

Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales  
Universidad Nacional de La Plata



**“Características de sanidad, rendimiento y calidad en genotipos de avena en filiales avanzadas de un programa de mejoramiento”.**

*Tesis presentada para optar al título de Magister Scientiae en Protección Vegetal de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata*

**Ing. Agr. Juan Ignacio Dietz**

Director: PhD. MSc. Ing. Agr. María Rosa Simón

Co-Director: MSc. Ing. Agr. Pablo Campos

Jurado de Tesis: MSc. Ing. Agr. Liliana Wehrhahne

Jurado de Tesis: Dra. Ing. Agr. Mónica Aulicino

Jurado de Tesis: Dr. Héctor Paccapelo

Fecha de defensa de tesis: 24 de Abril de 2018.

## DEDICATORIAS

*Esta tesis es dedicada a mis padres **Carlos** y **Claudia** por su amor y por su incansable esfuerzo para que mis hermanos y yo podamos estudiar.*

*A **Laura**, por su amor y apoyo durante toda la carrera.*

*A mis hermanos **Martin** y **Cecilia** por las vivencias durante estos años.*

*A mis **amigos** de la vida que me acompañaron en este camino.*

*A mis perros **Luna** y **Toto**.*

## AGRADECIMIENTOS

*Un especial agradecimiento a la **Dra. María Rosa Simón** por su constante dedicación, predisposición y apoyo a lo largo del desarrollo de este trabajo.*

*Al **MSc. Ing. Agr. Pablo Campos** por su trabajo en los ensayos y los aportes para la redacción de la tesis.*

*A mis compañeros y amigos de la Cátedra de Cerealicultura, con quienes compartí horas entrañables a lo largo de este camino de formación profesional y personal.*

*Al **MSc. Ing. Agr. Matías Schierenbeck**, con quien he trabajado en los ensayos de campo y laboratorio.*

*Al **Ing. Agr. Martín Pardi** y personal no-docente de la Estación Experimental **J. Hirschhorn** por sus aportes en la conducción de los ensayos a campo.*

*Al personal de la **EEA INTA Bordenave** por su colaboración en la conducción de los ensayos.*

*A los tesisistas de grado que codirigí, el **Ing. Agr. Nicolás Martínez**, el **Ing. Agr. Alejandro Genovés**, el **Ing. Agr. Gabriel Toha**, el **Ing. Agr. Hernán Bozzani**, la **Ing. Agr. Paula Spontón** y los alumnos **Tomas Disavia** y **Laura Da Silva** y pasantes que colaboraron en las tareas de campo y laboratorio.*

# ÍNDICE GENERAL

## **Capítulo 1: Introducción general**

1.1- Origen y dispersión	Página 1
1.2- Importancia, situación mundial y nacional	Página 1
1.3- Requerimientos edafoclimáticos y adversidades	Página 3
1.4- Calidad de grano	Página 5
1.5- Mejoramiento genético de avena	Página 5

## **Capítulo 2: Resistencia a roya de la hoja**

2.1-Introducción	Página 8
2.2-Materiales y métodos	
2.2.1- Ensayo 1: Caracterización de razas de <i>Puccinia coronata</i>	Página 17
2.2.2- Ensayo 2: Postulación de genes de resistencia en plántulas	Página 21
2.2.3- Ensayo 3: Evaluación en planta adulta	
a- <u>Estación Experimental INTA Bordenave</u>	Página 22
b- <u>Estación Experimental J. Hirschhorn, Los Hornos</u>	Página 23
2.3-Resultados	
2.3.1- Ensayo 1: Caracterización de razas de <i>Puccinia coronata</i>	Página 24
2.3.2- Ensayo 2: Postulación de genes de resistencia en plántulas	Página 28
2.3.3- Ensayo 3: Evaluación en planta adulta	
a- <u>Estación Experimental INTA Bordenave</u>	Página 30
b- <u>Estación Experimental J. Hirschhorn, Los Hornos</u>	Página 32
2.4-Discusión	Página 38

## **Capítulo 3: Rendimiento de pasto y grano**

3.1- Introducción	Página 46
3.2- Materiales y métodos	Página 49
3.3- Resultados	
3.3.1- Producción de biomasa	Página 53

3.3.2- Rendimiento de grano	Página 56
3.3- Correlación entre variables	Página 65
3.4- Análisis de estabilidad	Página 66
3.4- Discusión	Página 69
<b><u>Capítulo 4: Calidad de grano</u></b>	
4.1- Introducción	Página 77
4.2- Materiales y métodos	Página 83
4.3- Resultados	
4.3.1- Peso de mil granos	Página 86
4.3.2- Peso hectolítrico	Página 86
4.3.3- Porcentaje de cariopses	Página 89
4.3.4- Proteína	Página 89
4.3.5- Resistencia al descascarado	Página 90
4.3.6- Porcentaje de granos primarios, secundarios y terciarios	Página 91
4.3.7- Desarrollo de grano	Página 95
4.3.8- Correlación entre variables	Página 100
4.3.9- Análisis de estabilidad	Página 101
4.4- Discusión	Página 102
<b><u>Capítulo 5: Discusión general</u></b>	
5.1- Discusión general	Página 110
5.2- Conclusiones	Página 118
5.3- Significancia de esta investigación y nuevos interrogantes	Página 119
<b><u>Bibliografía</u></b>	Página 126

## ÍNDICE DE TABLAS

**Tabla 1.1:** Superficie sembrada de avena por provincia (Ministerio de Agroindustria, 2017).  
Página 2.

**Tabla 2.1:** Denominación, año de inscripción y origen de genotipos de avena usados en el ensayo en 2014. Página 18.

**Tabla 2.2:** Respuestas del hospedante y descripción de las reacciones de infección usadas en los sistemas de la roya de la hoja. Página 20.

**Tabla 2.3:** Nombre de los 20 genotipos de avena incluidos en los ensayos, denominación y origen. Página 21.

**Tabla 2.4:** Fórmula de virulencia de aislamientos característicos de las razas identificadas en Los Hornos en 2015. Página 25.

**Tabla 2.5:** Fórmula de virulencia de 14 aislamientos con diferentes combinaciones de virulencia. Página 29.

**Tabla 2.6:** Datos climáticos registrados durante el ensayo, en Estación Experimental INTA Bordenave en 2014 y 2015. Página 30.

**Tabla 2.7:** Severidad en planta adulta de 20 genotipos, en la localidad de Bordenave en dos años de ensayo. Página 31.

**Tabla 2.8:** Análisis de suelo en el sitio de los ensayos en la Estación Experimental J. Hirschhorn, Los Hornos. Página 32.

**Tabla 2.9:** Datos climáticos registrados durante los ensayos en Estación Experimental J. Hirschhorn, Los Hornos, en 2014 y 2015. Página 32.

**Tabla 2.10:** Cuadrados medios y valor de  $p$  (ANVA) de la severidad en tres momentos de cortes (EC39, EC60, EC82) y área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE), en dos años de ensayo en la localidad de Los Hornos, con 20 genotipos de avenas. Página 33.

**Tabla 3.1:** Cuadrados medios y valor de  $p$  (ANVA) de biomasa seca de primer corte (1<sup>er</sup> corte), segundo corte (2<sup>do</sup> corte), tercer corte (3<sup>er</sup> corte) y acumulada, en un ensayo comparativo de rendimiento de 20 genotipos de avena. Página 53.

**Tabla 3.2:** Cuadrados medios y valor de  $p$  (ANVA) de número de panojas (NP), número de granos por panoja (NGP), peso de mil granos (PMG) y Rendimiento, en un ensayo comparativo de rendimiento con 20 genotipos de avena. Página 57.

**Tabla 3.3:** Coeficiente de correlación de Pearson entre rendimiento y sanidad, en un ensayo comparativo de rendimiento con 20 genotipos de avena. Página 65.

**Tabla 3.4:** Valores medios, ecovalencia de Wricke ( $W_i$ ) y ranking, para NP, NGP, PMG y Rendimiento, en dos años de ensayo comparativo de rendimiento con 20 genotipos de avena. Página 68.

**Tabla 4.1:** Cuadrados medios y valor de  $p$  (ANVA) de PMG, PH, % de Cariopse, Proteína y resistencia al descascarado (RD), en un ensayo comparativo de rendimiento con 20 genotipos de avena. Página 86.

**Tabla 4.2:** Cuadrados medios y valor de  $p$  (ANVA) de granos primarios (% de Granos primarios), granos secundarios (% Granos secundarios) y granos terciarios (% Granos terciarios), en un ensayo comparativo de rendimiento con 20 genotipos de avena. Página 92.

