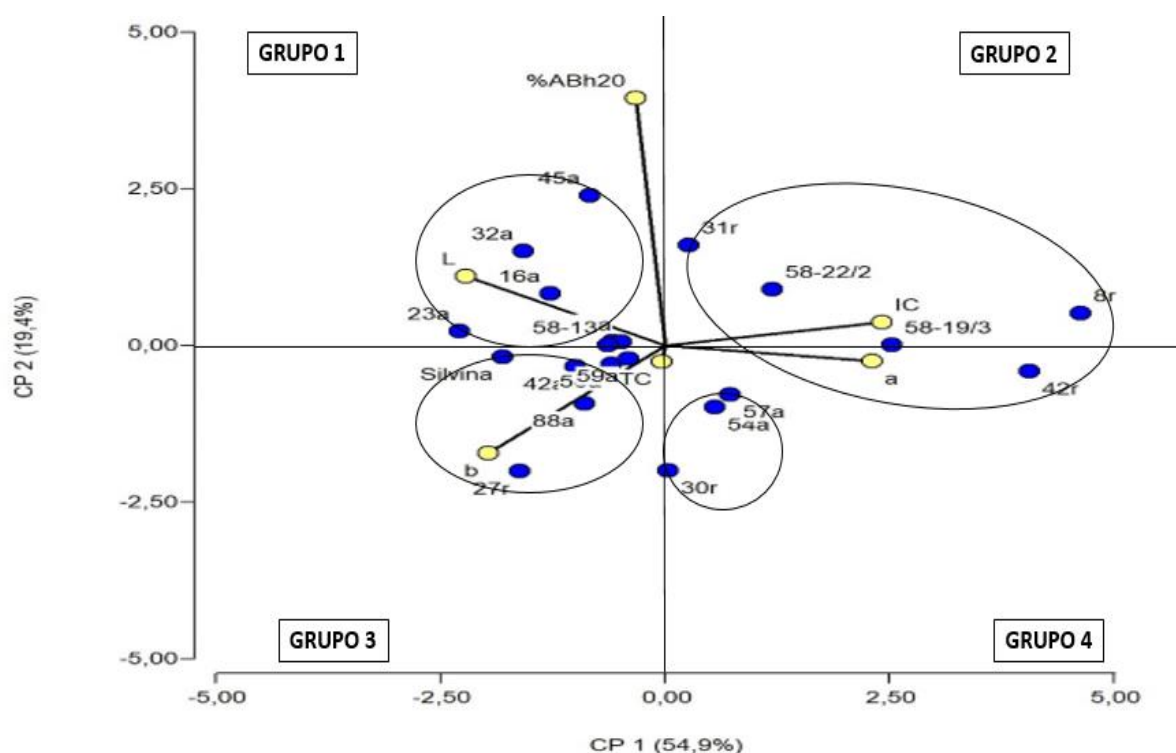


Figura 2.4 ACP para caracteres industriales: Distribución de las 21 variedades de lenteja en función de CP1 y CP2. Los puntos azules representan las variedades y los vectores las variables. TC: tiempo de cocción, L\*: valor de luminancia o brillo de la muestra va desde el blanco al negro. a\*: zona de variación entre el rojo y el verde del espectro, b\*: zona de variación entre el amarillo y el azul del espectro, IC: índice de color, ABH<sub>2</sub>0: absorción de agua.

### 5.2.1.3 Caracteres nutricionales

#### 5.2.1.3.1 Análisis de la variancia

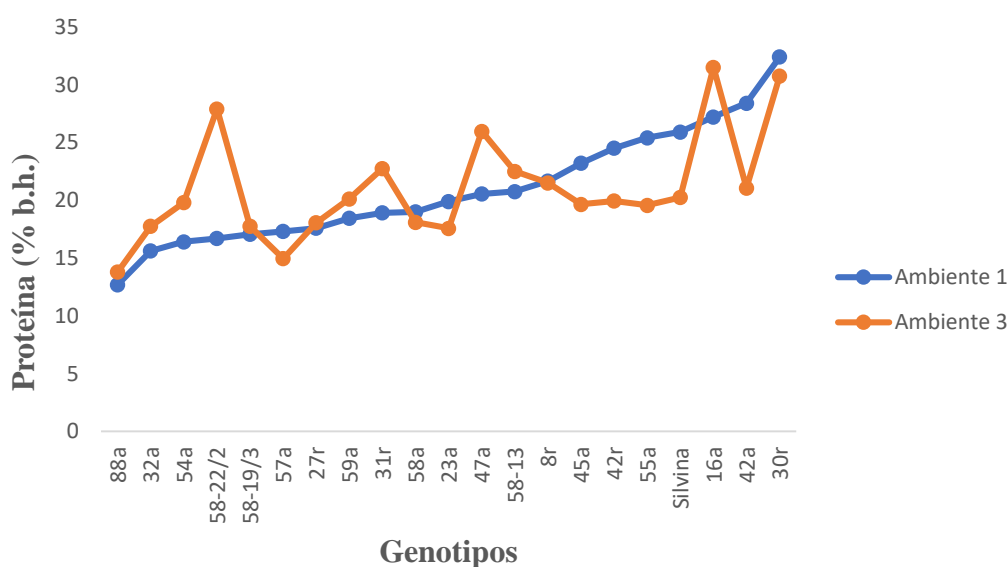
Para cada variable nutricional se comprobó la normalidad por el test de Shapiro-Wilk y se realizaron Andeva. La Tabla 2.17 muestra el efecto altamente significativo ( $p < 0,001$ ) para la interacción GxA para todos los caracteres, excepto para el carácter T que no tuvo efecto de la interacción ( $p > 0,05$ ). Esta variable presentó efecto del genotipo ( $p < 0,001$ ) y fue el único carácter con un valor de heredabilidad en sentido amplio mayor a 90,00%.

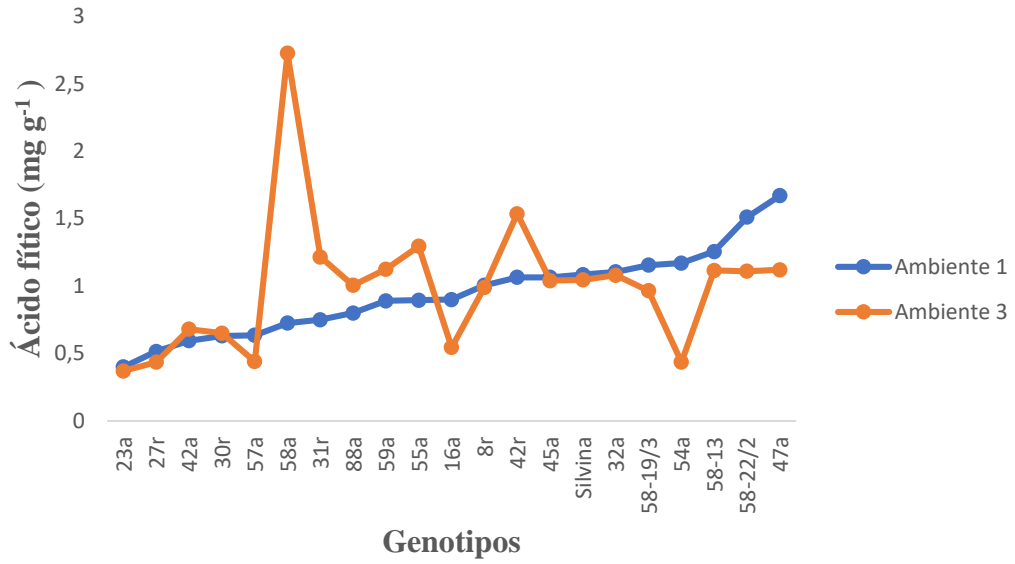
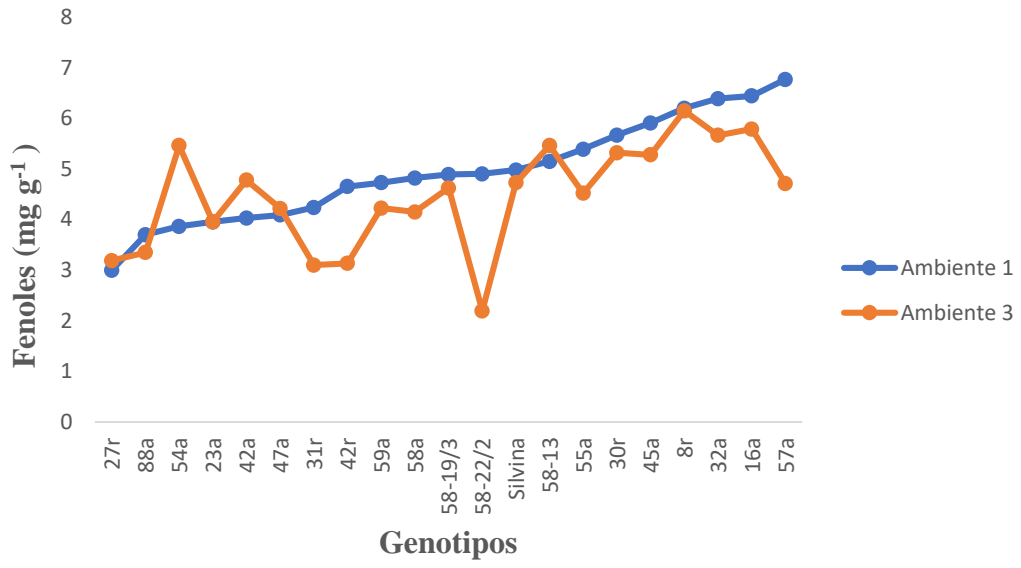
		P		F		T		AF		Leg/Vic	
gl		CM	F	CM	F	CM	F	CM	F	CM	F
Genotipo	20	71,81	18,45 <sup>***</sup>	3,39	17,60 <sup>***</sup>	28,44	22,92 <sup>***</sup>	0,43	5,56 <sup>***</sup>	0,24	7,95 <sup>***</sup>
Ambiente	1	0,12	0,03 <sup>NS</sup>	4,53	23,52 <sup>***</sup>	0,95	0,76 <sup>NS</sup>	0,06	0,74 <sup>NS</sup>	0,05	1,55 <sup>NS</sup>
GXA	20	18,98	4,88 <sup>***</sup>	0,86	4,44 <sup>***</sup>	1,96	1,58 <sup>NS</sup>	0,29	3,77 <sup>***</sup>	0,2	6,67 <sup>***</sup>
Error	41	3,89		0,19		1,24		0,08		0,03	
H <sup>2</sup>		59,00		89,00		92,00		69,00		78,00	

Tabla 2.17 Análisis de la Variancia combinado para los distintos caracteres de calidad nutricional. P: contenido de proteína (% b.h: base húmeda), F: contenido de fenoles ( $\text{mg g}^{-1}$ ). T: contenido de taninos ( $\text{mg g}^{-1}$ ), AF: contenido de ácido fítico ( $\text{mg g}^{-1}$ ), Leg/Vic: relación legumina-vicilina. gl: grados de libertad. CM: cuadrados medios. F: prueba F de Snedecor,  $H^2$ : heredabilidad en sentido amplio. \* $p < 0,05$ , \*\* $p < 0,01$ , \*\*\* $p < 0,001$ , NS: no significativo.

### 5.2.1.3.2 Análisis de la interacción Genotipo-Ambiente

En la Figura 2.5 se puede observar los diferentes valores del contenido de P, F, AF y la relación Leg/Vic de las semillas en los dos ambientes distintos, pudiéndose observar que el ambiente en algunas variedades no tuvo efecto, mientras que para otras variedades de lenteja los valores aumentaron o disminuyeron ante el agregado del inoculante. El contenido de nutrientes de la semilla osciló entre 14,00% y 32,00% para P, 2,19 a 6,77  $\text{mg g}^{-1}$ , para F, 0,37 a 2,72  $\text{mg g}^{-1}$  para AF y entre 0,78 a 2,13 para la proporción de Leg/Vic entre las variedades de lenteja.





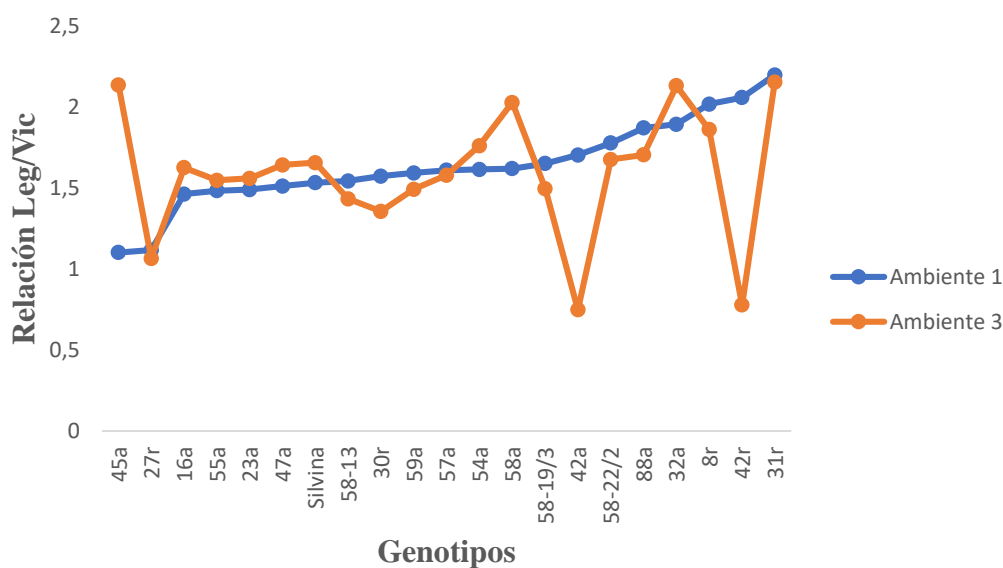


Figura 2.5 Interacción genotipo por ambiente para caracteres nutricionales en el primer y tercer ambiente: primer ambiente: primera fecha de siembra sin inoculante, tercer ambiente: primera fecha de siembra con inoculante. P: contenido de proteína (%), b.h: base húmeda, F: contenido de fenoles ( $\text{mg g}^{-1}$ ), T: contenido de taninos ( $\text{mg g}^{-1}$ ), AF: contenido de ácido fítico ( $\text{mg g}^{-1}$ ), Leg/Vic: relación legumina-vicilina.

### 5.2.1.3.3 Variables con efecto del genotipo

Dado que el carácter T no presentó interacción GxA ni efecto del ambiente se analizaron los 40 genotipos por una prueba de comparación de valores promedios de Duncan sin considerar el efecto del ambiente. La tabla 2.18 muestra que las variedades 23a, 39a y 44a se destacaron por tener el menor contenido de T incluso por debajo del testigo Silvina (4,05, 2,05, 4,05 contra 7,45  $\text{mg g}^{-1}$ , respectivamente.)