**Tabla 4.3:** Medias de porcentajes de granos primarios, secundarios y terciarios, y diferencias entre medias de un ensayo de 20 genotipos de avena en dos años. Página 95.

**Tabla 4.4:** Cuadrados medios y valor de  $p$  (ANVA) de desarrollo de grano, en un ensayo comparativo de rendimiento con 20 genotipos de avena. Página 96.

**Tabla 4.5:** Medias de porcentajes las fracciones  $> 2,8$  mm; 2,8-2,5 mm; 5,5-2,2 mm;  $< 2,2$  mm y diferencias significativas entre medias; de un ensayo de 20 genotipos de avena en dos años. Página 99.

**Tabla 4.6:** Coeficiente de correlación de Pearson entre variables de sanidad, rendimiento y calidad, en un ensayo comparativo de rendimiento con 20 genotipos de avena. Página 100.

**Tabla 4.7:** Valores medios, ecovalencia de Wricke ( $W_i$ ) y ranking, para porcentaje de pepita, peso hectolitrico y resistencia al descascarado, en dos años de ensayo comparativo de rendimiento con 20 genotipos de avena. Página 101.

**Tabla anexo N° 1:** Reacciones en plántula de los cultivares difundidos frente a las diferentes razas identificadas en el año 2014. Reacciones superiores a 2+ se consideran susceptibles. Página 121.

**Tabla anexo N° 2:** Respuesta de las líneas isogénicas portadoras de genes de resistencia frente a aislamientos de *Puccinia coronata* recolectados en Los Hornos, LP en 2015. Página 122.

**Tabla Anexo N° 3:** Reacciones en plántula de los cultivares difundidos frente a las diferentes razas identificadas en el año 2015. Reacciones superiores a 2+ se consideran susceptibles. Páginas 123 y 124.

**Tabla anexo N°4:** Respuesta de las líneas isogénicas frente a una combinación de aislamientos de *Puccinia coronata*. Página 125.

**Tabla anexo N° 5:** Respuesta de los 20 genotipos frente a las razas inoculadas. Página 125.



## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.1:** Principales países productores (Cotrisa, 2017). Página 2
- Figura 2.1:** Ciclo completo de *Puccinia coronata*. Página 10
- Figura 2.2:** a y b) urediniosporas de Pc en hoja de avena; c) urediniosporas y teliosporas de Pc en plantas de avena. Página 12.
- Figura 2.3:** a) siembra de los set de líneas diferenciales; b) líneas diferenciales en EC11; c) invernáculo donde se realizó el ensayo; d) seguimiento del ensayo. Página 19.
- Figura 2.4:** a) emergencia del ensayo en Los Hornos; b) evaluación de severidad; c) muestreo de plantas para hacer severidad. Página 24.
- Figura 2.5:** Porcentaje de aislamientos con virulencia sobre 1 a 9 de los genes de resistencia. Página 26.
- Figura 2.6:** Porcentaje de aislamientos virulentos de la población recolectada en 2015 frente a genes de resistencia del set de líneas diferenciales. Página 27.
- Figura 2.7:** Porcentaje de aislamientos virulentos frente a genes de resistencia combinados, de la población recolectada en 2015. Página 27.
- Figura 2.8:** Número de genotipos que tendrían cada gen *Pc*. Página 29.
- Figura 2.9:** Valores de severidad en EC39 (promedio HB y HB-1) para la interacción *Año x Genotipo*, en dos años de ensayo con 20 genotipos de avena. Página 34.
- Figura 2.10:** Valores de severidad en EC 60 (promedio HB y HB-1) para la interacción *Año x Genotipo*, en dos años de ensayo con 20 genotipos de avena. Página 36.
- Figura 2.11:** Valores de severidad en EC82 (promedio HB y HB-1) para la interacción *Año x Genotipo*, en dos años de ensayo con 20 genotipos de avena. Página 37.
- Figura 2.12:** Valor del área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) para la interacción *Año x Genotipo*, en un ensayo de dos años con 20 genotipos de avena. Página 38.
- Figura 3.1:** a) corte de biomasa EDP; b) parcela luego del corte de un surco; c) evaluación del número de panojas; d) muestreo de las 20 panojas. Página 52.
- Figura 3.2:** Valores de biomasa seca 1<sup>er</sup> corte (en kg.ha<sup>-1</sup>) en dos años de ensayo con 20 genotipos de avena. Página 54.
- Figura 3.3:** Valores de biomasa seca 3<sup>er</sup> corte (en kg.ha<sup>-1</sup>) en dos años de ensayo con 20 genotipos de avena. Página 55.
- Figura 3.4:** Valores de biomasa seca acumulada (en kg.ha<sup>-1</sup>) en dos años de ensayo con 20 genotipos de avena. Página 56.
- Figura 3.5:** Numero de panojas.m<sup>-2</sup> (NP) en dos años de ensayo con 20 genotipos de avena. Página 58.

**Figura 3.6:** Numero de granos por panoja (NGP) para la interacción *Años x Genotipos*, en dos años de ensayo con 20 genotipos de avena. Página 59.

**Figura 3.7:** Numero de granos por panoja (NGP) para la interacción *Ensayos x Genotipos*, en dos años de ensayo con 20 genotipos de avena. Página 60.

**Figura 3.8:** Peso de mil granos (PMG) para la interacción *Años x Ensayos x Genotipos*. **a)** Año 2014, **b)** Año 2015; en dos años de ensayo con 20 genotipos de avena. Página 61.

**Figura 3.9:** Rendimiento en ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) para la interacción *Años x Genotipos* en dos años de ensayo con 20 genotipos de avena. Página 63.

**Figura 3.10:** variación porcentual del EDP respecto al EG para **a)** NP; **b)** NGP; **c)** PMG y **d)** Rendimiento. Página 64.

**Figura 3.11a:** Regresión entre NGP y ABCPE. **Figura 3.11b:** Regresión entre PMG y Rendimiento. Página 66.

**Figura 3.12:** Regresión entre rendimiento y ABCPE. Página 66.

**Figura 4.1:** Estructura y composición del grano de avena. Página 79.

**Figura 4.2:** **a)** balanza de precisión; **b)** espiguillas con granos primarios, secundarios y terciarios; **c)** zarandas de tajo para desarrollo de grano; **d)** desbarbadora con la que se realizó el descascarado. Página 85.

**Figura 4.3:** Medias de los valores de PMG para la interacción *A x Ge* de un ensayo con 20 genotipos de avena. Página 87.

**Figura 4.4:** Medias de los valores de PH para la interacción *A x Ge* de un ensayo con 20 genotipos de avena. Página 88.

**Figura 4.5:** Medias de los valores de porcentaje de cariopse para la interacción *A x Ge* de un ensayo con 20 genotipos de avena. Página 89.

**Figura 4.6:** Medias de los porcentajes de proteína para el tratamiento *Ge* de un ensayo con 20 genotipos de avena. Página 90.

**Figura 4.7:** Medias de porcentajes sin descascarar para la interacción *Año x Genotipos*, de un ensayo con 20 genotipos de avena. Página 91.

**Figura 4.8:** Media de porcentajes de granos primarios, secundarios y terciarios de un ensayo de 20 genotipos de avena en dos años. Página 94.

**Figura 4.9:** Medias de porcentajes las fracciones  $> 2,8$  mm; 2,8-2,5 mm; 2,5-2,2 mm;  $< 2,2$  mm; de un ensayo de 20 genotipos de avena en dos años. Página 98.

### Abreviaturas

ABCPE: Área bajo la curva del progreso de la enfermedad  
ANVA: Análisis de la varianza  
Pc: *Puccinia coronata* f. sp. *avenae*  
Pg: *Puccinia graminis* f. sp. *avenae*  
PH: Peso hectolítrico  
TI: Tipo de infección  
DAFV: Duración de área foliar verde (días)  
ECR: Ensayo comparativo de rendimiento  
EDP: Ensayo doble propósito  
EG: Ensayo de grano  
Ei=Eficiencia en la intercepción de la radiación (%)  
Ea=Eficiencia en la absorción de la radiación (%)  
EC: Estadio fenológico  
EUR: Eficiencia de uso de la radiación  
HB: Hoja bandera  
HB-1: Hoja inmediatamente inferior a la HB  
IAF: Índice de área foliar ( $\text{m}^2$  hoja. $\text{m}^{-2}$  suelo)  
IAFV: Índice de área foliar verde ( $\text{m}^2$  hoja. $\text{m}^{-2}$  suelo)  
IC: Índice de cosecha  
k: Coeficiente de extinción lumínica  
% Car: Porcentaje de cariopses  
MR: Moderadamente resistente  
MS: Moderadamente susceptible  
N: Nitrógeno  
ET: Teliosporas tempranas  
t: trazas  
RFA: Radiación fotosintéticamente activa interceptada ( $\text{MJ.m}^2.\text{dia}^{-1}$ )  
Rinc: Radiación incidente  
RD: Resistencia al descascarado  
 $\text{cm}^3$ : centímetro cúbico  
t: tonelada  
g: gramo  
ha: hectárea  
MJ: Mega Joule  
mm: Milímetros  
cm: centímetros  
mg: miligramos  
hl: hectolitro  
kg: kilogramo  
 $\text{m}^2$ : metro cuadrado  
NP: número de panojas ( $\text{m}^{-2}$ )  
NGP: número de granos.panoja<sup>-1</sup>  
PMG: peso de mil granos (g).  
°C: grados centígrados  
HR: Humedad relativa  
h: horas