El análisis de contenido de Fe se realizó en el Laboratorio de Química Analítica de la Universidad Nacional del Litoral, se presentaron dificultades para enviar todas las muestras, por lo que se priorizó la evaluación en el primer ambiente, con el fin de analizar el mayor número de variedades posibles, las cuales fueron 35 muestras.

El andeva mostró diferencias altamente significativas ( $p < 0,0001$ ) para todas las variedades evaluadas, lo que evidencia una alta variabilidad genética entre variedades en este parámetro.

La Tabla 2.18 muestra las variedades que se destacaron por tener un contenido de Fe superior a 117  $\text{mg kg}^{-1}$  (8a, 8r, 32a y 51a) y valores superiores al testigo Silvina (53,81  $\text{mg kg}^{-1}$ ).

Variedad	T	Fe
8a	10,95 <sup>BCD</sup>	117,49 <sup>D</sup>
8r	10,85 <sup>BCD</sup>	117,71 <sup>C</sup>
10r	6,25 <sup>GHIJKL</sup>	53,65 <sup>Y</sup>
15r	7,90 <sup>EFGH</sup>	65,59 <sup>N</sup>
16a	6,20 <sup>GHIJKLM</sup>	55,90 <sup>S</sup>
16r	4,60 <sup>KLMN</sup>	S/D
22a	10,35 <sup>CD</sup>	S/D
23a	4,05 <sup>N</sup>	39,1 <sup>li</sup>
27r	6,20 <sup>GHIJKLM</sup>	S/D
30a	6,00 <sup>IJKLM</sup>	50,52 <sup>e</sup>
30r	6,20 <sup>GHIJKLM</sup>	84,93 <sup>H</sup>
31r	4,70 <sup>KLMN</sup>	68,08 <sup>L</sup>
32a	10,95 <sup>BCD</sup>	119,81 <sup>B</sup>
33a	11,50 <sup>BC</sup>	59,56 <sup>Q</sup>
34r	5,80 <sup>IJKLMN</sup>	S/D
39a	2,05 <sup>O</sup>	52,87 <sup>a</sup>
42a	6,20 <sup>GHIJKLM</sup>	51,40 <sup>c</sup>
42r	4,45 <sup>LMN</sup>	111,18 <sup>F</sup>
Silvina	7,45 <sup>FGHI</sup>	53,81 <sup>X</sup>
44a	4,05 <sup>N</sup>	48,50 <sup>f</sup>
45a	8,30 <sup>EF</sup>	52,25 <sup>b</sup>
47a	5,26 <sup>IJKLMN</sup>	53,22 <sup>Z</sup>
51a	6,85 <sup>FGHIJ</sup>	120,50 <sup>A</sup>
54a	5,45 <sup>IJKLMN</sup>	65,31 <sup>O</sup>
55a	6,35 <sup>GHIJK</sup>	112,76 <sup>E</sup>
56-2	6,20 <sup>GHIJKLM</sup>	59,31 <sup>R</sup>
56a	4,70 <sup>KLMN</sup>	62,00 <sup>P</sup>
57-5/6	9,30 <sup>DE</sup>	55,13 <sup>U</sup>
57a	12,20 <sup>B</sup>	39,95 <sup>h</sup>
58-13	15,80 <sup>A</sup>	38,66 <sup>j</sup>
58-19/3	6,40 <sup>GHIJK</sup>	70,21 <sup>K</sup>
58-22/2	10,35 <sup>CD</sup>	55,59 <sup>T</sup>
58-25/16	6,10 <sup>HJKLM</sup>	83,12 <sup>I</sup>
58-25/20	6,35 <sup>GHIJK</sup>	S/D
58-7/9	7,10 <sup>FGHIJ</sup>	81,61 <sup>J</sup>
58a	4,35 <sup>MN</sup>	65,67 <sup>M</sup>
59a	7,05 <sup>FGHIJ</sup>	53,96 <sup>W</sup>
63a	5,65 <sup>IJKLMN</sup>	101,45 <sup>G</sup>
88a	6,30 <sup>GHIJKL</sup>	43,17 <sup>g</sup>
144a	7,98 <sup>EFG</sup>	50,82 <sup>d</sup>

Tabla 2.18 Valor medio para el carácter T en 40 variedades de lenteja que mostraron efecto del genotipo y valor medio para el carácter Fe en 35 variedades de lenteja. T: taninos (mg g<sup>-1</sup>), Fe: hierro (mg kg<sup>-1</sup>), S/D: sin datos. Medias con una letra común dentro de una columna no

son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ) de acuerdo al Test de Rangos Múltiples de Duncan.

#### 5.2.1.3.4 Análisis de componentes principales

El ACP demostró que dos CP explican el 62,00% de la variación total observada entre las variedades (Tabla 2.19). La CP1 explicó el 33,00% de la variación (Tabla 2.19) y fue caracterizada principalmente por las variables F y T (Tabla 2.20). La CP2 explicó el 29,00% de la variación (Tabla 2.19) y estuvo fuertemente correlacionada con las variables P, AF y la relación Leg/Vic (Tabla 2.20).

Nº	Autovalor	Variancia	Variabilidad acumulada
<b>1</b>	1,66	<b>33</b>	33
<b>2</b>	1,46	<b>29</b>	<b>62</b>
3	1,00	20	82
4	0,63	13	95
5	0,25	0,5	100

Tabla 2.19 Autovalores, porcentaje de variancia que explica cada uno y porcentaje de variabilidad acumulada para los caracteres nutricionales.

Variables	CP1	CP2
P	-0,03	<b>0,57</b>
F	<b>0,59</b>	0,44
T	<b>0,59</b>	0,20
AF	0,29	<b>-0,47</b>
Leg/Vic	0,47	<b>-0,48</b>

Tabla 2.20 Autovectores asociados a los dos primeros autovalores. Participación de las variables originales en las dos primeras CP (CP1 y CP2). P: contenido de proteína (%), b.h: base húmeda), F: contenido de fenoles ( $\text{mg g}^{-1}$ ), T: contenido de taninos ( $\text{mg g}^{-1}$ ), AF: contenido de ácido fítico ( $\text{mg g}^{-1}$ ), Leg/Vic: relación legumina-vicilina.

La Figura 2.6 muestra los diferentes grupos en los que se agruparon las variedades. El primer grupo se caracterizó por presentar altos contenidos de P y bajo contenido de antinutrientes (AF y T) y F, el segundo grupo se destacó principalmente por presentar el mayor contenido de P además de bajo contenido de AF y la menor relación de Leg/Vic, el tercer grupo presentó el menor contenido de P, bajo contenido de F y T y mayor contenido de AF y finalmente el cuarto grupo presentó un alto contenido de P, F y T y bajo AF.

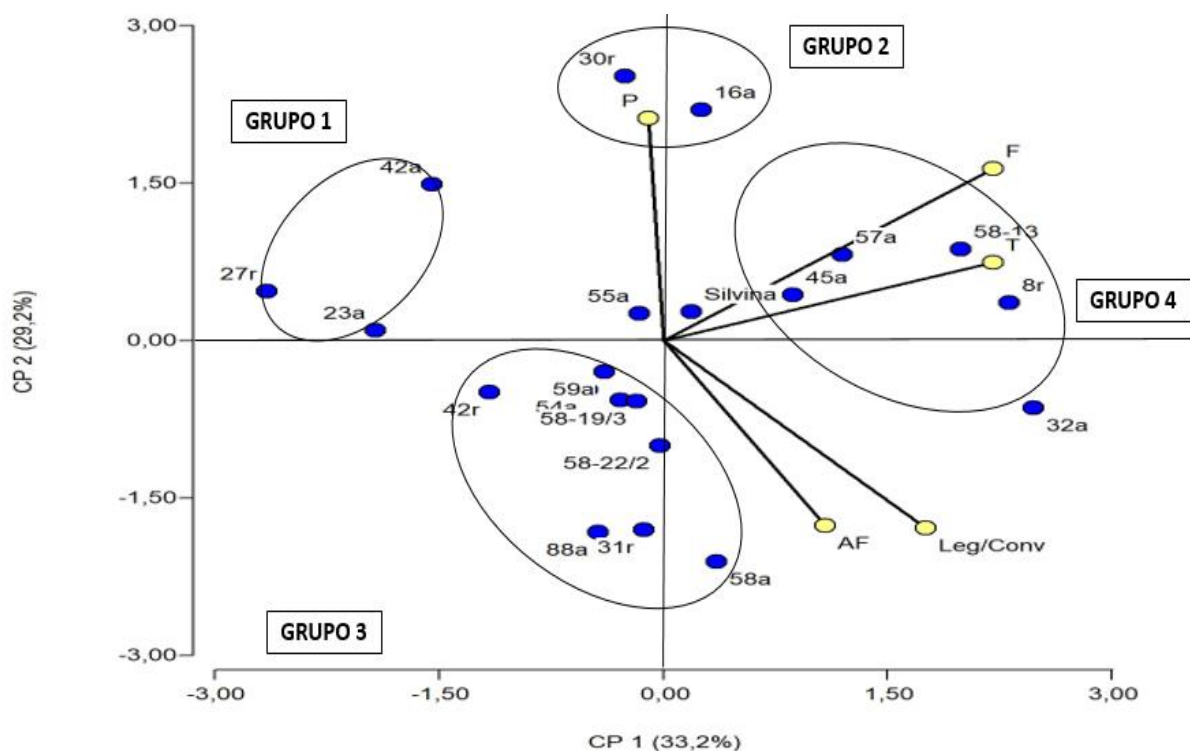


Figura 2.6 ACP para caracteres nutricionales: Distribución de las 21 variedades de lenteja en función de CP1 y CP2. P: contenido de proteína (% b.h: base húmeda), F: contenido de fenoles ( $\text{mg g}^{-1}$ ), T: contenido de taninos ( $\text{mg g}^{-1}$ ), AF: contenido de ácido fítico ( $\text{mg g}^{-1}$ ), Leg/Vic: relación legumina-vicilina. Los puntos azules representan las variedades y los vectores las variables.

## 5.2.2 Análisis de datos de los cuatro ambientes

De las 40 variedades de lenteja evaluadas en este estudio, siete tuvieron la capacidad de crecer en los cuatro ambientes, todos pertenecientes a la subespecie macrosperma. Gracias a esto se pudieron identificar variedades con alta estabilidad, buenos rendimientos y con capacidad de adaptación a fechas de siembra tardía.

### 5.2.2.1 Análisis de la variancia

Para cada variable se comprobó la normalidad por el test de Shapiro-Wilk y se realizó el Andeva. La Tabla 3.1 muestra una interacción GxA altamente significativa ( $p < 0,001$ ) para los caracteres P y AF y moderado ( $p < 0,01$ ) para los caracteres P<sub>100</sub>, RP, T, Leg/Vic y a\*, mientras que entre ambientes los caracteres NVP y NSP mostraron un efecto altamente significativo, moderado para el carácter C y leve para b\*, los caracteres AP, NSV, F, ABH<sub>2</sub>O,

TC y L\* mostraron diferencias altamente significativas entre variedades. El carácter IC no presentó efecto significativo para la interacción GxA, entre ambientes y genotipos.

	DF**			AP		NVP		NSV	
	gl	H	gl	CM	F	CM	F	CM	F
Genotipo	55	53,52 <sup>NS</sup>	6	22,12	12,86 <sup>***</sup>	159,66	3,21 <sup>NS</sup>	0,03	9,72 <sup>***</sup>
Ambiente			3	1,24	0,72 <sup>NS</sup>	532,52	10,69 <sup>***</sup>	0,01	4,73 <sup>NS</sup>
GXA			18	6,24	3,63 <sup>NS</sup>	140,62	2,82 <sup>NS</sup>	0,01	4,67 <sup>NS</sup>
Error			27	1,72		49,81		2,80E-03	
H <sup>2</sup>			86,00		67,00		84,00		
	NSP		C		P <sub>100</sub>		RP		
	gl	CM	F	CM	F	CM	F	CM	F
Genotipo	6	290,8	3,75 <sup>NS</sup>	0,37	5,02 <sup>***</sup>	0,5	6,61 <sup>***</sup>	67,41	4,81 <sup>***</sup>
Ambiente	3	762,49	9,84 <sup>***</sup>	0,3	4,03 <sup>**</sup>	0,78	10,20 <sup>***</sup>	160,03	11,43 <sup>***</sup>
GXA	18	200,1	2,58 <sup>NS</sup>	0,12	1,56 <sup>NS</sup>	0,17	2,30 <sup>**</sup>	42,39	3,03 <sup>**</sup>
Error	27	77,52		0,07		0,08		14,01	
H <sup>2</sup>	71,00		83,00		83,00		58,00		
	P		F		T		AF		
	gl	CM	F	CM	F	CM	F	CM	F
Genotipo	6	74,77	28,19 <sup>***</sup>	3,16	11,93 <sup>***</sup>	17,05	14,25 <sup>***</sup>	1,93	22,36 <sup>***</sup>
Ambiente	3	95,13	35,87 <sup>***</sup>	1,13	4,26 <sup>NS</sup>	4,24	3,55 <sup>**</sup>	0,35	4,11 <sup>**</sup>
GXA	18	22,33	8,42 <sup>***</sup>	0,73	2,76 <sup>NS</sup>	2,56	2,14 <sup>**</sup>	0,57	6,62 <sup>***</sup>
Error	27	2,65		0,27		1,2		0,09	
H <sup>2</sup>	86,00		88,00		91,00		86,00		
	Leg/Vic		ABH <sub>2</sub> O		TC		L*		
	gl	CM	F	CM	F	CM	F	CM	F
Genotipo	6	0,39	13,99 <sup>***</sup>	0,02	5,90 <sup>***</sup>	908,18	30,20 <sup>***</sup>	33,23	12,10 <sup>***</sup>
Ambiente	3	0,07	2,35 <sup>*</sup>	1,20E-03	0,30 <sup>NS</sup>	38,54	1,28 <sup>NS</sup>	3,6	1,31 <sup>NS</sup>
GXA	18	0,08	2,79 <sup>**</sup>	1,90E-03	0,46 <sup>NS</sup>	7,99	0,27 <sup>NS</sup>	1,4	0,51 <sup>NS</sup>
Error	27	0,03		4,00E-03		30,08		2,75	
H <sup>2</sup>	89,00		91,00		98,00		96,00		
	a*		b*		IC				
	gl	CM	F	CM	F	CM	F		
Genotipo	6	9,89	12,66 <sup>***</sup>	6,41	2,47 <sup>*</sup>	39,61	11,93 <sup>NS</sup>		
Ambiente	3	0,54	0,69 <sup>NS</sup>	7,24	2,79 <sup>*</sup>	13,1	3,95 <sup>NS</sup>		
GXA	18	2,33	2,98 <sup>**</sup>	1,92	0,74 <sup>NS</sup>	5,89	1,78 <sup>NS</sup>		
Error	27	0,78		2,59		3,32			
H <sup>2</sup>	88,00		80,00		75,00				

Tabla 3.1 Análisis de la variancia combinado para los distintos caracteres evaluados. DF: días a floración, AP: altura de planta expresada en cm, NVP: número de vainas por planta, NSV: número de semillas por vaina, NSP: número de semillas por planta, C: calibre del grano expresado en mm, P<sub>100</sub>: peso de 100 granos expresado en g, RP: rendimiento por planta expresado en g/planta, P: contenido de proteína (%), b.h: base húmeda, F: contenido de fenoles (mg g<sup>-1</sup>), T: contenido de taninos (mg g<sup>-1</sup>), AF: contenido de ácido fítico (mg g<sup>-1</sup>),

Leg/Vic: relación legumina-vicilina, ABH<sub>2</sub>O: absorción de agua medido en %, TC: tiempo de cocción medido en min, L\*: valor de luminancia o brillo de la muestra va desde el blanco al negro. a\*: zona de variación entre el rojo y el verde del espectro, b\*: zona de variación entre el amarillo y el azul del espectro, IC: índice de color, gl: grados de libertad. CM: cuadrados medios. F: prueba F de Snedecor, H: prueba de Kruskal Wallis, H<sup>2</sup>: heredabilidad en sentido amplio, \*\*: variable no normal, no se calculó el valor de heredabilidad. \*p<0,05, \*\*p<0,01, \*\*\*p<0,001, NS: no significativo.

#### **5.2.2.2 Análisis de la interacción genotipo-ambiente por GGE biplot**

El análisis de la interacción GxA se realizó para los dos caracteres de mayor relevancia para el productor (RP) y para el consumidor (P). Es importante remarcar que la suma de las dos primeras CP, que fueron empleadas en la construcción del GGE biplot, explicaron el 98,00% de la variación de la interacción GGE tanto para RP como para contenido de P. Como se observa en la Figura 3.1 para RP se pudo identificar la presencia de dos mega-ambientes (conjunto de ambientes donde los genotipos se desempeñan con un comportamiento relativo similar), agrupándose por fecha de siembra quedando en un mega-ambiente el primer y tercer ambiente (primera fecha de siembra), y en otro mega-ambiente el segundo y cuarto ambiente (segunda fecha de siembra). Para P (Figura 3.2) todos los ambientes quedaron en diferentes cuadrantes lo que sugiere que la componente de interacción GxA fue mayor que la componente G, indicando la presencia de cuatro mega-ambientes diferentes. Para RP las variedades 57a y 16a fueron las que presentaron comportamientos más extremos situándose en vértices opuestos del polígono (Figura 3.1). La variedad 57a presentó mejores rendimientos promedios en fechas de siembra tardías (ambiente dos y cuatro), y también presentó alto contenido de P en el ambiente cuatro (Figura 3.2), mientras que, la variedad 16a mostró mejor RP promedio en las primeras fechas de siembra (ambiente uno y tres) y además presentó el mayor contenido de P en el ambiente tres (Figuras 3.1 y 3.2). Las variedades 58a y 59a presentaron un comportamiento estable en cuanto a rendimiento ya que se situaron cercanas al origen del biplot (CP1 y CP2 cercanos a cero; Figura 3.1) y se destacaron por presentar los mayores P en fechas tardías de siembra (situadas en los vértices del polígono en los ambientes cuatro y dos respectivamente; Figura 3.2).

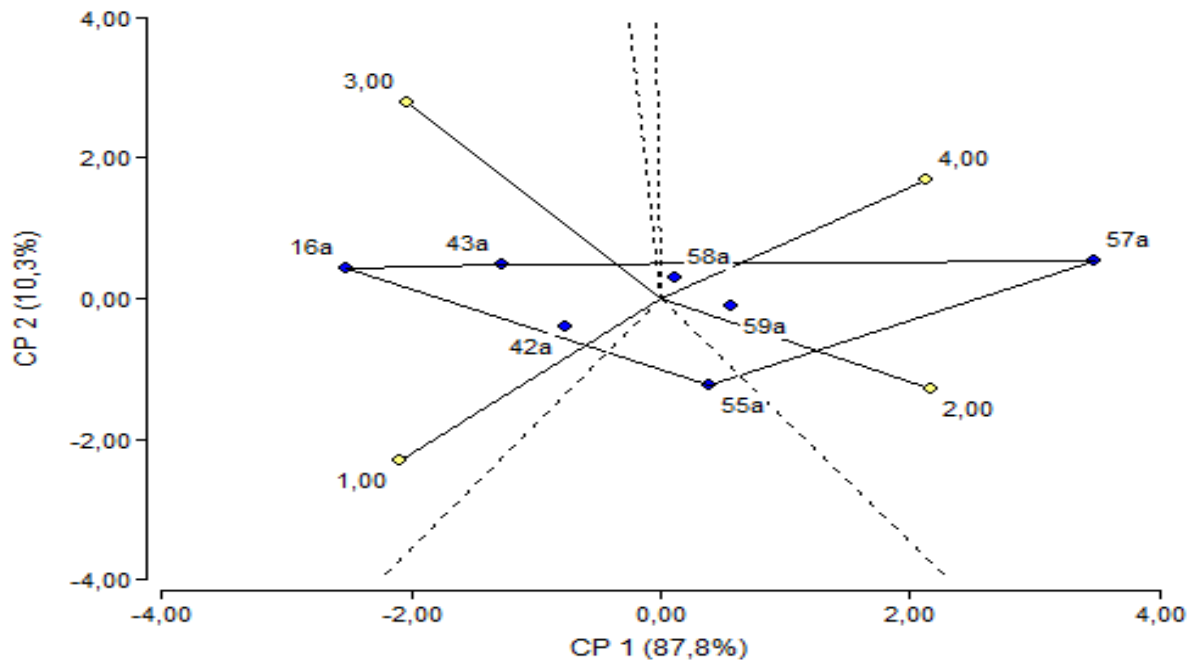


Figura 3.1 GGE biplot para la identificación de los genotipos más rendidores en cada mega-ambiente. Puntos azules representan los genotipos y puntos amarillos los ambientes.

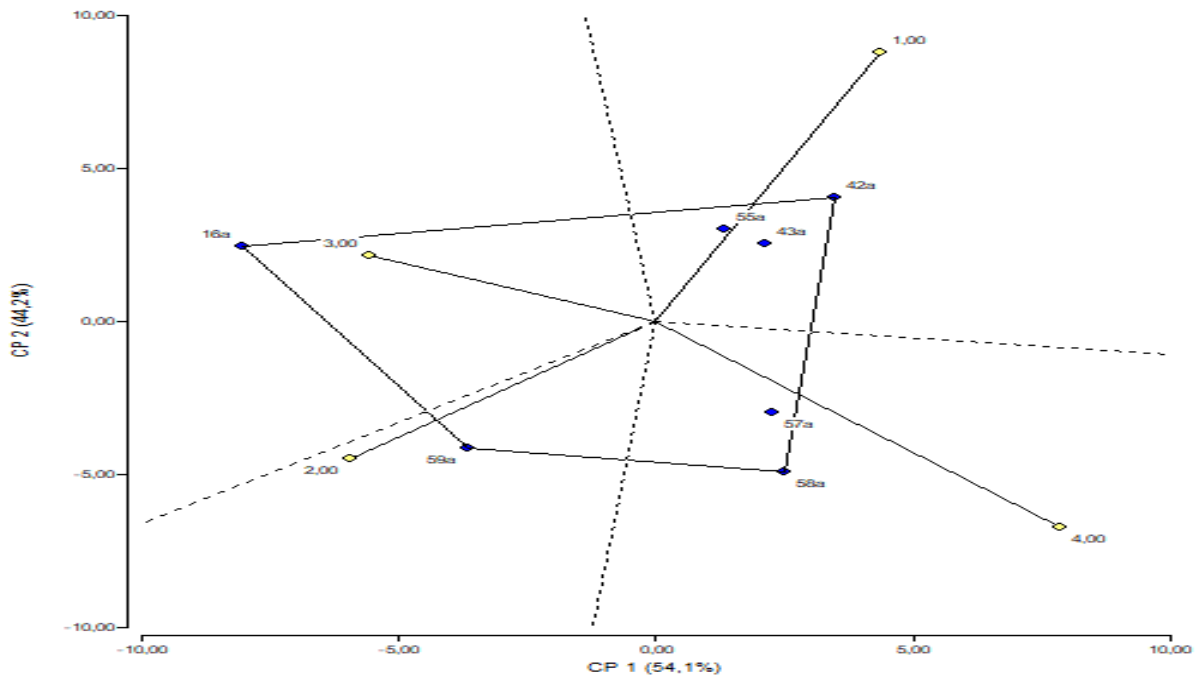


Figura 3.2 GGE biplot para la identificación de los mejores genotipos en cuanto a contenido de proteína en cada mega-ambiente. Puntos azules representan los genotipos y puntos amarillos los ambientes.

### 5.3 Selección de Parentales

En base a los resultados obtenidos en este estudio, se eligieron las siguientes variedades de la subespecie macrosperma para ser utilizadas en las hibridaciones propuestas. 16a: se destacó por presentar alto RP, altos NVP y NSP, precoz, de alto C y P<sub>100</sub>, alto contenido de P, alta capacidad de ABH<sub>2</sub>O, bajo TC y bajo contenido de antinutrientes, variedad 42a: se destacó por ser precoz, de alto RP, mayor C y P<sub>100</sub> y tener un color de tegumento más claro y mayor potencial de almacenamiento que el testigo Silvina, además de alto contenido de P y bajo contenido de antinutrientes, variedad 57a: se destacó por ser precoz, de alto RP, C y P<sub>100</sub>, además de un buen comportamiento en fechas de siembra tardía, variedad 23a: se destacó por presentar un alto contenido de P y bajo contenido de antinutrientes, buenas características industriales, alta capacidad de ABH<sub>2</sub>O y bajo TC, la variedad 54a: presentó alto RP, altos NVP y NSP, precoz, de alto C y P<sub>100</sub>. Dentro de la subespecie microsperma se eligió la variedad 30r la cual se destacó por presentar alto contenido de P y bajo contenido en compuestos antinutrientes. Se propusieron realizar las hibridaciones detalladas en la Tabla 4.1 macrosperma x microsperma (cruzas uno, dos y tres) y macrosperma x macrosperma (cruzas cuatro a nueve). Como parentales masculinos se propusieron la variedad 30r por presentar cotiledón de color naranja y las variedades 16a y 42a por presentar pigmentación antociánica en tallo. Ambos caracteres cualitativos que, por ser dominantes, se propone utilizarlos como marcadores morfológicos para distinguir las autofecundaciones de los híbridos F<sub>1</sub>.

<b>Cruza</b>	<b>Parentales</b>	<b>Características</b>
1	16a x 30r	Buenas características productivas, nutricionales e industriales (cotiledón amarillo) x alto contenido nutricional (cotiledón naranja)
2	57a x 30r	Buenas características productivas y buen comportamiento en fechas de siembra tardías (cotiledón amarillo) x alto contenido nutricional (cotiledón naranja)
3	42a x 30r	Buenas características productivas, alto potencial de almacenamiento y buenas características industriales (cotiledón amarillo) x alto contenido nutricional (cotiledón naranja)
4	54a x 42a	Buenas características productivas (cotiledón amarillo, ausencia de pigmentación en tallo) x buenas características productivas, alto potencial de almacenamiento y buenas características industriales (cotiledón amarillo, presencia de pigmentación en tallo)
5	54a x 16a	Buenas características productivas (cotiledón amarillo, ausencia de pigmentación en tallo) x buenas características productivas, nutricionales e industriales (cotiledón amarillo, presencia de pigmentación en tallo)
6	57a x 42a	Buenas características productivas y buen comportamiento en fechas de siembra tardías (cotiledón amarillo, ausencia de pigmentación en tallo) x alto potencial de almacenamiento, buenas características nutricionales y productivas (cotiledón amarillo, presencia de pigmentación en tallo)
7	57a x 16a	Buenas características productivas y buen comportamiento en fechas de siembra tardías (cotiledón amarillo, ausencia de pigmentación en tallo) x buenas características productivas, nutricionales e industriales (cotiledón amarillo, presencia de pigmentación en tallo)
8	23a x 42a	Buenas características nutricionales e industriales (cotiledón amarillo, ausencia de pigmentación en tallo) x alto potencial de almacenamiento, buenas características productivas (cotiledón amarillo, presencia de pigmentación en tallo).
9	23a x 16a	Buenas características nutricionales e industriales (cotiledón amarillo, ausencia de pigmentación en tallo) x buenas características nutricionales, productivas e industriales (cotiledón amarillo, presencia de pigmentación en tallo)

Tabla 4.1 Cruzamientos entre variedades con características superiores al testigo Silvina

## 6 DISCUSIÓN

La diversidad genética proporciona seguridad a los agricultores contra enfermedades, plagas y condiciones climáticas inesperadas. Provee, además, altos rendimientos, adaptación local, tolerancia al estrés y calidad nutricional de los alimentos. Asimismo, un rico acervo genético puede contribuir a los programas de mejoramiento.

A pesar de la importancia nutricional del cultivo de lenteja, ha habido un lento progreso en su producción y productividad a lo largo de las décadas. Además de una influencia muy alta de los factores ambientales, el germoplasma de lenteja cultivada tiene una variación genética baja en comparación con las especies silvestres. Este estrechamiento de la base genética podría conducir a la vulnerabilidad de los cultivos a plagas, epidemias de enfermedades y factores climáticos impredecibles, limitando el progreso en el aumento de su producción y llevando a la pérdida de características que contribuyan al rendimiento debido a su cultivo en tierras marginales, principalmente en países en desarrollo (Singh, 2018). Por otro lado, la mecanización de cultivos y la mejora de los cultivares de alto rendimiento han llevado a los agricultores al abandono de las prácticas agrícolas tradicionales. Según la FAO, alrededor del 75,00% de las variedades locales se han extinguido en los últimos 100 años (Thanopoulos et al., 2021).