## Resumen

La avena (*Avena sativa* L.) es un cultivo de importancia en Argentina, con una superficie sembrada de 1,3 millones de ha, principalmente para uso forrajero. Las enfermedades fúngicas se encuentran entre las principales limitantes bióticas del potencial de rendimiento, destacándose la roya de la hoja causada por *Puccinia coronata*, que es la enfermedad más importante que afecta el cultivo en nuestro país, ocasionando pérdidas en el rendimiento de pasto y grano, y en la calidad. El objetivo del trabajo fue evaluar el comportamiento en características de importancia agronómica tales como sanidad, rendimiento y calidad de grano de líneas de avena obtenidas en Cerealicultura (criadero de la UNLP) en comparación a cultivares comerciales, con la finalidad de inscribirlas como cultivares en el Instituto Nacional de Semillas (INASE). Durante 2015 en la EEA-INTA Bordenave se postuló la presencia de genes *Pc* de resistencia a roya de la hoja en plántula, en 20 genotipos de avena (13 variedades y 7 líneas del programa de mejoramiento de la UNLP) en ensayos de invernáculo. La resistencia a campo se evaluó mediante la estimación de la severidad en ensayos realizados en Bordenave y en la Estación J.Hirschhörn, FCAYF-UNLP, Los Hornos durante 2014 y 2015. Los ensayos comparativos de rendimiento (ECR) se realizaron en 2014-2015, en la Estación Hirschhörn, con un diseño experimental de bloques al azar y tres repeticiones. En el ensayo doble propósito (EDP) se evaluaron los materiales para producción de pasto y grano, mientras que en el de grano (EG) el rendimiento en grano y sus componentes. Las determinaciones de calidad de grano se hicieron a partir del EG. Los resultados indican la presencia de los genes *Pc38*, *Pc39* y *Pc51* en los genotipos analizados. Las líneas L1, L2, L5, L6, Canai y Máxima demostraron mayor resistencia a roya de la hoja a campo en los dos años de ensayo en las dos localidades. L2, L5, L6 y L1 se destacaron en el primer corte de biomasa, mientras que L7 en biomasa acumulada. Se halló una disminución del 10,2% en el rendimiento de grano del EDP ( $3.848 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) luego de los cortes, respecto al EG ( $4.287 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), explicadas por la caída en el NGP. L2, L5 y Canai se destacaron en ambos años por su rendimiento en grano, PMG, PH, porcentaje de cariopses y desarrollo de grano, en tanto que L2, L1, L6, L4, L3 y Violeta se destacaron por el porcentaje de proteínas, y en general las líneas por su facilidad de descascarado. Asimismo el ABCPE estuvo negativamente asociado con el PMG, PH, rendimiento y porcentaje de cariopses. Se encontraron líneas sobresalientes para varios caracteres agronómicos

### Abstract

Oats (*Avena sativa* L.) is an important crop in Argentina, with a planted area of 1.3 million ha, mainly for fodder use. Fungal diseases are mentioned among the most important limitation for the yield potential, standing out leaf rust caused by *Puccinia coronata*, which is the most important fungal disease affecting the crop in our country, causing losses in biomass, grain yield, and grain quality. The objective of this study was to evaluate several characteristics of agronomic importance such as plant health, yield and grain quality in oat lines from the breeding program in Cereals (UNLP) in relation to commercial cultivars, in order to register them as cultivars at the Instituto Nacional de Semillas (INASE). The resistance against *Puccinia coronata* (Pc), the causal agent of leaf rust, was studied in two trials. During 2015 at the EEA-INTA Bordenave, the presence of Pc genes in seedlings was postulated in 20 oat genotypes (13 cultivars and 7 breeding lines from the UNLP program). The resistance to leaf rust in the field was evaluated as the severity caused by the disease in two experiments carried out in Bordenave and at the Experimental Station J. Hirschhorn (FCAYF-UNLP), Los Hornos during 2014 and 2015. Comparative yield trials (ECR) were carried out in 2014-2015 at the Hirschhorn Station, in a randomized block n with three replications. For the experiments called EDP, biomass obtained as forage cuts and grain production were evaluated, while for EG experiments, the grain yield, its components and grain quality were evaluated. The results indicate the presence of the Pc38, Pc39 and Pc51 genes in the studied genotypes. Lines L1, L2, L5, L6, Canai and Maxima showed higher resistance to leaf rust in the field in both years for both locations. L2, L5, L6 and L1 stood out in the first cut of biomass, while L7 in accumulated biomass. A decrease of 10.2% in the grain yield of the EDP (3,848 kg.ha<sup>-1</sup>) was found after the forage cuts, with respect to the EG (4,287 kg.ha<sup>-1</sup>), explained by the reduction in the NGP. L2, L5 and Canai stood out in both years for grain yield, thousand kernel weight, test weight, groat proportion and oat grain size, whereas L2, L1, L6, L4, L3 and Violeta had the highest protein percentage and in general all the lines stood out for ease of shelling. The AUDPC was negatively associated with thousand kernel weight, test weight, yield and caryopsis percentage. Outstanding oat lines for several traits were found.

# Capítulo 1

## Introducción general

---

### 1.1- Origen y dispersión

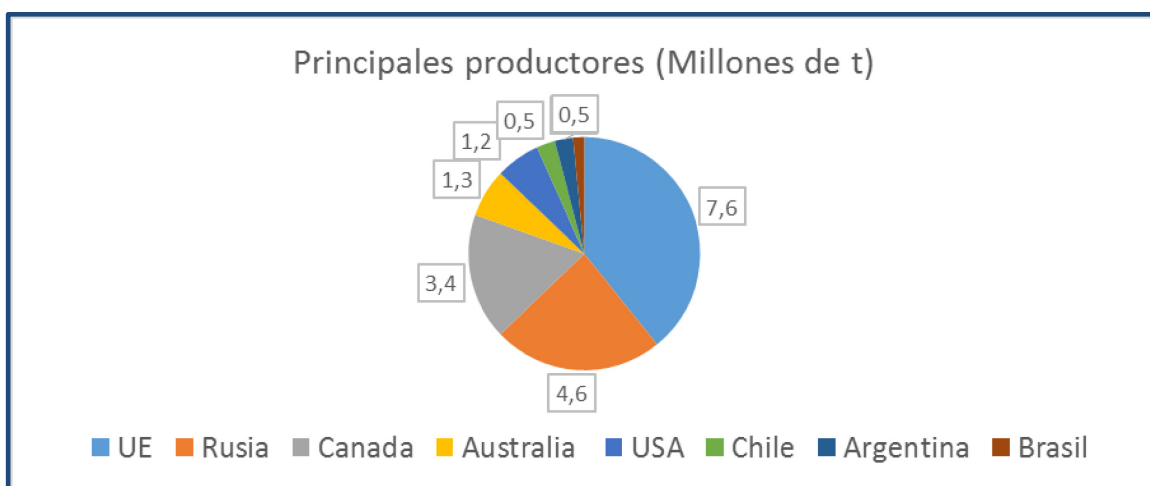
Las avenas (*Avena spp.*) son especies herbáceas anuales pertenecientes a la familia de las poáceas (Poaceae). Por su número cromosómico, las distintas especies se clasifican en tres grupos: especies con  $2n=14$  (*A. strigosa*, *A. hirtula*, *A. ventricosa*, *A. clauda*, etc.), con  $2n=28$  (*A. barbata*, *A. byzantina*, etc.) y con  $2n=42$  (*A. sativa*, *A. fatua*). Se considera que podría tener dos centros de origen: las especies di y tetraploides tendrían su procedencia en la región mediterránea occidental y las especies hexaploides en Asia Central (González & Rojo, 2005). Las avenas no llegaron a tener la importancia del trigo y la cebada para las antiguas civilizaciones, ya que antes de ser cultivadas fueron consideradas malezas de estos cereales. Los primeros restos arqueológicos se hallaron en Egipto, y se supone que eran semillas de malezas, ya que no existen evidencias de que fuese cultivada por los antiguos egipcios. La avena cultivada tuvo su primera aparición alrededor del año 1000 AC en regiones del norte de Europa Occidental. Luego fueron introducidas en América por los españoles poco después del descubrimiento del continente, y se difundieron en sus diferentes zonas.

### 1.2- Importancia, situación mundial y nacional

Es el sexto cereal más importante del mundo en producción de grano, después del trigo (*Triticum aestivum* L.), maíz (*Zea mays* L.), arroz (*Oryza sativa* L.), cebada (*Hordeum vulgare* L.) y sorgo (*Sorghum bicolor* L.). En la década de los 60, la producción promedio mundial de avena alcanzaba a 47,90 millones de toneladas (t) de grano, pero esta cifra ha bajado prácticamente a la mitad, llegando a un promedio de 25,1 millones de t anuales en los últimos años. Una de las causas de la caída es la menor demanda como resultado de la mecanización agrícola, ya que este grano era empleado para la alimentación de caballos de trabajo.

Las zonas productoras se encuentran ubicadas en regiones donde predominan climas fríos, concentrándose entre las latitudes 35 y 50° N, y 30 y 50° S. La producción mundial se encuentra alrededor de 22,3 millones de t con un rendimiento promedio por hectárea de 2.300 kg.ha<sup>-1</sup> (USDA, 2016). Los principales productores son: la Unión

Europea (7,6 millones t, dentro de los cuales los principales son Polonia, Finlandia, Reino Unido, Suecia, etc.), Rusia (4,6 millones t), Canadá (3,4 millones t), Australia (1,3 millones t), USA (1,2 millones t), Chile (0,5 millones t), Argentina (0,3 millones t) y Brasil (0,3 millones t) (Figura 1.1).



**Figura 1.1:** Principales países productores (Cotrisa, 2017).

Los principales países exportadores son: Canadá (1600 mil t), Australia (300 mil t), Unión Europea (200 mil t), Chile (75 mil t), USA (30 mil t), Rusia (10 mil t), Ucrania (10 mil t) y Argentina (5 mil t) (Cotrisa, 2017).

A nivel nacional el cultivo abarca una superficie aproximadamente de 1,3 millones de ha, la gran mayoría para uso forrajero (Ministerio de Agroindustria, 2017). Las provincias que dedican mayor superficie a la siembra son Buenos Aires, La Pampa y Córdoba (Tabla 1.1).

**Tabla 1.1:** Superficie sembrada de avena por provincia (Ministerio de Agroindustria, 2017).

Orden	Provincia	Superficie (has)	Proporción
1	Buenos Aires	747.810	56%
2	La Pampa	207.500	15%
3	Córdoba	177.370	13%
4	Santa Fe	99.500	7%
5	Entre Ríos	86.700	7%
6	San Luis	19.000	1%
7	Santiago del Estero	6.500	0,3%
	TOTAL	1.344.380	

En la campaña 2016/2017 del total de la superficie sembrada se cosecharon 321.054 ha, con un rendimiento promedio de 2.450 kg.ha<sup>-1</sup>, y una producción total de 784.981 mil t (Ministerio de agroindustria, 2017), aunque lo destinado a la industria es algo superior a 50 mil t (Wehrhahne, 2018, *comunicación personal*).

En nuestro país gran parte de la superficie sembrada se utiliza para alimentación animal. Su valor radica en la diversidad de usos y tipos de productos que puede obtenerse de su cultivo: grano, forraje verde, forraje conservado (heno y ensilaje), doble propósito (verde-grano) y uso del rastrojo. Es una de las principales fuentes de forraje verde durante el invierno en la región pampeana, tanto para la producción de carne como de leche, conservando un alto valor nutritivo durante la mayor parte de su ciclo, distinguiéndose por ello del resto de los cereales forrajeros. En lo que refiere a la siembra para grano, la avena compite por la superficie con cultivos de mayor trascendencia como trigo y cebada. El cultivo forma parte de las rotaciones, especialmente en la región sur de la Provincia de Buenos Aires, y a pesar de haber perdido superficie en los últimos 20 años sigue siendo una propuesta interesante ya que se adapta perfectamente a la zona. Su inclusión en la rotación mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, reduce enfermedades y plagas de otros cultivos, provee de biomasa que mantiene la cobertura del suelo, disminuye la erosión del suelo y reduce las malezas. En algunas de las últimas campañas se observó un aumento en el área destinada a avena para grano en el sudeste de la provincia de Buenos Aires (Forjan & Manso, 2015).

### **1.3- Requerimientos edafoclimáticos y adversidades**

La avena es considerada una planta de invierno, y las mayores áreas de producción se localizan en los climas templados más fríos, aunque tiene una menor resistencia al frío que la cebada y el trigo. La germinación tiene lugar a partir de temperaturas de suelo de 3 a 5 °C (Forsberg & Reeves, 1995). Sus necesidades hídricas son las más elevadas de todos los cereales de invierno, al tener un coeficiente de transpiración elevado y por ello requiere más agua por unidad de materia seca (Beratto & Rivas, 2003).

La avena crece en diferentes suelos, se ha observado que puede tolerar suelos ácidos con un pH de 4,5 (Stoskopf, 1985), pero para obtener rendimientos altos se requiere un pH no menor a 5,3 a 5,7 (Alam & Adams, 1979). Los suelos salinos son



perjudiciales para su crecimiento, siendo clasificada como de mediana tolerancia a la sal.

El manejo de adversidades es fundamental para obtener cultivos con altos rendimientos y calidad. Tanto la biomasa, como la calidad de forraje y grano, son afectadas por patógenos que les ocasionan enfermedades foliares. La roya de la hoja ocasionada por *Puccinia coronata* f. sp. *avenae*, es la enfermedad más diseminada y perjudicial para el cultivo a nivel mundial (Simons, 1985; Ohm & Shaner, 1992; Carson, 2008b). Las royas afectan a cualquier parte de la planta sobre la superficie del suelo, desde la etapa de plántula hasta el llenado de grano (Zillinsky, 1984), y una infección puede ocasionar considerables pérdidas en el rendimiento y calidad del grano (Doehlert *et al.*, 2001; Holland & Munkvold, 2001; Gnanesh *et al.*, 2015).

La roya de la hoja es la enfermedad más importante del cultivo en Brasil, Uruguay y Argentina. Es una enfermedad foliar que se observa durante el otoño, coincidiendo con el período de aprovechamiento como forraje y durante la primavera afectando las avenas destinadas a la producción de grano

En Argentina se ha trabajado intensamente en la creación de cultivares resistentes. La base de la resistencia de los cultivares difundidos, es aportada básicamente por genes de resistencia vertical o de plántula, en virtud de su fácil incorporación y selección de las progenies segregantes. Los genes *Pc38*, *Pc39*, *Pc50* y *Pc51* se encuentran presentes en el germoplasma actualmente difundido e individualmente o en conjunto pueden brindar resistencia a los cultivares que los posean (Antonelli, 1995; Campos *et al.*, 2008). Sin embargo, la principal limitante que presenta este tipo de resistencia es su baja durabilidad (Chong & Kolmer, 1993). Campos *et al.*, (2008) afirma que el patógeno se caracteriza por poseer una población heterogénea y dinámica. Es heterogénea por tener variables patogénicas (razas fisiológicas) y es dinámica ya que se observan cambios en la población debidos a la aparición de nuevas razas y cambios en la preponderancia o frecuencia de ellas. En la búsqueda de nuevas estrategias, la utilización de genes de resistencia parcial o slow rusting, sería una alternativa para los cultivos destinados a la producción de grano. Esta no demuestra un efecto tan notable como la resistencia vertical, sino que influye en el desarrollo más lento de la enfermedad. Estos genes de defensa, conforman la base de la resistencia horizontal o poligénica, y ha sido un buen método de control de la enfermedad, ya que es un tipo de resistencia más durable.

#### **1.4- Calidad de grano**

Con los avances en el conocimiento de la calidad nutricional, la avena ha sido reconocida como alimento saludable a mediados de la década del ochenta y su uso para alimentación humana se ha revalorizado, ocasionando un aumento en la demanda del grano en los últimos años. Es un grano muy completo, posee un alto contenido proteico y un buen balance de aminoácidos, carbohidratos y fibras (Peterson, 1992, Forsberg & Reeves, 1992; Webster, 1996). Asimismo, el contenido en proteínas digestibles es mayor que en maíz, de mayor riqueza en materia grasa que la cebada y trigo, y con un alto contenido de beta-glucanos, de importancia para la prevención del colesterol. También contiene sodio, potasio, calcio, fósforo, magnesio, hierro, cobre, cinc, vitaminas B1, B2, B3, B6 y E y buena cantidad de fibras, que contribuyen al buen funcionamiento intestinal y pequeñas cantidades de gluten en relación al trigo (Squella & Ormeño, 2007). Los productos que se obtienen son avenas arrolladas, harinas de avena, galletitas y cereales para el desayuno. También se mezcla con harina de otros cereales en la fabricación de pan, así como en la fabricación de alcohol y bebidas (Squella & Ormeño, 2007).