Los programas de mejoramiento del cultivo de lenteja deben tener el objetivo de preservar y caracterizar las distintas variedades existentes como un primer paso para ampliar y potenciar la base genética de nuevas variedades. Es importante llevar a cabo un enfoque multidisciplinario, dado que hasta el momento los principales esfuerzos en lenteja han sido dirigidos al mejoramiento de caracteres fenotípicos y agronómicos. Una caracterización integral, teniendo en cuenta también cuestiones asociadas al aspecto, almacenamiento, cocción y calidad nutricional podría considerarse esencial para diseñar una estrategia de mejora que satisfaga las necesidades dietéticas de la población humana, que contribuya a la seguridad alimentaria mundial y que sea provechosa tanto para los productores como para la industria.

Los estudios de caracterización y evaluación realizados a través de mediciones de rasgos cualitativos y cuantitativos utilizando descriptores morfológicos son capaces de proporcionar un primer acercamiento a la variabilidad genética del material vegetal (Bermejo, 2013; Cardoso et al., 2021). Barulina (1930) fue el primero en realizar descripciones morfológicas detalladas en especies y variedades locales de Asia. En base a estos descriptores se

caracterizaron 40 genotipos de lenteja de diferentes orígenes geográficos. Los resultados de los porcentajes de distribución y el análisis de agrupamiento de las características cualitativas han demostrado una amplia variabilidad fenotípica en los genotipos estudiados (Tabla 1.1 y Figura 1.1).

La mayoría de las variedades presentaron ausencia de pigmentación en el tallo, pubescencia foliar leve, presencia de zarcillos, flores blancas con venas violetas, color de tegumento beige claro, con patrón de cubierta seminal lisa, cotiledones amarillos y habito de crecimiento erguido (Figura 1.1). Cardoso et al. (2021) presentó resultados similares con variedades provenientes en su mayoría del ICARDA, tenían pigmentación ausente y un color de flor blanca con estrías violetas, sin embargo, para el color del cotiledón los resultados fueron contrarios, ya que ellos observaron que la mayoría de las variedades tenían color de cotiledón naranja. Las semillas con este color de cotiledón son más pequeñas (pertenecientes a la subespecie *microsperma*) y son las más producidas y comercializadas a nivel mundial, debido a la demanda en el mercado internacional, principalmente en Bangladesh y otros países del subcontinente indio, Etiopía, Eritrea, Sudán, Egipto, Turquía, Siria, etc (Roy et al., 2012). La mayoría de las variedades evaluadas en este estudio son de cotiledón amarillo, tegumento liso y pertenecientes a la subespecie *macrosperma*, muchas de estas provienen del programa de Mejoramiento de la cátedra de Mejoramiento Vegetal y Producción de Semillas de la FCA ya que el mercado argentino, al igual que países de Norte de África, Asia central y países caucásicos prefieren variedades con estas características. Por esta razón, en este programa se fueron seleccionando variedades siguiendo criterios relacionados con las preferencias de los consumidores.

Por otro lado, caracteres como presencia de zarcillos que estuvieron presentes en la mayoría de variedades son importantes ya que el zarcillo mantiene las plantas entremezcladas y el dosel en posición vertical durante el crecimiento del cultivo y en la madurez, esto permite una menor pérdida de semillas en la cosecha mecanizada (Roy et al., 2012).

Si bien los caracteres morfológicos cualitativos no tienen valor económico, tienen importancia desde el punto de vista práctico del mejoramiento vegetal ya que permiten diferenciar los híbridos de las autofecundaciones luego de efectuadas las hibridaciones, de manera de confirmar la naturaleza de los híbridos obtenidos, además de utilizarse en identidad varietal, raleo de plantas fuera de tipo, certificación de semilla y estudios genéticos de otros caracteres (Lazaro et al., 2001). Los colores de tallos de las plántulas, flores, semillas y cotiledones, el

patrón de la cubierta seminal y los zarcillos son frecuentemente utilizados como caracteres marcadores en programas de cruzamientos y en la selección asistida por marcador (Roy et al., 2012). Ladizinsky y Hebrew (1979) estableció que un único gen controla los caracteres color de tallo, color de cotiledón y patrón de cubierta seminal e indicó que el color púrpura del tallo domina sobre el verde, el color de cotiledón naranja sobre amarillo y el patrón de cubierta seminal sobre la ausencia de patrón. Por lo tanto, conocer la variabilidad de estos caracteres cualitativos en nuestra colección nos ayudará para tomar decisiones con respecto a la elección de progenitores para el desarrollo de futuros cultivares mediante hibridación.

La mayoría de las características de importancia económica de un cultivo corresponden a caracteres complejos o poligénicos y son tanto genética como ambientalmente determinados (Bermejo, 2013).

En este estudio se sembraron 40 genotipos de lenteja en cuatro ambientes distintos, consistentes en dos fechas de siembra (temprana y tardía) con semillas tratadas y sin tratar con la dosis recomendada de un inoculante en base a cepas de *Rhizobium leguminosarum biovar viceae*. No todas las variedades de lenteja tuvieron la capacidad de crecer o desarrollar cantidad suficiente de semillas, ya que el cultivo de lenteja es muy susceptible a las condiciones medioambientales adversas, como salinidad, competitividad frente a las malezas o temperatura, esto deriva en una disminución de la productividad del cultivo. Las diferencias en las temperaturas registradas durante el año de evaluación podrían haber influido sobre el comportamiento de estas variedades. Las temperaturas óptimas para la germinación, crecimiento vegetativo y ciclo reproductivo de la lenteja oscilan entre 18 y 30 °C, temperaturas superiores a 30/20 °C (día/noche) durante la floración y el llenado de semillas reducen fuertemente los rendimientos de semilla (Sehgal et al., 2017, 2019). La lenteja resiste perfectamente las heladas invernales en la primera fase de crecimiento, de germinación a floración, pero posterior a este período es sensible a las bajas temperaturas. Si bien es un cultivo de invierno, se ve severamente afectado por heladas prolongadas e intensas durante el crecimiento reproductivo (Sellami et al., 2021).

Las temperaturas registradas en la estación meteorológica de la FCA en la etapa de floración y llenado de granos (septiembre y octubre, 2020) fueron temperaturas máximas de 36 °C, que pudieron haber afectado el desarrollo de las flores y vainas y además haber influido en la escasez de semilla cosechada de la mayoría de las variedades sembradas en la segunda fecha de siembra. En el estudio realizado por Sehgal et al. (2019) las plantas de lenteja fueron sometidas a estrés por calor aplicando 33/28 °C de temperatura día/noche en el momento del

llenado de grano hasta la madurez, obteniendo como resultado una reducción del rendimiento y tamaño del grano. Además, se redujo significativamente el peso y el número de semillas debido al aumento de las pérdidas de vainas y mayor número de vainas vanas durante el llenado temprano del grano, esto puede estar relacionado a la reducción del número de células del endosperma. En cuanto a la calidad nutricional las altas temperaturas acentuaron el daño a las proteínas de almacenamiento y sus fracciones, los minerales y varios aminoácidos. El llenado de semillas está regulado por procesos de fotoasimilación en hojas, que entregan sacarosa y precursores para la síntesis de almidón, proteínas, grasas, por lo tanto, cualquier estrés biótico disminuye la acción de las enzimas biosintéticas (sacarosa-P-sintasa, almidón fosforilasa e invertasa ácida) afectando la producción y el transporte de estos componentes de las hojas y en el desarrollo de las semillas (Sehgal et al., 2017). Estos efectos son aún más marcados cuando están acompañados por sequía, sin embargo, la lenteja es un cultivo más tolerante a la sequía que al exceso de riego. El exceso de agua en los cultivos de lenteja puede causar problemas que incluyen retraso en la madurez, aumento de enfermedades y menores rendimientos, la lenteja requiere un mínimo de 350 mm y un máximo de 550 mm de lluvia durante todo el ciclo. Las condiciones de riego insuficiente o excesivo o de déficit pueden provocar una reducción de los rendimientos, una menor calidad y un uso ineficaz de los nutrientes (Veeranna y Mishra, 2017). Esta variante climática no debería haber influido sobre el cultivo, debido a que durante los ensayos realizados en el presente trabajo se utilizó un sistema de riego artificial que permitió suplir las posibles deficiencias naturales.

A pesar de los efectos negativos de estos factores climáticos, siete variedades pudieron desarrollarse correctamente en las siembras tardías lo que fue favorable para poder seleccionar materiales que puedan ser sembrados fuera de la fecha óptima. Esta situación podría presentarse cuando los productores se encuentren obligados a retrasar la siembra por no tener condiciones favorables para la preparación del terreno en siembras tempranas.

En la primera fecha de siembra y en ambos tratamientos (con y sin inoculante) se analizaron 21 variedades. Los caracteres cuantitativos C, P<sub>100</sub> y NSV mostraron interacción genotipo por ambiente ( $p \leq 0,05$ ) mientras que las variables NSP, NVP y RP tuvieron efecto del ambiente y del genotipo y, las variables DF y AP sólo efecto del genotipo. Los datos obtenidos indican variabilidad genética entre las variedades evaluadas, que concuerda con los resultados obtenidos por Bermejo et al. (2019) quienes encontraron diferencias significativas entre genotipos, ambientes e interacciones genotipo x ambiente para todos los caracteres mencionados anteriormente en 26 líneas F<sub>5</sub> derivadas del programa de mejoramiento de grano

de la FCA. Asimismo, Plaza et al. (2021) evaluando los mismos caracteres en 12 variedades de lenteja españolas, encontraron una alta variabilidad genética para todos los caracteres evaluados, al igual que Gaad et al. (2018) en su estudio realizado con variedades de distintos orígenes geográficos.

Medir la variabilidad genética implica describir la variación entre los genotipos, siendo esta la base del mejoramiento ya que es un requisito previo para mejorar cualquier carácter vegetal (Kumar, 2020). Los coeficientes de variación y rangos obtenidos en la Tabla 2.1 mostraron una amplia variación en los caracteres cuantitativos. La mayoría de estos caracteres presentaron valores altos de CV, especialmente NVP (CV = 54,20), NSP (CV = 53,39) y RP (CV = 55,98), resultados más altos que los valores encontrados por Cardoso et al. (2021) (CV<sub>NVP</sub> = 31,00; CV<sub>NSP</sub> = 33,00 y CV<sub>RP</sub> = 23,00). El CV es un parámetro que no diferencia si estas variaciones son genéticas o ambientales, es por ello que resulta importante estimar la heredabilidad. Las estimaciones de heredabilidad en sentido amplio fueron altas para todos los caracteres (mayores al 90,00%) siendo las variables DF, NSV y P<sub>100</sub> las que presentaron los valores más elevados (Tabla 2.2) lo que sugiere poca influencia ambiental. Bermejo et al. (2019) evaluó la heredabilidad en sentido amplio para estos caracteres en cuatro ambientes distintos, los valores obtenidos en dicho estudio se encuentran dentro del rango de los obtenidos en el presente trabajo para los caracteres DF (91,00 a 98,00%) y P<sub>100</sub> (66,00 a 97,00%). Contrario a esto, Chaurasia et al. (2021) reportó valores más bajos de heredabilidad en sentido amplio que los obtenidos en este estudio para los caracteres DF y P<sub>100</sub> (54,00 y 78,00%, respectivamente). Para los mejoradores, la estimación de la heredabilidad resulta útil porque refleja la confiabilidad de los fenotipos observados al indicar individuos genotípicamente superiores. Un fenotipo con heredabilidad disminuida se convierte en un mal indicador del valor genotípico debido al marcado efecto de los factores ambientales, reduciendo la ganancia de la selección (Bermejo et al., 2019).

El P<sub>100</sub> y el C de cada uno de los genotipos variaron de 1,60 a 6,57 g y de 3,89 a 6,57 mm, respectivamente. Los genotipos 42r, 8r, 58-13 y 27r (grupo 1 del ACP, Figura 2.2) fueron los que presentaron menor peso (2,00 - 2,60 g) y calibre (3,90 - 5,50 mm), valores que coinciden con la clasificación de Barulina (1930) como pertenecientes a la subespecie microsperma. Las variedades 16a, 47a, 58-19/3 (grupo tres del ACP, Figura 2.2) y 54a, 57a, 58a, 59a y 55a (grupo cuatro del ACP, Figura 2.2) pertenecientes a la subespecie macrosperma, presentaron valores de P<sub>100</sub> y C similares y mayores respectivamente al testigo comercial Silvina (Figura 2.1 y Figura 2.2). Estos resultados son levemente inferiores a los reportados por Plaza et al.

(2021) para los caracteres  $P_{100}$  y C (3,58 a 7,32 g y 4,43 a 6,87 mm, respectivamente) en genotipos macrospermas y microspermas provenientes de España.

Por otro lado, el tamaño y el peso de semillas son parámetros necesarios para el diseño de máquinas de separación, cosecha, dimensionamiento y trituración, y también se necesitan como parámetros de entrada para la predicción de las propiedades de transporte y las velocidades de secado de los granos mediante modelos de simulación (Kumar Maneesh et al., 2018).

Con respecto a los caracteres productivos NSP, NVP y RP las variedades tratadas con el inoculante presentaron en promedio los valores más altos para todos los caracteres analizados. Esto se debe a que la inoculación de semillas de lenteja al momento de la siembra con cepas de *Rhizobium* aumenta el número de nódulos, su peso seco, el crecimiento de las plantas y los atributos de rendimiento (Singh et al., 2018). Gan et al. (2005) realizaron un estudio aplicando diversas formulaciones y combinaciones de inoculantes y fertilizantes sobre las dos variedades de lenteja más utilizadas en Canadá (Laird y CDC Glamis) y determinaron que la aplicación de un inoculante con cepas de *Rhizobium leguminosum biovar vicea* aumenta el rendimiento entre 15,00 a 45,00% en promedio evaluando dos localidades durante tres años, aunque en algunos ambientes no se observaron diferencias significativas. Una parte de ese aumento en el rendimiento se debió al aumento en la masa de los granos, comportamiento que no fue observado en este estudio.

Si bien no se encontraron diferencias significativas entre variedades macrospermas y microspermas, se observó una ligera tendencia a obtener valores más altos en las variedades macrospermas para el RP y NVP, mientras que para el carácter NSP las variedades microspermas fueron levemente superiores (Tabla 2.3). Dichos resultados coinciden con los obtenidos por Bermejo et al. (2014), sin embargo, Duke (1981) sugiere que las variedades pertenecientes a la subespecie microsperma tienen mayores rendimientos, contrario a los datos obtenidos en este estudio.