Desde el punto de vista de las características del grano que hacen a su calidad, la información en los genotipos argentinos de avena es escasa. La calidad del grano abarca aspectos morfológicos, físicos, bioquímicos e industriales. Los requisitos de calidad varían dependiendo del uso y destino que se le otorgará. La industria para procesamiento para consumo humano requiere de grano con valores altos de peso hectolítrico (PH), granos grandes, de tamaño uniforme y alto porcentaje de cariopses, además alto contenido de proteínas, beta-glucanos y bajo contenido de aceites serán deseables para alimentación humana.

#### **1.5- Mejoramiento genético de avena**

El mejoramiento genético de avena se ha llevado a cabo desde épocas tempranas en América del Sur. La primera estación experimental fue el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA) en Uruguay, luego continuaron la Chacra Experimental de Barrow, el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) en Argentina, la Secretaria de Agricultura do Estado do Rio Grande do Sul, en Brasil y el INIA en Chile (Federizzi *et al.*, 1999). La mayoría de los cultivares desarrollados en estos países se han originado de un programa internacional que comenzó en 1974, mediante una donación de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo

Internacional (USAID). Dicho programa se denominó *Breeding Oat Cultivars Suitable for Production in Developing Countries* y fue organizado por H.L. Shands, referente en el cultivo. Desde 1997 la compañía de avena Quaker ha promovido y financiado la llamada “*Quaker International Oat Nursery*” (QION), donde expertos de las Universidades de Minnesota y Florida asisten este programa, el cual está compuesto por alrededor de 100 líneas puras y 200 poblaciones de cruzamientos F2 o F3, incluyendo variedades de diversos programas en el mundo. Esto ha contribuido a una fuente de gran diversidad genética para distintos programas en todo el mundo (Forsberg & Shands, 1989; McDaniel, 1997).

En Argentina las instituciones que cuentan con programas de mejoramiento son: la Estación Experimental Agropecuaria INTA Bordenave (EEA INTA Bordenave), la Chacra Experimental Integrada Barrow (CE INTA Barrow) y el Criadero de la Universidad Nacional de La Plata (Criadero UNLP). Por su parte, el sector privado ha introducido variedades o líneas provenientes de programas de mejoramiento del exterior, y en algunos casos también ha comenzado planes de mejoramiento. Actualmente hay variedades inscriptas por empresas como FU 15 (Forratec Argentina SA), Luxurial (Panam France SRL), Faraona y Mora (Semillas Biscayart SA). En nuestro país se cultivan dos especies del género Avena, *Avena sativa* L. (avena blanca) y *Avena byzantina* C. Koch (avena amarilla). La avena blanca se usa principalmente para la producción de grano de alta calidad industrial, caracterizada por el mayor número de cariopses, alto peso hectolítrico y alto porcentaje de grano pelado en relación a grano entero. La avena amarilla se emplea con fines forrajeros. Las características morfológicas que las diferenciaban (color blanco o amarillo de los antecios, articulación de la raquilla y de los antecios entre sí) han dejado de ser en la actualidad apropiadas para diferenciar los cultivares de ambas especies debido a los cruzamientos interespecíficos para su obtención (Wehrhahne, 2009). En el Catálogo Nacional de Cultivares figuran 48 variedades comerciales, las cuales son *A. sativa* o *A. byzantina*, y 11 de ellas se han inscripto desde el 2015 a esta parte. La mayoría de éstos materiales son argentinos, aunque hay introducidos de Uruguay, Brasil, Canadá y USA (INASE, 2017).

El Criadero de la UNLP ha trabajado en mejoramiento durante más de 60 años obteniéndose tres cultivares de avena: Tambera F.A., Boyera F.A. y Pionera F.A. Actualmente, con la intención de inscribir nuevas líneas promisorias, que se encuentran en filiales avanzadas del plan de mejoramiento, se realizan ensayos comparativos de

rendimiento, para evaluar si las mismas superan a las mejores variedades comerciales en algunas características de importancia agronómica como rendimiento, sanidad y calidad, con la finalidad de ser inscriptas en el Instituto Nacional de Semillas (INASE).

Las excelentes condiciones agroecológicas de la Argentina para el cultivo de avena, apoyadas por variedades de alto potencial de rendimiento, resistencia a enfermedades, calidad de grano y una tecnología adecuada, sumado a la preocupación de la población por una alimentación más sana y completa, presentan un escenario muy favorable para la producción de este cereal en nuestro país.

La tesis fue organizada en capítulos; en éste **Capítulo 1 “Introducción general”** se presenta el tema de estudio y los antecedentes, así como el marco teórico-conceptual de la tesis.

En el **Capítulo 2 “Resistencia a roya de la hoja”**; en el **Capítulo 3 “Rendimiento de pasto y grano”** y en el **Capítulo 4 “Calidad de grano”**, se ha realizado una revisión bibliográfica de cada tema, que da sustento a la formulación de las hipótesis y objetivos, se presentan los materiales y métodos específicos, los resultados experimentales y discusión correspondientes a cada una de las temáticas. Por último, el **Capítulo 5** aborda la **“Discusión general”**, contraste de las hipótesis y las implicancias y aplicaciones para futuras investigaciones.

# Capítulo 2

## Resistencia a roya de la hoja

---

### 2.1-Introducción

Las royas son las enfermedades más importantes que afectan el cultivo de avena, por lo cual innumerables trabajos han abordado esta problemática. Éstas afectan a cualquier parte de la planta sobre la superficie del suelo, desde la etapa de plántula hasta el llenado de grano (Zillinsky, 1984), y una infección puede ocasionar considerables pérdidas en el rendimiento y calidad del grano (Doehlert *et al.*, 2001; Holland & Munkvold, 2001; Gnanesh *et al.*, 2015). La roya de la hoja ocasionada por *Puccinia coronata* f. sp. *avenae* (Pc), es la enfermedad más diseminada y perjudicial a nivel mundial (Simons, 1985; Ohm & Shaner, 1992; Carson, 2008). Ha sido identificada hace más de 200 años, y es encontrada en todas las regiones productoras del mundo, siendo más severa en áreas húmedas. Es la enfermedad más importante del cultivo en Brasil, Uruguay y Argentina. En Brasil, Martinelli *et al.* (1998) mencionaron pérdidas de hasta 50% en el rendimiento de genotipos susceptibles. En Argentina, se encuentra distribuida en la mayor parte de la zona cerealera y aparece todos los años. Numerosos trabajos documentan su aparición en Paraná, Entre Ríos (Di Nucci & Formento, 2008, 2009; Di Nucci *et al.*, 2012, 2013, 2015), y en Barrow, Buenos Aires (Wehrhahne, 2010; Storm & Wehrhahne, 2013; Wehrhahne & Storm, 2014). Además, Campos *et al.* (2008) hallaron el patógeno en diferentes sitios de Argentina (Bordenave, Tres Arroyos, Balcarce, Pergamino, Daireaux, Paraná y Reconquista). Las pérdidas provocadas pueden llegar al 32% de la materia seca y a un 26% en producción de grano (Pérez Fernández & Molas, 2000). Pérdidas de granos superiores a 70% se han hallado en cultivares de avena susceptibles en años de alta incidencia de royas (Wehrhahne, 2008). Es una enfermedad foliar que se observa durante el otoño, coincidiendo con el período de aprovechamiento como forraje y durante la primavera afectando las avenas destinadas a la producción de grano.

### Etiología y rango de hospedantes

Desde el punto de vista nutricional las royas son parásitos obligados, es decir no destruyen a las células de su hospedante, sino que obtienen sus nutrientes al penetrar a

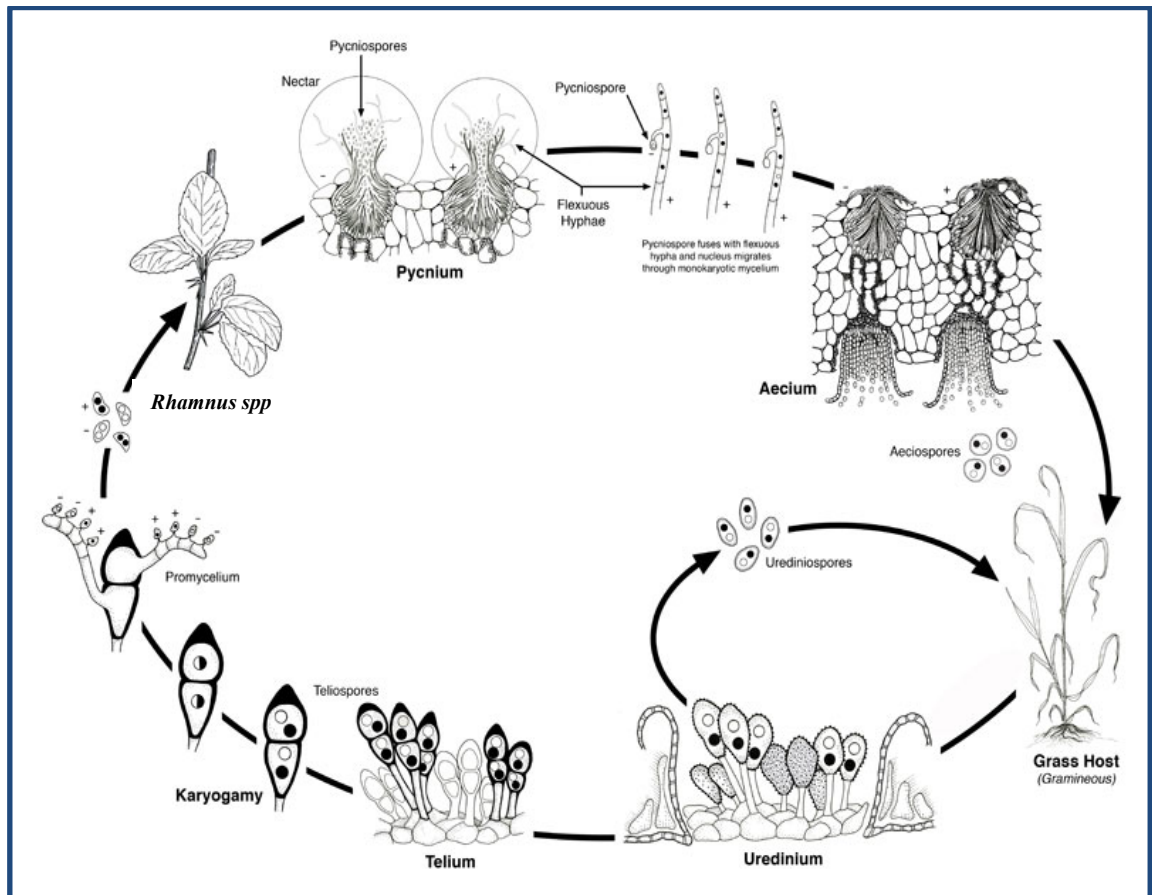
esas células o al ponerse en contacto con ellas. Se da una relación entre parásito y hospedante muy estrecha, ya que alteran el metabolismo de las plantas al parasitar células vivas utilizando como principal herramienta los haustorios que actúan en la movilización, adquisición y metabolismo de los nutrientes necesarios para el desarrollo del patógeno, y jugando un rol importante en la supresión de las defensas del hospedante (Mendgen & Hahn, 2002; Voegelé & Mendgen, 2011).

La mayoría de las royas son parásitos muy especializados, por lo cual han tenido una evolución paralela a lo largo de miles de años con la especie que parasitan, atacando solo a ciertos géneros hospedantes. Las royas que son morfológicamente idénticas, y que atacan a diferentes géneros hospedantes se consideran formas especiales. Eshed & Dinnor (1980) encontraron diferentes *formae speciale* (f. sp.) para *Puccinia coronata*, y estas son específicas a nivel de género. *Avena spp.* es el género hospedante de *Puccinia coronata* f. sp. *avenae* en el estado anamorfo o de urediniosporas, que incluye a varias especies como *A. sativa*, *A. sterilis* (McCallum *et al.*, 2007), *A. fatua* (Di Nucci *et al.*, 2002; McCallum *et al.*, 2007; Carson, 2009), *A. strigosa* S, *A. insularis* L y *A. murphy* L (Rines *et al.*, 2007; Cabral & Park, 2014). Dentro de cada *formae speciale*, existen biotipos, razas o patotipos, que atacan solo a ciertas variedades dentro de cada especie, pudiéndose identificar mediante una serie de líneas isogénicas, portadoras de genes diferenciales. La raza fisiológica constituye una variación genética dentro de una población de *formae speciale*, con una patogenicidad diferencial a nivel de genotipos de una misma especie de hospedero (Carmona *et al.*, 2000).

### **Ciclo de vida y patogénesis**

Los hongos pertenecientes al orden uredinales presentan uno de los ciclos de vida más complejos que se conocen dentro del reino Fungi. Pueden tener hasta cinco estados espóricos que se designan como: espermogonio (O), aecio (I), uredo (II), telio (III) y basidio (IV) (Hahn, 2000). Cada estado es morfológica y funcionalmente diferente dentro del ciclo de vida de las especies de royas (Cummins & Hiratsuka, 2003). Pc es un patógeno heteroico, ya que los estados 0 y I transcurren sobre un hospedante (alternativo o intermediario) y los estados II y III sobre otro perteneciente a una familia totalmente distinta (hospedante principal). La avena constituye el hospedante principal, mientras que *Rhamnus spp* es el hospedante alternativo (Carson,

2008a). *Rhamnus spp* no se encuentra en América del Sur, pero es una importante fuente de inóculo en zonas templadas de Europa y América del Norte.



**Figura 2.1:** Ciclo completo de *Puccinia coronata*, adaptado de USDA (2016).

La capacidad que tienen ciertos organismos, entre ellos Pc, para incitar el desarrollo de una enfermedad infecciosa en una especie determinada se la denomina patogenicidad, mientras que patogénesis es el proceso completo, o la secuencia de eventos que ocurren hasta que se produce la enfermedad (Agrios, 2005a). Las etapas de ésta son: inoculación, penetración, infección, colonización, crecimiento, reproducción, dispersión y supervivencia. En América del Sur la infección de Pc es por urediniosporas, las cuales son diseminadas por corrientes de vientos y también por la producción constante en plantas guachas. Los límites de la diseminación están determinados por las condiciones meteorológicas y la resistencia de las urediniosporas a las condiciones ambientales adversas. El corredor de producción de cereales que se forma desde Brasil, donde se cultivan cereales gran parte del año, hace que la producción y diseminación de esporas en nuestro país, sea constante durante toda la estación de crecimiento del cultivo (Leonard & Martinelli, 2005). La deposición del inóculo sobre la superficie del hospedante, es la etapa inicial para el desarrollo de la