En cuanto a DF los genotipos variaron de 75 a 100 días (Tabla 2.1) y no se encontraron diferencias significativas entre variedades microspermas y macrospermas para este carácter. Datos diferentes fueron obtenidos por Gaad et al. (2018), quienes observaron que los genotipos microspermas presentaron fechas a floración más tempranas que los de la subespecie macrospermas, contrario a lo obtenido por Bermejo et al. (2013, 2014) que observaron menor DF en las variedades macrospermas que en las microspermas. El genotipo

144a se destacó por presentar menores DF y por presentar una AP similar al cultivar Silvina. Las plantas de lenteja pueden variar su altura de 20 a 75 cm, según el genotipo y las condiciones de crecimiento. En este trabajo las variedades mostraron valores menores o iguales a 30,5 cm. A pesar de que estos valores hayan sido inferiores a los encontrados por Cardoso et al. (2021) y Lázaro et al. (2001) (49,84 y 52,02 cm, respectivamente), se encuentran dentro del rango de aceptación para una cosecha mecanizada, considerándose óptimos los genotipos que no exceden los 25 a 35 cm de altura (Bermejo, 2013). Genotipos más altos tienden a volcarse durante el periodo de llenado de granos siendo propensos a insectos y enfermedades llevando a pérdidas en el cultivo.

Dada las grandes posibilidades que existen para el desarrollo de productos industrializados a partir de la lenteja es importante estudiar y conocer las posibilidades de desarrollo de este producto con el propósito de otorgarle un valor agregado, que redunde en beneficios para el productor, la industria y el consumidor. En este caso se estudiaron parámetros relacionados al color de la semilla, el potencial de almacenamiento, la capacidad de hidratación y el tiempo de cocción.

Para estos caracteres industriales, el Andeva realizado no mostró diferencias significativas entre variedades para el carácter IC ( $p > 0,05$ ), el carácter  $L^*$  presentó efecto del ambiente y del genotipo, y en los caracteres  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $ABH_2O$  y TC solo se observó un efecto altamente significativo ( $p < 0,001$ ) entre genotipos. Por otro lado, los valores de  $H^2$  fueron superiores al 90% para todos los caracteres industriales evaluados. Espósito et al. (2020) calcularon los valores de  $H^2$  en una colección de trabajo similar a la evaluada en este estudio, los valores de heredabilidad de  $a^*$ ,  $b^*$  y  $L^*$  reportados fueron similares a los obtenidos en el presente trabajo, (93,00, 83,00 y 83,00%, respectivamente). Con respecto a los parámetros relacionados al color de la semilla los valores de  $a^*$  y  $b^*$  fueron muy variables entre genotipos. Espósito et al. (2020) determinaron que los parámetros  $a^*$  e IC se correlacionan positivamente. Siqueira et al. (2014) y Espósito et al. (2020) reportaron una relación inversamente proporcional entre los parámetros  $a^*$  y  $L^*$ . A medida que los valores de  $a^*$  e IC aumentan, los valores de  $L^*$  disminuyen; es decir que a medida que las variedades se van oscureciendo van perdiendo luminosidad, lo que indica que estos parámetros de color contribuyen de manera conjunta a las características visuales del oscurecimiento de la semilla. En este estudio se encontraron diferencias significativas entre variedades macrospermas y microspermas (color de cotiledón amarillo y naranja, respectivamente) para el carácter  $L^*$ ,

siendo inferior en las variedades con cotiledón naranja, resultados que coinciden con los reportados por Espósito et al. (2020). Las semillas son almacenadas por múltiples razones, para preservarlas por un corto período de tiempo, mantener materiales de alto valor genético, conservar semillas que presentan latencia si se desea que esta no se rompa naturalmente o cuando existe saturación en el mercado con algún tipo de semilla específico y se quiere esperar el momento oportuno para su venta, o simplemente hay alguna razón legal o sanitaria que impide su comercialización inmediata y se debe esperar el próximo ciclo de siembra (Doria, 2010). El objetivo primordial del almacenamiento es mantener las semillas viables en buena calidad física y fisiológica y que conserven su capacidad de germinar, emerger y producir (De Freitas y Nascimento, 2006).

En el mercado comercial de semillas de lenteja, el oscurecimiento de la cubierta seminal es un efecto indeseable ya que surge del deterioro progresivo de las mismas implicando una pérdida de calidad comercial y valor del producto. En nuestro país, la variedad comercial Silvina es el único material comercial que se utiliza. Posee una cubierta seminal color beige claro cuando es recién cosechada, la cual se va oscureciendo rápidamente durante su almacenamiento. Bermejo et al. (2017) analizando el envejecimiento natural de semillas de la variedad Silvina observó que a medida que las semillas envejecieron (2016-2013), sus tegumentos se oscurecieron, disminuyeron los PG (86,00-34,00%) y aumentaron los valores de IC (4,5-16,4) y  $a^*$  (6,8-17,5). Por lo tanto, es importante encontrar nuevas variedades *elite* con mayor poder de retención del color seminal original y potencial de almacenamiento.

El análisis de envejecimiento acelerado es un método empleado por muchos autores, con diferentes fines, De Freitas y Nascimento (2006) utilizaron esta prueba para evaluar el vigor de las semillas de lenteja, por su lado, Bueno et al. (2010) utilizó esta prueba con el fin de evaluar la resistencia de semillas de lenteja para evaluar su calidad, mientras que Bermejo (2017) fue la primera en utilizar la prueba de envejecimiento acelerado para la búsqueda de materiales con mayor potencial de almacenamiento que Silvina.

Con el fin de evaluar el potencial de almacenamiento y viabilidad de las semillas de lenteja de nuestra colección se realizó una prueba de envejecimiento acelerado con ocho variedades de lenteja que mostraron tener un color de tegumento más claro o similar al testigo Silvina. El análisis de envejecimiento permitió identificar variedades con mayor poder de retención de color seminal que el testigo comercial Silvina y con alta capacidad de germinación, las variedades 32a, 39a y 42a se destacaron por presentar valores bajos de  $\Delta IC$  indicando una alta

capacidad para mantener el color seminal original y la variedad 44a si bien presentó un  $\Delta IC$  superior al de Silvina (Tabla 2.14), mantuvo su color de tegumento en un color beige más claro luego del envejecimiento inducido (Figura 2.3). Todas estas variedades conservaron altos PG luego de 72 h del envejecimiento acelerado, mientras que, las variedades 22a y 56a, antes del ensayo presentaron tegumentos más claros que el testigo y altos PG, pero luego del ensayo presentaron un elevado oscurecimiento seminal (altos valores de  $\Delta IC$ ) y una fuerte disminución en el PG (87,00 y 90,00 a 20,00 y 40,00%) (Tabla 2.14). Makkawi y Van Gaste (2007) reportaron una fuerte caída del PG en tres variedades de lenteja después de someter las semillas al ensayo de envejecimiento acelerado (98,00, 98,00, 49,00 a 38,00 y 1,00%), valores inferiores a los obtenidos en nuestro estudio. Esta diferencia se debe a que en este ensayo el envejecimiento acelerado se realizó con una solución saturada NaCl y esto pudo haber disminuido la velocidad de transferencia de agua al interior de la semilla. Gordin et al. (2015) realizaron un ensayo de envejecimiento acelerado durante 72 h en cuatro lotes de lenteja con y sin el uso de solución saturada de NaCl, este estudio demostró que la prueba de envejecimiento con NaCl reduce la absorción de agua de la semilla lo que proporciona efectos menos drásticos que los causados por el envejecimiento tradicional. El uso de NaCl en nuestro ensayo fue adecuado para este análisis ya que evitó el crecimiento de microorganismos asociados a semillas sobre los resultados de la prueba. De Freitas y Nascimento (2006) y Gordin et al. (2015) reportan mayor eficiencia en la prueba de envejecimiento acelerado cuando se adiciona NaCl.

Bermejo et al. (2017) determinó que el cultivar Silvina luego del tratamiento tuvo una disminución en el PG del 84,00 al 20,00% lo que equivaldría a cuatro años de envejecimiento natural, los valores obtenidos en este estudio fueron similares, la disminución del PG fue de 94,00 al 52,00%, lo que equivaldría a más de tres años de envejecimiento.

Otros parámetros importantes para la industria además de la capacidad de retención de color de las semillas, son la capacidad  $ABH_2O$  y el TC. Las legumbres generalmente se remojan para ablandar las semillas, para reducir el TC y para obtener productos de textura más uniforme. Durante la inmersión, las semillas se hidratan lentamente hasta alcanzar un nivel constante de humedad (Shafaei et al., 2016). Las variedades de lenteja con alta  $ABH_2O$  serían más adecuadas para enlatar porque al hidratarse adquieren un tamaño más grande. Además, en general las variedades con alta  $ABH_2O$  requieren menos TC y, por lo tanto, son preferidas por el consumidor. En este estudio se encontró una amplia variabilidad para este carácter, las variedades 16a, 31r, 32a y 45a presentaron mayor capacidad de  $ABH_2O$  que el testigo Silvina,

con porcentajes superiores al 106,00% (Tabla 2.11). Estos valores son mayores también a los informados por Abdel-Aal et al. (2019) para cuatro variedades de lenteja canadienses (79,00-95,00%). El TC necesario para generar un producto con textura agradable es uno de los principales criterios utilizados para evaluar la calidad de cocción de las legumbres secas. Se han informado varios métodos para medir el TC de las legumbres, sin embargo, hasta ahora no existen métodos universalmente aceptados (Xu y Chang, 2008). Por lo tanto, resulta muy difícil comparar los valores de este trabajo con otros reportados en la literatura. De acuerdo a Theologidou et al. (2018) y Abdel-Aal et al. (2019), que aplicaron un método de medición similar al de este trabajo, el TC óptimo para la lenteja es de 25 min. Dichos autores utilizaron una temperatura de 100 °C durante el procedimiento, mayor a la temperatura de 95 °C utilizada en este trabajo, que pudo haber ocasionado los altos TC obtenidos en este caso en comparación. Sin embargo, fue posible identificar variedades con TC bajos (27 a 32 min), esto es importante desde el punto de vista de la industria, ya que bajos TC representan menores costos de producción y a su vez favorecen al consumidor, ya que se ha encontrado que la cocción aumenta el contenido de proteínas en semillas de lenteja debido a la pérdida de carbohidratos en el momento de ebullición, ya que esta reduce la tendencia a la retrogradación del almidón de lenteja (Muhammad et al. 2013; Nosworthy et al. 2018)

Por otro lado, numerosos estudios han demostrado que el proceso de remojado y de cocción disminuye la actividad y concentración de compuestos antinutrientes (T y AF) y carbohidratos solubles en agua que inhiben la actividad de las enzimas digestivas o secuestran nutrientes, evitando su disponibilidad durante la digestión. La reducción de dichos compuestos antinutricionales mejora la digestibilidad de las proteínas de la dieta y, por lo tanto, aumentar la biodisponibilidad de los aminoácidos constituyentes (Kumar Maneesh et al., 2018).

La lenteja ha sido reconocida como un alimento valioso y nutricional en la dieta humana, constituyendo una fuente económica de proteínas, carbohidratos, vitaminas y minerales. Para explotar al máximo su potencial nutricional es importante determinar la variación genética de los distintos nutrientes, su heredabilidad y estabilidad mediante estudios de interacción GxA, para poder aplicar los métodos de mejora adecuados.

Los caracteres nutricionales evaluados (contenido de P, F, T, AF y relación Leg/Vic) en este trabajo presentaron valores de  $H^2$  entre 59,00 y 92,00%, siendo el carácter P el que presentó el menor valor, que no coincide con lo expresado por otros autores, por ejemplo, Chaurasia et al. (2021) mostró un valor de 97,00%. Se obtuvieron CV altos para todos los caracteres, mayores

al 21,00%. Esto resulta prometedor para la ejecución de programas de selección para elegir parentales promisorios.

El contenido de nutrientes de las semillas de lenteja varía dependiendo del genotipo y de las condiciones bióticas y abióticas a las que haya estado sometido el cultivo. El Andeva realizado para los caracteres nutricionales mostró efecto de la interacción GxA en todos los caracteres, excepto para el contenido de T, el cual mostró un efecto altamente significativo entre genotipos. El contenido de proteínas osciló de 12,00 a 35,00%, un rango muy amplio de variación comparado con los valores obtenidos por Bhatti (1988), que reporta entre el 28,00 y 32,00% en cultivares canadienses y con los valores obtenidos por Plaza et al. (2021) con una colección de trabajo de seis variedades de lenteja de origen español y Chaurasia et al. (2021) con una colección de trabajo de 22 variedades de origen indio, quienes obtuvieron porcentajes inferiores (21,00 a 25,00% y 14,00 a 19,00%, respectivamente). En este estudio no se encontraron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre variedades de la subespecie macrospermas y microspermas. En promedio las variedades microspermas presentaron un contenido de P de 22,00% y las macrosperma de 21,00%, valores similares a los reportados por Nosworthy et al. (2018) (25,00 y 24,00%, respectivamente).

La relación entre leguminas y vicilinas varió entre las muestras evaluadas desde 0,72 hasta 2,51. Estas diferencias observadas pueden influenciar las propiedades fisicoquímicas de las proteínas. En las legumbres, la fracción de leguminas presenta un mayor contenido de aminoácidos azufrados que la de vicilina, lo que es beneficioso desde el punto de vista nutricional (Monti y Grillo, 1983). Sin embargo, además de los atributos nutricionales, las propiedades funcionales de las proteínas son esenciales para que puedan reemplazar a las proteínas animales en productos alimenticios. En este sentido, las vicilinas favorecen la formación de geles más fuertes a partir de concentrados proteicos, por lo que serían beneficiosas para la industria (Guldiken et al., 2021). Los valores observados en este trabajo fueron superiores a los determinados por Guldiken et al. (2021) sobre una muestra comercial de lenteja (0,57), presentando entonces mejores atributos nutricionales.

Por otro lado, el contenido de T y F en semilla osciló en un rango de 3,20 a 16,50 y 1,62 y 7,15 mg g<sup>-1</sup>, respectivamente. Xu y Chang (2007) reportaron valores superiores en genotipos comerciales de EEUU, 7,53 a 7,68 y 8,70 a 8,83, respectivamente, mientras que Prajapati et al. (2020) reportaron un rango de variación de 0,54 a 0,97 para el contenido de T en cultivares de origen indio. La gran diferencia en los valores de T observados en los distintos trabajos se

debe probablemente a la variabilidad entre los genotipos analizados. Los T se producen mediante la condensación de los compuestos fenólicos simples, son compuestos biológicos activos que pueden tener efectos nutricionales beneficiosos o adversos. Se encuentran principalmente en el tegumento y juegan un rol importante en el sistema de defensa de las semillas que están expuestas al daño oxidativo por muchos factores ambientales (Xu y Chang, 2007), sin embargo, están asociados al oscurecimiento de la semilla como resultado de la polimerización de compuestos fenólicos de bajo peso molecular (taninos solubles) en productos de alto peso molecular (taninos condensados), lo que conduce a la pérdida de viabilidad de la semilla en condiciones de almacenamiento con alta humedad relativa (Nozzolillo y Bezada, 1984). En cuanto al contenido de AF el rango de variación entre genotipos fue de 0,05 a 2,81 mg g<sup>-1</sup>. Prajapati et al. (2020) obtuvo resultados similares en un estudio realizado con diez variedades de origen indio, 0,98 a 2,13 mg g<sup>-1</sup>. El AF es un parámetro importante de las semillas de cultivos de leguminosas que sirve como almacén de fosfato para las plántulas, pero su grupo fosfato lleva cargas negativas que se unen a los iones de Ca, Fe y Zn. Esto reduce la disponibilidad de estos minerales para el ser humano y puede resultar en síntomas de deficiencia incluso cuando la dieta parece adecuada (Prajapati et al., 2020).

En cuanto al contenido de Fe, las variedades mostraron un amplio rango de variación (38,70 a 120,50 mg kg<sup>-1</sup>) valores superiores a los reportados por Podder et al. (2020) y Choukri et al. (2020) (73 a 90 y 48 a 109 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente). Sehgal et al. (2019) reportó una disminución del contenido de Fe cuando las plantas están sometidas a estrés por altas temperaturas de 21,00 a 35,00% a 13,00 a 26,00%. Mirali et al. (2016) sugiere que un bajo contenido de F en la semilla conduce a una mejor biodisponibilidad del Fe debido a que estos compuestos interfieren en su absorción.

El ACP es un método de ordenación que condensa la información que aportan las variables cuantitativas originales en un número reducido de nuevas variables que explican el máximo de variabilidad total. Estas nuevas variables no están correlacionadas entre sí y ayudan a establecer una estructura del agrupamiento de los genotipos evaluados determinando cuáles de las variables utilizadas permiten con mayor facilidad estimar las diferencias observadas entre los genotipos (Crisci y Lopez, 1983; Bramardi, 2000). Para determinar el número adecuado de CP se tuvieron en cuenta la proporción de la variación explicada por cada CP, la variancia total acumulada y la interpretación biológica de los valores.

Se realizaron tres ACP que nos permitieron determinar cuáles de las variables productivas, industriales y nutricionales aportaron más al total de la variabilidad observada. Al graficar las dos primeras componentes principales se obtuvo una representación gráfica de dicha variabilidad que nos permitió discriminar grupos de variedades con características comunes.

En base a los resultados anteriores se identificaron variedades con características favorables superiores al testigo comercial Silvina. Las variedades 16a, 57a, 42a, 55a, 54a, 58a y 59a presentaron características agronómicas promisorias, resultando genotipos más precoces con elevados rendimientos produciendo semillas de alto peso y calibre; la variedad 42a además presentó alto potencial de almacenamiento y retención de color seminal junto con las variedades 44a, 39a y 32a. La variedad 32a además de presentar color de tegumento claro se destacó junto con las variedades 16a, 45a, 23a y 58-13 por tener muy buenas características industriales, es decir, alta capacidad de ABH<sub>2</sub>O y bajos TC. Las variedades 16a y 23a además demostraron junto con las variedades 30r, 42a y 27r tener características nutricionales óptimas para ser incorporadas en programas de biofortificación, ya que poseen un alto contenido de P y bajo contenido de AF. En función a esto y considerando también los caracteres morfológicos cualitativos se plantearon los cruzamientos detallados en la tabla 4.1. La selección de los parentales, realizada considerando múltiples características agronómicas, productivas, industriales y nutricionales, para obtener variedades mejoradas determinará el éxito del programa de mejora.

Por otro lado, es importante identificar variedades con más probabilidades de tener éxito a nuevos entornos, expandir la diversidad genética y brindar a los mejoradores conocimientos y herramientas adicionales para mitigar los cambios ambientales. Como tal, se necesita una comprensión de las limitaciones de adaptación de diversas variedades en diferentes entornos para contribuir a la expansión de la diversidad genética (Wright et al., 2021).

En este estudio se pudieron identificar variedades de lenteja con mayor capacidad de adaptación al estrés por altas temperaturas, todas de la subespecie macrosperma (16a, 42a, 55a, 57a, 58a, 59a y Silvina), las cuales pueden ser sembradas en fechas de siembra tardía. Cabe destacar que, excepto por la variedad Silvina que es Argentina y 16a que es de Siria/ICARDA, todas las variedades son RILs derivadas del programa de mejoramiento de granos de la FCA. El hecho de que la mayoría de estas variedades sean locales pudo haberles dado una mayor ventaja en términos de adaptación.

El valor de heredabilidad obtenido para el carácter RP en los cuatro ambientes fue inferior que el obtenido en las primeras fechas de siembra (ambiente uno y tres) (58,00 y 90,00%), lo contrario ocurrió para el contenido de P que presentó un valor de heredabilidad más alto cuando se evaluó en los cuatro ambientes (58,00 y 86,00%). Esto sugiere que para la evaluación de caracteres de importancia es necesaria la evaluación de los genotipos en el mayor número de ambientes posibles para una adecuada comprensión de su comportamiento.

Los GGE biplots se construyeron para el RP y contenido de P a fin de estudiar los efectos e interacciones principales, y se presentan en las Figura 3.1 y 3.2. Para rendimiento las variedades 57a y 16a fueron las que presentaron comportamientos más extremos situándose en vértices opuestos del polígono. La variedad 57a presentó mejores rendimientos promedios en fechas de siembra tardías (ambiente dos y cuatro), y también presentó alto contenido de P en el ambiente cuatro (Figura 3.2), mientras que, la variedad 16a mostró mejor rendimiento promedio en las primeras fechas de siembra (ambiente uno y tres) y además presentó el mayor contenido de P en el ambiente tres. Sehgal et al. (2019) reporta una marcada disminución del contenido de P cuando las plantas son sometidas a temperaturas superiores a los 30 °C en el momento de floración y llenado de granos, en su estudio las variedades que fueron sometidas a temperaturas superiores disminuyeron el contenido de P de 28,00 a 26,00%, a un 23,00 a 20,00%.

El análisis integral de los genotipos de lenteja es una estrategia prometedora y sostenible para mejorar tanto los caracteres productivos como los de calidad nutricional; es importante tener un enfoque dirigido a la biofortificación de las semillas y mejorar la biodisponibilidad de los nutrientes mediante técnicas de mejoramiento convencional.

## 7 CONCLUSIONES

- La distribución de frecuencias y el análisis de agrupamiento para los caracteres cualitativos demostraron la existencia de variabilidad entre las variedades de lenteja evaluadas, pudiendo utilizarse en la identificación de variedades y para diseñar estrategias de hibridación entre parentales.
- Los diferentes análisis multivariados realizados en este estudio permitieron detectar una elevada diversidad entre las variedades de lenteja para diferentes caracteres cuantitativos de importancia agronómica, industrial y nutricional.
- Se obtuvieron valores altos de heredabilidad en sentido amplio y coeficientes de variación para todos los caracteres cuantitativos analizados en este estudio lo que sugiere poca influencia ambiental y un gran potencial de las variedades para ser usadas en futuros programas de mejora a través de la selección de estos caracteres.
- La evaluación de las variedades en distintos ambientes permitió identificar siete variedades que pudieron desarrollarse correctamente en las siembras tardías, permitiendo en un futuro la selección de materiales que pueden ser sembrados fuera de la fecha óptima.
- Los caracteres cuantitativos estudiados mostraron amplios rangos de variación, principalmente para los caracteres rendimiento de planta, números de vainas por planta y número de semillas por planta, destacándose los genotipos 42a, 54a, 55a, 57a, 58a y 59a.
- Se encontraron variedades de lenteja con alto contenido proteico y baja concentración de antinutrientes, superiores al testigo Silvina (30r, 16a, 42a, 27r y 23a) demostrando que las semillas de lenteja son un producto alimenticio de alta calidad nutricional.
- El análisis de envejecimiento acelerado permitió identificar variedades con mayor poder de retención de color seminal y capacidad de germinación que el testigo comercial Silvina (32a, 39a, 42a y 44a) pudiendo utilizarse como potenciales variedades comerciales.
- Se encontraron variedades que presentaron mayor capacidad de ABH<sub>2</sub>O que el testigo Silvina, con porcentajes superiores al 106,00% y tiempos de cocción bajos (27 a 32 min) (16a, 31r, 32a y 45a), implicando menores costos de producción y a su vez favoreciendo al consumidor.

- En base a los resultados obtenidos en este estudio, se pudieron seleccionar variedades para ser utilizadas como parentales en futuros programas de hibridación para desarrollar nuevos genotipos precoces, con buenas características productivas y adaptados a fechas de siembra tardías y, a su vez con características nutricionales superiores aptos para ser utilizados en programas de biofortificación.

## 8 BIBLIOGRAFÍA

- Abdel-Aal ESM, Ragaei S, Rabalski I, Warkentin T, Vandenberg A. 2019. Nutrient content and viscosity of Saskatchewan-grown pulses in relation to their cooking quality. *Canadian Journal of Plant Science*. 99: 67–77. <https://doi.org/10.1139/cjps-2018-0140>
- Alam MZ, Hoque MA, Ahammed GJ, McGee R, Carpenter-Boggs L. 2019. Arsenic accumulation in lentil (*Lens culinaris*) genotypes and risk associated with the consumption of grains. *Scientific Reports*. 9: 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-45855-z>
- Alzohairy AM. 2008. GelAnalyzer 3 ©: The first Arabic Bioinformatic software for gel analysis H3ABioNet View project H3ABioNet View project. Article in *Journal of Cell and Molecular Biology*.
- Bamdad F, Dokhani S, Keramat J. 2009. Functional assessment and subunit constitution of Lentil (*Lens culinaris*) proteins during Germination. *International Journal of Agriculture and Biology*. 11: 690–694.
- Barreiro E. 2008. Producción de lentejas. Argentina: Alimentos Argentinos. 49: 52.
- Barrios A. 2012. Adaptación a la siembra invernal y tolerancia al frío en lenteja (*Lens culinaris* Medik). Mapeo de QTLs involucrados. Universidad de León.
- Barulina, H. 1930. Lentils of the USSR and other countries. *Bulletin of Applied Genetics and Plant Breeding (Leningrad)*, Supplement 40, 225-238. (In Russian).
- Benayad A, Aboussaleh Y. 2021. Mineral Composition of Lentils: Physiological Functions, Antinutritional Effects, and Bioavailability Enhancement. *Journal of Food Quality*. <https://doi.org/10.1155/2021/5515654>
- Beninger CW, Hosfield GL. 2003. Antioxidant Activity of Extracts, Condensed Tannin Fractions, and Pure Flavonoids from *Phaseolus vulgaris* L. Seed Coat Color Genotypes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 51: 7879–7883. <https://doi.org/10.1021/jf0304324>
- Bermejo C, Anido FSL, Cointry EL. 2012. Descripción de líneas recombinantes de lenteja (RIL) mediante caracteres morfológicos. *Asociación Argentina de Horticultura*. 31(74): 12–17.
- Bermejo C, Cazzola F, Cointry E. 2017. Prueba de envejecimiento acelerado en semillas de lenteja (*Lens culinaris* Medik) como criterio de selección de nuevas variedades de alta calidad comercial y potencial de almacenamiento, en: SBR. p. 1.

- Bermejo C, Cazzola F, Maglia F, Cointry E. 2019. Selection of parents and estimation of genetic parameters using BLUP and molecular methods for lentil (*Lens culinaris* Medik.) breeding program in Argentina. *Experimental Agriculture*. 56(1): 12–25. <https://doi.org/10.1017/S0014479719000061>
- Bermejo C, Cravero V, López Anido F, Cointry E. 2010. Agronomic and molecular evaluation of recombinant inbred lines (RILs) of lentil. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*. 2 (9): 280–285.
- Bermejo C, Crippa I, Espósito M, Cravero V, Cointry E. 2008. Caracterización de variedades de lenteja mediante marcadores morfológicos. 3: 35–43.
- Bermejo C, Gatti I, Caballero N, Cravero V, Martin E, Cointry E. 2014. Study of diversity in a set of lentil RILs using morphological and molecular markers. *Australian Journal of Crop Science*. 8: 689–696.
- Bermejo CJ. 2013. Herramientas biotecnológicas en la mejora de lenteja (*Lens culinaris* Medik) para su producción sustentable. Tesis doctoral, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Rosario, Argentina 180p
- Bhatty RS. 1988. Composition and Quality of Lentil (*Lens culinaris* Medik): A Review. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*. 21: 144–160. [https://doi.org/10.1016/s0315-5463\(88\)70770-1](https://doi.org/10.1016/s0315-5463(88)70770-1)
- Bramardi S. J. 2000. Estrategias para el análisis de datos en la caracterización de recursos genéticos. Tesis doctoral, departamento de estadística e investigación operativa. Universidad Politécnica de Valencia, España. 388 p.
- Cárdenas RM, Ortiz Pérez RH, Rodríguez Miranda O dile, De la Fé ontenegro CF, Piedra Lamz A. 2014. Comportamiento agronómico de la lenteja (*Lens culinaris* Medik.) en la localidad de Tapaste, Cuba. *Cultivos tropicales*. 35: 92–99.
- Cardoso FR, Brasileiro L de O, Ragassi CF, Carvalho AD de, Silva PP da, Vieira J V, Nascimento WM. 2021. Morpho-agronomic characterization and genetic divergence in lentil genotypes. *Horticultura Brasileira*. 39: 169–177. <https://doi.org/10.1590/s0102-0536-20210207>
- Chaurasia KR, PS M, Mani N, Kumar N. 2021. Assessment of morphological and biochemical characters in lentil (*Lens culinaris* Medik.) genotypes. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 10: 442–447.
- Choukri H, Hejjaoui K, El-Baouchi A, El haddad N, Smouni A, Maalouf F, Thavarajah D, Kumar S. 2020. Heat and Drought Stress Impact on Phenology, Grain Yield, and

- Nutritional Quality of Lentil (*Lens culinaris* Medikus). *Frontiers in Nutrition*. 7: 1–14. <https://doi.org/10.3389/fnut.2020.596307>
- Crippa I, Bermejo C, Espósito M, Martin E, Cravero V, Liberatti D, López Anido F, Cointry E. 2009. Genetic variability, correlation and path analyses for agronomic traits in lentil genotypes. *International Journal of Plant Breeding*. 3: 76–80.
- Crisci JV, López MF. 1983. Introducción a la Teoría y Práctica de la Taxonomía Numérica, en: *Monografías de La OEA*. Washington DC. p. 132.
- De Freitas R, Nascimento W marcos. 2006. Teste de envelhecimento acelerado em sementes de niger. *Journal of Seed Science*. 37: 234–240. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v37n315>
- Dell'Aquila A. 2006. Red-Green-Blue (RGB) colour density as a non-destructive marker in sorting deteriorated lentil (*Lens culinaris* Medik.) seeds. *Seed Science and Technology*. 34: 609–619. <https://doi.org/10.15258/sst.2006.34.3.08>
- Dell'Aquila A, Van Eck JW, Van Der Heijden GWAM. 2000. The application of image analysis in monitoring the imbibition process of white cabbage (*Brassica oleracea* L.) seeds. *Seed Science Research*. 10: 163–169. <https://doi.org/10.1017/S0960258500000179>
- Di Rienzo JA, Casanoves F, Balzarini MG, Gonzalez LA, Tablada EM, Robledo CW. 2008. *InfoStat*, versión 2008. Grupo Infostat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Dice LR. 1945. Measures of the Amount of Ecologic Association Between Species Author (s): Lee R. Dice Published by: Ecological Society of America *Stable Ecology*. 26: 297–302. <http://www.jstor.org/stable/1932409>.
- Doria J. 2010. Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos Tropicales*. 31: 74–85.
- Duke JA. 1981. Legume Species. *Handbook of legumes of world economic importance*. 7: 5–310. [https://doi.org/10.1007/978-1-4684-8151-8\\_2](https://doi.org/10.1007/978-1-4684-8151-8_2)
- Erskine W. 1996. Seed-size effects on lentil (*Lens culinaris*) yield potential and adaptation to temperature and rainfall in West Asia. *Journal of Agricultural Science*. 126: 335–341. <https://doi.org/10.1017/s002185960007489x>
- Espósito MA, Gatti I, Bermejo CJ, Cointry EL. 2020. Evaluation of a lentil collection (*Lens culinaris* Medik) using morphological traits and digital phenotyping. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*. 52: 1–13.