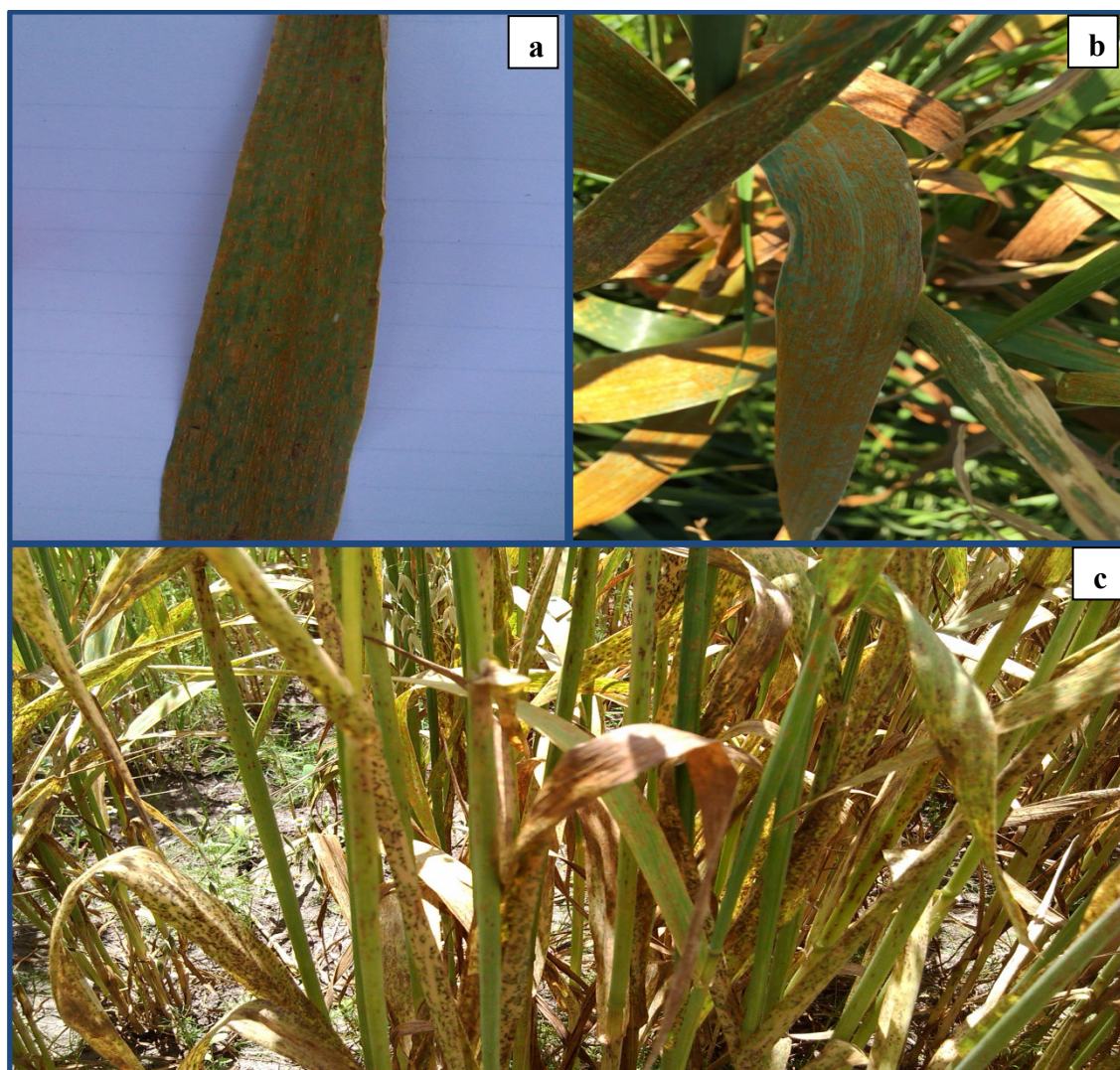
enfermedad en el cultivo, y el estímulo requerido para la germinación es el agua libre, siendo el rocío la principal fuente. Si las infecciones ocurren temprano debido a condiciones climáticas favorables (temperaturas entre 20 y 25°C durante el día y 15 a 20°C durante la noche, alta heliofanía efectiva y al menos 6 horas de mojado foliar por rocío o lluvias), las infecciones pueden alcanzar el 100% de las plantas y la totalidad del área de las hojas (Carson, 2008a; Setti *et al.*, 2011). Durante la germinación de la urediniospora ocurre la emisión del tubo germinativo, el cual penetra a través de estomas, luego el micelio crece intercelularmente, emitiendo haustorios para el interior de las células de la planta (Harder & Haber, 1992). El inicio de la infección es cuando el hongo comienza a alimentarse de las células vegetales, tardando entre 7 a 10 días para reproducirse y formar esporas (Harder & Haber, 1992), en lo que se denomina periodo de latencia. Con la liberación de estas urediniosporas, el inóculo será multiplicado y con condiciones climáticas favorables infectará otras partes de las hojas, por lo tanto su desarrollo epidémico se hace exponencial en forma rápida (Roelfs *et al.*, 1992).

### **Síntomas y daños**

Los síntomas que presentan las plantas afectadas por Pc son generalmente de tipo hipoplásico. Su presencia en el cultivo produce reducciones en la acumulación de biomasa debido a una disminución del área y de la capacidad fotosintética de las hojas, un aumento de la tasa respiratoria, la transpiración y una reducción de la tasa de translocación de los órganos afectados (Agrios, 2005b). La respiración aumenta los primeros días durante el desarrollo de la uredia, pero después de la esporulación cae por debajo de lo normal. La esporulación ocasiona la ruptura de la epidermis generando un aumento en la pérdida de agua, debido al incremento en la transpiración (Harder & Haber, 1992). La severidad de la enfermedad y la menor disponibilidad de fotosintatos da como resultado una disminución del área foliar, con una menor intercepción de la radiación y menor producción de biomasa. Dietz *et al.* (2016) encontraron que las enfermedades foliares provocadas por patógenos foliares (principalmente Pc), afectan el índice de área foliar (IAF) ocasionando pérdidas de un 29,7% en la biomasa. En el mismo trabajo, los autores señalan que en un año con alto nivel de Pc, las pérdidas fueron del 41% en el rendimiento. La fotosíntesis de las plantas es considerablemente reducida, debido a la destrucción de áreas verdes, al igual que el desarrollo radicular y la absorción. Todos estos efectos ocasionan una reducción en los nutrientes disponibles para la producción de granos, afectando tanto el tamaño como el número de los mismos.



May *et al.* (2014) indican que la roya de la hoja afecta la calidad de grano, por disminuciones en el peso de mil granos, peso hectolítrico y el porcentaje de cariopses. Infecciones severas antes de floración son muy dañinas y pueden causar la pérdida total de rendimiento. Los daños se ven acentuados por la maduración precoz de la planta.



**Figura 2.2:** a y b) urediniosporas de Pc en hoja de avena; c) urediniosporas y teliosporas de Pc en plantas de avena.

### **Manejo integrado de la enfermedad**

El uso de variedades resistentes es el método más económico y efectivo para el manejo de la enfermedad y es la base del manejo integrado. La resistencia puede ser definida como la habilidad del hospedante de retardar el crecimiento o desarrollo del patógeno o para iniciar la infección pudiendo ser clasificada como raza específica o raza no específica respectivamente, siendo que la obstrucción de la enfermedad puede ser total a leve en cada caso (Parlevliet, 1979). La resistencia raza específica, es también

llamada *vertical*, monogénica u oligogénica, está basada en la teoría gen a gen, y hace referencia a que los genes que determinan la resistencia y la susceptibilidad en la planta, son complementarios a los genes que determinan la virulencia y la avirulencia en el patógeno (Flor, 1956). De acuerdo con los axiomas de resistencia planteados por Browning (1980) la resistencia y la avirulencia son la regla mientras que la susceptibilidad y la virulencia son la excepción, además propone que la resistencia y la susceptibilidad son los extremos de un continuo y que la inmunidad es absoluta. Por su parte, la resistencia no específica, es definida como aquella que ocurre para todas las razas del patógeno, la cual no demuestra un efecto tan notable como la vertical, sino que influye en el desarrollo más lento de la enfermedad (Parlevliet, 1979). Estos genes conforman la base de la resistencia parcial, *horizontal* o poligénica. En este tipo de resistencia la tasa de multiplicación del patógeno es reducida, pudiendo ser por una reducción en la eficacia de infección, un alargamiento del periodo latente y una reducción en la tasa y duración de la esporulación (Wahl *et al.*, 1980; Parlevliet, 1985; Chaves *et al.*, 2004a). Éste ha sido un buen método de control de la enfermedad en variedades extensamente cultivadas, y generalmente es un tipo de resistencia más durable. La resistencia es considerada durable si permanece efectiva cuando es usada durante varios años en una región (Johnson, 1981). La durabilidad puede ser explicada por la combinación de diferentes factores: tasa de mutación del patógeno, coeficientes de selección, tamaño de la población del hongo, recombinación sexual y asexual o el número de genes de resistencia inicialmente efectivos en cultivares comerciales (Schafer & Roelfs, 1985).

Actualmente hay más de 100 genes Pc disponibles a nivel mundial (Carson, 2008a), la mayoría se han identificado a partir de la especie diploide *A. strigosa* y la hexaploide *A. sterilis*. Las fuentes de variabilidad se pueden encontrar en las regiones de origen de la avena, entre sus parientes silvestres (Manisterski & Wahl, 1995). La especie *A. sterilis* tiene más de 45 genes de resistencia efectivos, y ha sido la mayor fuente de genes desde 1960 (Harder, 1975; McCallum *et al.*, 2007; Leonard, 2007), y a través de su polinización cruzada con *A. sativa*, los genes de resistencia se han movido desde las avenas silvestres hacia las cultivadas (McCallum *et al.*, 2007). Si bien especies de bajo nivel de ploidía son consideradas como una rica fuente de genes, las barreras para transferir y hacer uso efectivo de éstos ha sido una limitante (Ohm & Shaner, 1992). En Argentina, se ha trabajado intensamente en la creación de cultivares

resistentes. La base de la resistencia de los cultivares difundidos, es aportada básicamente por genes de resistencia vertical, en virtud de su fácil incorporación y selección de las progenies segregantes. Los genes *Pc38*, *Pc39*, *Pc50* y *Pc51* se encuentran presentes en el germoplasma actualmente difundido e individualmente o en conjunto pueden brindar resistencia a los cultivares que los posean (Antonelli, 1995; Campos *et al.*, 2008). Sin embargo, la principal limitante que presenta este tipo de resistencia es su baja durabilidad (Chong & Kolmer, 1993). En general, la resistencia determinada por uno o pocos genes puede ser superada por nuevas razas patógenas que surgen por mutación o que emigran de otras localidades, y luego aumentan en frecuencia debido a la fuerte presión de selección por el uso de genotipos con estos genes en grandes áreas (Harder & Haber, 1992). Nuevas fuentes de resistencia llegan a ser inefectivas rápidamente debido a los cambios de virulencia en el patógeno (Leonard, 2003; Chong & Zegeye, 2004). Carson (2011) expresó que cultivares de avena con genes mayores en EE.UU. generalmente son quebrados por el patógeno en 5 años o menos luego de ser liberados.