- FAOSTAT. 2019, Food and Agriculture Organisation of the United Nations. Rome. Disponible en: <http://faostat.fao.org>. Último acceso: 21 de agosto de 2021.
- Farooq M, Hussain M, Usman M, Farooq S, Alghamdi SS, Siddique KHM. 2018. Impact of Abiotic Stresses on Grain Composition and Quality in Food Legumes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 66: 8887–8897. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b02924>
- FAOSTAT. 2019, Food and Agriculture Organization of the United Nations. 1996. *Production Yearbook*. Rome, Italy.
- Ford R, Redden RJ, Materne M, Taylor PWJ. 2007. Lentil, en: *Pulses, Sugar and Tuber Crops. Genome Mapping and Molecular Breeding in Plants*. Berlin, Heidelberg. Springer, pp. 91–108. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-34516-9\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-540-34516-9_5)
- Fratini R, Vega P de la. 2011. Genetics of economic traits in lentil: Seed traits and adaptation to climatic variations. *Grain Legum*. 18–20.
- Gaad D, Laouar M, Gaboun F, Abdelguerfi A. 2018. Collection and agro morphological characterization of algerian accessions of lentil (*Lens culinaris*). *Biodiversitas*. 19: 183–193. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d190125>
- Gan Y, Hanson KG, Zentner RP, Selles F, McDonald CL. 2005. Response of lentil to microbial inoculation and low rates of fertilization in the semiarid Canadian prairies. *Canadian Journal of Plant Science*. 85 (4): 847–855. <https://doi.org/https://doi.org/10.4141/P04-111>
- Gordin CRB, de Scalón SPQ, Masetto TE. 2006. Teste de envelhecimento acelerado em sementes de niger. *Journal of Seed Science*. 37: 234–240. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v37n315>
- Gordin CRB, Scalón S de PQ, Masetto TE. 2015. Accelerated aging test in niger seeds. *Journal of Seed Science*. 37: 234–240. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v37n315>
- Gupta S, Das S, Dikshit HK, Mishra GP, Aski MS, Bansal R, Tripathi K, Bhowmik A, Kumar S. 2021. Genotype by environment interaction effect on grain iron and zinc concentration of indian and mediterranean lentil genotypes. *Agronomy*. 11. <https://doi.org/10.3390/agronomy11091761>
- Gupta SD, Thavarajah D, Knutson P, Thavarajah P, McGee RJ, Coyne CJ, Kumar S. 2013. Lentils (*Lens culinaris* L.), a rich source of folates. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 61: 7794–7799. <https://doi.org/10.1021/jf401891p>
- Guldiken B, Stobbs J, Nickerson M. 2021. Heat induced gelation of pulse protein networks.

- Food Chemistry. 350: 129158. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129158>
- Hassan MS, Raslan MAE, Kalhy GM, Ali MA. 2021. Evaluation and path analysis for yield and its components in some genotypes of lentil (*Lens culinaris* Medikus) under Upper Egypt condition. SVU-International Journal of Agricultural Sciences. 3: 37–51. <https://doi.org/10.21608/svuijas.2021.65161.1084>
- Hirschi KD. 2009. Nutrient biofortification of food crops. Annual Review of Nutrition. 29: 401–421. <https://doi.org/10.1146/annurev-nutr-080508-141143>
- Holland, J. B., Nyquist, W. E., & Cervantes-Martínez, C. T. 2003. Estimating and interpreting heritability for plant breeding: An update. Plant Breeding Reviews, 22, 9–112. <https://doi.org/10.1002/9780470650202>.
- Jiménez Cuesta, M.; Cuquerella, J. y Martínez Jávega, J. M. 1981. Determination of a color index for citrus fruit degreening. Proc. Int. Soc. Citriculture, 2: 750-752.
- Joehnke MS, Jeske S, Ispiryán L, Zannini E, Arendt EK, Bez J, Sørensen JC, Petersen IL. 2021. Nutritional and anti-nutritional properties of lentil (*Lens culinaris*) protein isolates prepared by pilot-scale processing. Food Chemistry: X. 9. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2020.100112>
- Johnson N, Boatwright JL, Bridges W, Thavarajah P, Kumar S, Shipe E, Thavarajah D. 2021. Genome-wide association mapping of lentil (*Lens culinaris* Medikus) prebiotic carbohydrates toward improved human health and crop stress tolerance. Scientific Reports. 11: 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93475-3>
- Kapoor N, Arya A, Siddiqui M, Amir A, Kumar H. 2010. Seed Deterioration in Chickpea (*Cicer arietinum* L.) under Accelerated Ageing. Asian Journal of Plant Sciences. 9 (3): 158–162
- Khazaei H, Fedoruk M, Caron CT, Vandenberg A, Bett KE. 2018. Single Nucleotide Polymorphism Markers Associated with Seed Quality Characteristics of Cultivated Lentil. The Plant Genome. 11: 170051. <https://doi.org/10.3835/plantgenome2017.06.0051>
- Khazaei H, Subedi M, Nickerson M, Martínez-Villaluenga C, Frias J, Vandenberg A. 2019. Seed Protein of Lentils: Current Status, Progress, and Food Applications. Foods Sci. Nutr. 47–56. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409547-2.14314-8>
- Kosev V, Pachev I, Angelova S, Mikić A. 2012. Inheritance of quantitative traits in crosses between two *Pisum sativum* subspecies with particular reference to their breeding value. Russian Journal of Genetics. 48: 41–46. <https://doi.org/10.1134/S102279541111010X>

- Kruskal WH, Wallis WA. 1952. Use of Ranks in One-Criterion Variance Analysis. *Journal of the American Statistical Association.* 47: 583–621. <https://doi.org/10.1080/01621459.1952.10483441>
- Kumar J, Sen Gupta D, Baum M, Varshney RK, Kumar S. 2021. Genomics-assisted lentil breeding: Current status and future strategies. *Legume Science.* 1–20. <https://doi.org/10.1002/leg3.71>
- Kumar J, Singh J, Kanaujia R, Gupta S. 2016. Protein content in wild and cultivated taxa of lentil (*Lens culinaris ssp. culinaris* Medikus). *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding.* 76: 631–634. <https://doi.org/10.5958/0975-6906.2016.00078.X>
- Kumar Maneesh M, Prasad K, Sarat Chandra T, Debnath S. 2018. Evaluation of physical properties and hydration kinetics of red lentil (*Lens culinaris*) at different processed levels and soaking temperatures. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences.* 17: 330–338. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.07.004>
- Kumar P, Trivedi A, Adarsh A, Verma R, Vyas RP, Yadav MK. 2018. Genetic characterization of lentil genotypes based on SDS-PAGE. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry.* 7: 274–278.
- Kumar V. 2020. Genetic variability and character association among the yield and yield attributing components in lentil (*Lens culinaris* Medik.). *Bangladesh Journal of Botany.* 49: 305–312. <https://doi.org/10.3329/bjb.v49i2.49311>
- Ladizinsky G, Hebrew T. 1979. the Origin of Lentil and its wild genepool. *Euphytica.* 28: 179–187.
- Ladjal-Ettoumi Y, Boudries H, Chibane M, Romero A. 2016. Pea, Chickpea and Lentil Protein Isolates: Physicochemical Characterization and Emulsifying Properties. *Food Biophysics.* 11: 43–51. <https://doi.org/10.1007/s11483-015-9411-6>
- Lázaro A, Ruiz M, De La Rosa L, Martín I. 2001. Relationships between agro/morphological characters and climatic parameters in Spanish landraces of lentil (*Lens culinaris* Medik.). *Genetic Resources and Crop Evolution.* 48: 239–249. <https://doi.org/10.1023/A:1011234126154>
- Makkawi M, Van Gastel AJG. 2007. Effect of accelerated ageing on germination and vigor in lentil (*Lens culinaris* Medikus) seed. *Journal of New Seeds.* 8: 87–98. [https://doi.org/10.1300/J153v08n03\\_06](https://doi.org/10.1300/J153v08n03_06)
- Mirali M, Purves RW, Stonehouse R, Song R, Bett K, Vandenberg A. 2016. Genetics and biochemistry of zero-tannin lentils. *PLoS ONE.* 11: 1–16.

- <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0164624>
- Monti L., Grillo S. 1983. Legume seed improvement for protein content and quality. *Qual Plant Plant Foods Hum Nutri.* 32: 253–266.
- Muhammad A, Wani SH, Muhammad A, Amjad H, Muhammad R, Muhammad S, Muhammad A. 2021. Lentil Wild Genetic Resource: A Potential Source of Genetic Improvement for Biotic and Abiotic Stress Tolerance, en: Academic Press. pp. 321–341. [doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822137-2.00017-5](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822137-2.00017-5)
- Muhammad Asif, Lloyd W. Rooney, Rashida Ali & Mian N. Riaz (2013) Application and Opportunities of Pulses in Food System: A Review, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53:11, 1168-1179, doi:10.1080/10408398.2011.574804
- Nasar Abbas SM. 2007. Investigation of environmental staining and storage on discolouration and cooking quality in Faba bean (*Vicia faba L.*). Tesis doctoral, Facultad de Ciencias Naturales y Agrícolas de la Universidad de Australia Occidental, Australia 164p.
- Neupane S, Dhakal R, Wright DM, Shrestha DK, Dhakal B, Bett KE. 2021. Strategic identification of new genetic diversity to expand lentil (*Lens culinaris* Medik.) production (using nepal as an example). *Agronomy.* 11. <https://doi.org/10.3390/agronomy11101933>
- Neyra Rivera CD. 2014. Estudio de genes codificantes de proteínas de reserva, mapeo genético, análisis de QTLs y estudio de genes de resistencia a *Ascochyta lentis* en *Lens*. Tesis doctoral. Universidad De León Facultad De Ciencias Biológicas Y Ambientales. España 252p.
- Nosworthy MG, Medina G, Franczyk AJ, Neufeld J, Appah P, Utioh A, Frohlich P, House JD. 2018. Effect of processing on the in vitro and in vivo protein quality of red and green lentils (*Lens culinaris*). *Food Chemistry.* 240: 588–593. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.129>
- Nozzolillo C, Bezada MDB. 1984. Browning of Lentil Seeds, Concomitant Loss of Viability, and the Possible Role of Soluble Tannins in Both Phenomena. *Canadian Journal of Plant Science.* 64: 815–824. <https://doi.org/10.4141/cjps84-113>
- Plaza J, Morales-Corts MR, Pérez-Sánchez R, Revilla I, Vivar-Quintana AM. 2021. Morphometric and nutritional characterization of the main spanish lentil cultivars. *Agriculture (Switzerland).* 11: 1–14. <https://doi.org/10.3390/agriculture11080741>
- Podder R, Al Imam MH, Jahan I, Md Yunus F, Muhit M, Vandenberg A. 2020. Sensory Acceptability of Dual-Fortified Milled Red and Yellow Lentil (*Lens culinaris* Medik.)

- Dal in Bangladesh. *Foods*. 9: 1–18. <https://doi.org/10.3390/foods9080992>
- Prajapati A, Singh RP, Kumar B, Kewat RN, Bahadur R. 2020. Biochemical studies and anti-nutritional factors of lentil (*Lens culinaris* Medik) varieties. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 9: 1490–1493.
- Rajendran K, Coyne CJ, Zheng P, Saha G, Main D, Amin N, Ma Y, Kisha T, Bett KE, McGee RJ, Kumar S. 2021. Genetic diversity and GWAS of agronomic traits using an ICARDA lentil (*Lens culinaris* Medik.) Reference plus collection. *Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization*. 19: 279–288. <https://doi.org/10.1017/S147926212100006X>
- Ríos-Castillo I, Acosta E, Samudio-Núñez E, Hruska A, Gregolin A. 2018. Beneficios nutricionales, agroecológicos y comerciales de las legumbres. *Revista Chilena de Nutrición*. 45: 8–13. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182018000200008>
- Rodríguez GR, Moysenko JB, Robbins MD, Morejón NH, Francis DM, van der Knaap E. 2010. Tomato analyzer: A useful software application to collect accurate and detailed morphological and colorimetric data from two-dimensional objects. *Journal of Visualized Experiments*. 1–11. <https://doi.org/10.3791/1856>
- Roy F, Boye JI, Simpson BK. 2010. Bioactive proteins and peptides in pulse crops: Pea, chickpea and lentil. *Food Research International*. 43: 432–442. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.09.002>
- Roy S, Slam MAI, Arker AS, Smail I, Afii MYR, Ondal MMAM. 2012. Morphological characterization of lentil accessions: Qualitative characters. *American Journal of Botany*. 41: 187–190.
- Saikenova AZ, Kudaibergenov MS, Nurgassenov TN, Saikenov BR, Didorenko SV. 2021. Crop yield and quality of lentil varieties in the conditions of the southeast of kazakhstan. *OnLine Journal of Biological Sciences*. 21: 33–40. <https://doi.org/10.3844/ojbsci.2021.33.40>
- Sehgal A, Sita K, Bhandari K, Kumar S, Kumar J, Vara Prasad P V., Siddique KHM, Nayyar H. 2019. Influence of drought and heat stress, applied independently or in combination during seed development, on qualitative and quantitative aspects of seeds of lentil (*Lens culinaris* Medikus) genotypes, differing in drought sensitivity. *Plant Cell and Environment*. 42: 198–211. <https://doi.org/10.1111/pce.13328>
- Sehgal A, Sita K, Kumar J, Kumar S, Singh S, Siddique KHM, Nayyar H. 2017. Effects of drought, heat and their interaction on the growth, yield and photosynthetic function of

- lentil (*Lens culinaris* Medikus) genotypes varying in heat and drought sensitivity. *Frontiers in Plant Science*. 8. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01776>
- Sellami MH, Pulvento C, Lavini A. 2021. Selection of suitable genotypes of lentil (*Lens culinaris* Medik.) under rainfed conditions in south Italy using multi-trait stability index (mtsi). *Agronomy*. 11. <https://doi.org/10.3390/agronomy11091807>
- Shafaei SM, Masoumi AA, Roshan H. 2016. Analysis of water absorption of bean and chickpea during soaking using Peleg model. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 15: 135–144. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2014.08.003>
- Shapiro, S. S. y Wilk, M. B. 1965. An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). *Biometrika*, 52, 591-611.
- Singh M. 2018. Introduction, Lentils: Potential Resources for Enhancing Genetic Gains. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813522-8.00001-7>
- Singh M, Kumar S, Basandrai AK, Basandrai D, Malhotra N, Saxena DR, Gupta D, Sarker A, Singh K. 2020. Evaluation and identification of wild lentil accessions for enhancing genetic gains of cultivated varieties. *PLoS ONE*. 15: 1–14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229554>
- Singh N, Singh G, Aggarwal N, Khanna V. 2018. Yield enhancement and phosphorus economy in lentil (*Lens culinaris* Medikus) with integrated use of phosphorus, Rhizobium and plant growth promoting rhizobacteria. *Journal of Plant Nutrition*. 41: 737–748. <https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1425437>
- Siqueira BS, Pereira WJ, Batista KA, Oomah BD, Fernandes KF, Bassinello PZ. 2014. Influence of Storage on Darkening and Hardening of Slow- and Regular-Darkening Carioca Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Genotypes. *Journal of Agricultural Studies*. 2: 87. <https://doi.org/10.5296/jas.v2i2.5859>
- Sistema Nacional De Vigilancia Y Monitoreo De Plagas. Disponible en: <https://sinavimo.gob.ar>. Último acceso: 20 de noviembre de 2021.
- Sonnante G, Hammer K, Pignone D. 2009. From the cradle of agriculture, a handful of lentils: History of domestication. *Rendiconti Lincei*. 20: 21–37. <https://doi.org/10.1007/s12210-009-0002-7>
- Subedi M, Khazaei H, Arganosa G, Etukudo E, Vandenberg A. 2021. Genetic stability and genotype × environment interaction analysis for seed protein content and protein yield of lentil. *Crop Science*. 61: 342–356. <https://doi.org/10.1002/csc2.20282>
- Thanopoulos R, Chatzigeorgiou T, Kostouros NM, Bebeli PJ. 2021. State of Crop Landraces

- in Arcadia (Greece) and In-Situ Conservation Potential. Diversity.
- Thavarajah D, Thavarajah P, Sarker A, Vandenberg A. 2009. Lentils (*Lens culinaris* Medikus *subspecies culinaris*): A whole food for increased iron and zinc intake. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 57: 5413–5419. <https://doi.org/10.1021/jf900786e>
- Thavarajah D, Thavarajah P, Wejesuriya A, Rutzke M, Glahn RP, Combs GF, vandenberg A. 2011. The potential of lentil (*Lens culinaris* L.) as a whole food for increased selenium, iron, and zinc intake: Preliminary results from a 3-year study. *Euphytica*. 180: 123–128. <https://doi.org/10.1007/s10681-011-0365-6>
- Theologidou GS, Lazaridou A, Zorić L, Tsialtas IT. 2018. Cooking quality of lentils produced under mediterranean conditions. *Crop Science*. 58: 2121–2130. <https://doi.org/10.2135/cropsci2018.02.0129>
- Van Oss H, Aron Y, Ladizinsky G. 1997. Chloroplast DNA variation and evolution in the genus *Lens mill*. *Theoretical and Applied Genetics*. 94: 452–457. <https://doi.org/10.1007/s001220050436>
- Vaz Patta MC, Amarowicz R, Aryee ANA, Boye JI, Chung HJ, Martín-Cabrejas MA, Domoney C. 2015. Achievements and Challenges in Improving the Nutritional Quality of Food Legumes. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 34: 105–143. <https://doi.org/10.1080/07352689.2014.897907>
- Veeranna J, Mishra AK. 2017. Estimation of Evapotranspiration and Irrigation Scheduling of Lentil using CROPWAT 8.0 Model for Anantapur District, Andhra Pradesh, India. *Journal of AgriSearch*. 4: 255–258. <https://doi.org/10.21921/jas.v4i04.10204>
- Vogelsang-O’Dwyer M, Zannini E, Arendt EK. 2021. Production of pulse protein ingredients and their application in plant-based milk alternatives. *Trends in Food Science and Technology*. 110: 364–374. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.090>
- Wang N, Daun JK. 2006. Effects of variety and crude protein content on nutrients and anti-nutrients in lentils (*Lens culinaris*). *Food Chemistry*. 95: 493–502. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.02.001>
- Wang N, Hatcher DW, Toews R, Gawalko EJ. 2009. Influence of cooking and dehulling on nutritional composition of several varieties of lentils (*Lens culinaris*). *LWT - Food Science and Technology*. 42: 842–848. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.10.007>
- Wright DM, Neupane S, Heidecker T, Haile TA, Chan C, Coyne CJ, McGee RJ, Udupa S, Henkrar F, Barilli E, Rubiales D, Gioia T, Logozzo G, Marzario S, Mehra R, Sarker A, Dhakal R, Anwar B, Sarkar D, Vandenberg A, Bett KE. 2021. Understanding

- photothermal interactions will help expand production range and increase genetic diversity of lentil (*Lens culinaris* Medik.). *Plants People Planet*. 3: 171–181. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10158>
- Xu B, Chang SKC. 2007. A comparative study on phenolic profiles and antioxidant activities of legumes as affected by extraction solvents. *Journal of Food Science*. 72. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2006.00260.x>
- Xu B, Chang SKC. 2008. Effect of soaking, boiling, and steaming on total phenolic content and antioxidant activities of cool season food legumes. *Food Chemistry*. 110: 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.01.045>
- Yadav SS, McNeil D, Stevenson PC. 2007. *Lentil an Ancient Crop for Modern times*. Springer.
- Yan W, Hunt LA. 2002. Biplot analysis of diallel data. *Crop Science*. 42: 21–30. <https://doi.org/10.2135/cropsci2002.0021>
- Zhang B, Deng Z, Tang Y, Chen PX, Liu R, Ramdath DD, Liu Q, Hernandez M, Tsao R. 2014. Effect of domestic cooking on carotenoids, tocopherols, fatty acids, phenolics, and antioxidant activities of lentils (*Lens culinaris*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 62: 12585–12594. <https://doi.org/10.1021/jf504181r>
- Zou Y, Chang SKC, Gu Y, Qian SY. 2011. Antioxidant activity and phenolic compositions of lentil (*Lens culinaris* var. *Morton*) extract and its fractions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 59: 2268–2276. <https://doi.org/10.1021/jf104640k>

## 9 ANEXOS

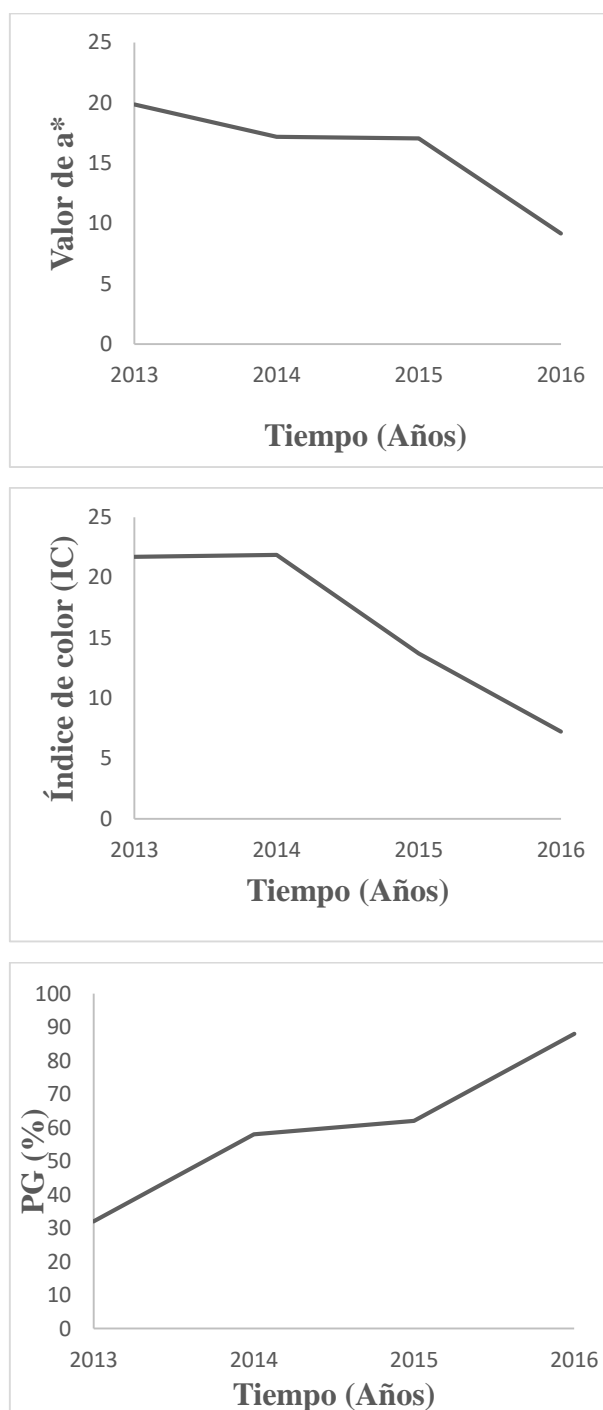
## Anexo I

Tabla 1 Nombre, origen /características y subespecie de los 40 genotipos de lenteja utilizados en la presente tesis.

<b>Variedad</b>	<b>Características/ Origen</b>	<b>Subespecie</b>
Silvina	Argentina	Macrosperma
8a	Siria/ ICARDA	Macrosperma
8r	Siria/ ICARDA	Microsperma
10r	Siria/ ICARDA	Microsperma
15r	Siria/ ICARDA	Microsperma
16a	Siria/ ICARDA	Macrosperma
16r	Siria/ ICARDA	Microsperma
22a	Siria/ ICARDA	Macrosperma
23a	Siria/ ICARDA	Macrosperma
27r	Siria/ ICARDA	Microsperma
30a	Siria/ ICARDA	Macrosperma
30r	Siria/ ICARDA	Microsperma
31r	Siria/ ICARDA	Microsperma
32a	Siria/ ICARDA	Macrosperma
33a	Siria/ ICARDA	Macrosperma
34r	Siria/ ICARDA	Microsperma
39a	Bahía Blanca	Macrosperma
42a	RILs del programa de mejoramiento de leguminosas de grano de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNR, provenientes del cruzamiento intraespecifico ILL 8072 X ILL 6972)	Macrosperma
42r	RILs del programa de mejoramiento de leguminosas de grano de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNR, provenientes del cruzamiento intraespecifico L4671 X L 309)	Microsperma
44a	Turquía	Macrosperma
45a	Grecia	Macrosperma
47a	México	Macrosperma
51a	Chile	Macrosperma
54a	RILs del programa de mejoramiento de leguminosas de grano de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNR, provenientes del cruzamiento intraespecifico ILL 8072 X ILL 6972)	Macrosperma
55a	RILs del programa de mejoramiento de leguminosas de grano de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNR, provenientes del cruzamiento intraespecifico ILL 8107 X ILL 6199)	Macrosperma

56-2	RILs derivadas de F3, proveniente del ICARDA y tolerante a sequia	Microsperma
56a	RILs del programa de mejoramiento de leguminosas de grano de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNR, provenientes del cruzamiento intraespecifico ILL 8072 X ILL 6972)	Macrosperma
57-5/6	RILs derivadas de F3, proveniente del ICARDA y tolerante al vuelco	Microsperma
57a	RILs del programa de mejoramiento de leguminosas de grano de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNR, provenientes del cruzamiento intraespecifico ILL 8072 X ILL 6972)	Macrosperma
58-13	RILs derivadas de F3, proveniente del ICARDA y precoces	Microsperma
58-19/3	RILs derivadas de F3, proveniente del ICARDA y precoces	Microsperma
58-22/2	RILs derivadas de F3, proveniente del ICARDA y precoces	Microsperma
58-25/16	RILs derivadas de F3, proveniente del ICARDA y precoces	Macrosperma
58-25/20	RILs derivadas de F3, proveniente del ICARDA y precoces	Macrosperma
58-7/9	RILs derivadas de F3, proveniente del ICARDA y precoces	Microsperma
58a	RILs del programa de mejoramiento de leguminosas de grano de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNR, provenientes del cruzamiento intraespecifico ILL 8072 X ILL 6972)	Macrosperma
59a	RILs del programa de mejoramiento de leguminosas de grano de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNR, provenientes del cruzamiento intraespecifico ILL 8072 X ILL 6972)	Macrosperma
63a	RILs del programa de mejoramiento de leguminosas de grano de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNR, provenientes del cruzamiento intraespecifico ILL 7938 X ILL 6037)	Macrosperma
88a	Siria/ ICARDA	Macrosperma
144a	Siria/ ICARDA	Macrosperma

Figura 1 Curva de envejecimiento natural de la variedad comercial Silvina, realizada por Bermejo et al. (2017).



Curva de envejecimiento natural de la variedad comercial Silvina durante los años 2013 a 2016. a\*: zona de variación entre el verde y el rojo del espectro, IC: índice de color, PG: porcentaje de germinación (%).