El otro método usual de control es la protección con fungicidas. Es esencial conocer la epidemiología de la enfermedad antes de iniciar cualquier estrategia de manejo, en especial una que implique el empleo de sustancias químicas. Numerosos trabajos documentaron que la disminución de la severidad de las enfermedades lograda con fungicidas fue consistente (Soovali *et al.*, 2010; May *et al.*, 2014; Dietz *et al.*, 2016). Sin embargo, el uso de fungicidas tiene varias desventajas como el alto costo económico que es exclusivamente asumido por el productor, riesgos ambientales conocidos y desconocidos, aparición de resistencias a las sustancias, y según el tipo de enfermedad podría haber un bajo control en variedades susceptibles si las condiciones del medio favorecen el desarrollo de la enfermedad (Roelfs *et al.*, 1992).

### **Caracterización de razas fisiológicas**

La caracterización de una población de Pc brinda información acerca del tamaño y variabilidad de ésta, la virulencia sobre los genes de resistencia, la aparición de nuevos biotipos, etc., lo cual resulta fundamental para orientar los programas de mejoramiento en búsqueda de cultivares resistentes y/o establecer pautas de manejo que tiendan a disminuir las pérdidas que esta enfermedad ocasiona. La particularidad más marcada del patógeno es la alta variabilidad para virulencia que presenta, pudiendo

rápidamente desarrollar nuevos patotipos que superen a los genotipos resistentes en cultivo (Chong & Seaman, 1994). El patógeno se caracteriza por poseer una población heterogénea y dinámica, heterogénea por tener variables patogénicas (razas fisiológicas) y dinámica ya que se observan cambios en la población debidos a la aparición de nuevas razas y cambios en la preponderancia o frecuencia de ellas (Campos *et al.*, 2008).

El estudio de una población de Pc permite observar la eficacia actual de la resistencia e identificar genes de interés para el mejoramiento futuro. La eficacia de los genes Pc ha sido objeto de muchas investigaciones en todo el mundo (Chong, 1996; Chong & Aung, 1996; Sebesta *et al.*, 2003; Leonard *et al.*, 2004).

### **Métodos para la identificación de genes de resistencia**

La postulación de genes puede ser utilizada para determinar la presencia de genes en cultivares con resistencia a Pc, para comprobar la herencia de la resistencia en progenies luego de un cruzamiento y para descubrir fuentes de resistencia de avenas silvestres (Cabral & Park, 2014), entre otros. Este método se basa en la relación gen a gen que postula Flor (1956) y en el tipo de infección (TI) producida por la interacción del hospedante y patógeno. En éste se ensayan en forma individual las plántulas de los genotipos cuyos genes de resistencia se desconocen, junto con líneas cuasi-isogénicas para un simple gen de resistencia, a temperatura constante, utilizando aislamientos con diferentes genes de virulencia y avirulencia (Roelfs *et al.*, 1992). Posteriormente, los datos del TI de los cultivares son comparados con los TI de las líneas cuasi- isogénicas Pc. Para hipotetizar la presencia de un gen *Pc* en un genotipo, el TI en éste debe ser más bajo o igual al TI en la línea cuasi-isogénica, ésto sugiere pero no prueba la existencia de un único gen en el cultivar. Un TI más bajo en el genotipo que en la línea cuasi isogénica sugiere que puede tener más de un gen, mientras que un TI más alto en el genotipo que en la línea *Pc* sugiere que el gen de resistencia no está presente (Rizvi & Buchenau, 1994).

Otro método para la identificación de genes de resistencia es el uso de marcadores moleculares, constituyéndose en una herramienta para complementar el mejoramiento genético tradicional. Existen distintos tipos de marcadores asociados a genes de resistencia en plántula para Pc. En el laboratorio de Biotecnología del INTA Bordenave, se utilizan marcadores para seleccionar individuos que porten alelos de resistencia para el *Pc91* y *Pc94*, procedentes de poblaciones obtenidas con los genotipos

HiFi y Legget desarrolladas por el plan de mejoramiento del INTA Bordenave. El gen *Pc91* originado de *A. magna* (McMullen *et al.*, 2005) y *Pc 94* de *A. strigosa* (Fetch *et al.*, 2007), son muy utilizados en los cultivares canadienses (Chong *et al.*, 2011).

Por otro lado, la resistencia parcial representa una opción promisoriosa ya que es no específica y potencialmente puede ser una solución a más largo plazo. La resistencia parcial a roya de la hoja en avena fue identificada en genotipos de varios programas de mejoramiento, por ejemplo algunas líneas del plan UFRGS de la Universidad Federal de Rio Grande Do Sul (Chaves *et al.*, 2004b) y la línea MN 8481801-1 (Portyanko *et al.*, 2005). Algunas de éstas fueron estudiadas para la herencia e identificación de QTL (Quantitative Trait Loci) asociados con resistencia parcial a Pc (Barbosa *et al.*, 2006; Wesp *et al.*, 2008). Se ha demostrado que la línea MN 841801 ha sido resistente a varias poblaciones de Pc por más de 20 años (Chong, 2000; Leonard, 2002). Sin embargo, la resistencia parcial es más difícil de utilizar en planes de mejoramiento porque el mejorador debe seleccionar por diferencias cuantitativas en la reacción a la enfermedad y puede ser confundida con resistencia completa si esta última es efectiva frente a una porción de la población patógena. Un método de mejoramiento a utilizar para incorporar resistencia parcial, podría ser la selección recurrente, buscando incrementar los alelos deseables a partir de repetidos ciclos de selección y recombinación. Este método ha sido usado para cultivos con polinización cruzada y también con algunas limitaciones en autógamias como avena (Díaz Lago *et al.*, 2002).

El estudio de las resistencias frente a Pc en genotipos que se encuentran en filiales avanzadas de un plan de mejoramiento es de fundamental importancia para conocer su potencialidad y es un dato adicional requerido para la inscripción de nuevas variedades.

### **Hipótesis**

- La población de Pc de la localidad de Los Hornos presenta una alta variabilidad para virulencia.
- Los genes Pc disponibles en el germoplasma argentino han sido quebrados, y la frecuencia de razas virulentas sobre éstos es alta.
- Existen algunas líneas en filiales avanzadas del Criadero de la UNLP que tienen genes de resistencia a Pc en su germoplasma.

- Existen algunas líneas en filiales avanzadas del Criadero de la UNLP que presentan valores similares o menores de severidad a los de las mejores variedades comerciales.
- La resistencia de los genotipos argentinos en planta adulta, está relacionado a la cantidad de genes Pc que presenten.

### **Objetivo general**

Contribuir a través del mejoramiento genético a la obtención de genotipos de avena con resistencia frente a roya de la hoja.

### **Objetivos específicos**

- Caracterizar la población del patógeno y conocer el grado de virulencia sobre los genes de resistencia disponibles.
- Postular la presencia de genes Pc en líneas de filiales avanzadas del plan de mejoramiento del Criadero de la UNLP y variedades comerciales de avena.
- Evaluar la resistencia a campo de 20 genotipos de avena frente a Pc, utilizando ambientes diferentes

## **2.2-Materiales y métodos**

### **2.2.1- Ensayo 1: Caracterización de razas de *Puccinia coronata***

En noviembre de 2014 y 2015, se recolectaron hojas de avena con signos de enfermedad (pústulas), en la Estación Experimental Julio Hirschhörn, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Los Hornos (34° 52' LS; 57° 58' LO). Las muestras fueron rotuladas, conservadas a 4°C y enviadas al laboratorio de royas perteneciente a la EEA INTA Bordenave (37° 52' LS; 63° 01' LO). En el mes de abril, se repicaron sobre un hospedante susceptible y cuando se produjo la esporulación, se seleccionaron 2 aislamientos monopostulares por muestra, para asegurar la pureza del aislamiento y evitar mezclas. Cada aislamiento fue inoculado sobre un hospedante susceptible, para multiplicar la cantidad de inóculo.

Los aislamientos recolectados en 2014 se inocularon sobre los genotipos comerciales (Tabla 2.1), para observar el comportamiento de éstos y la eficacia de la

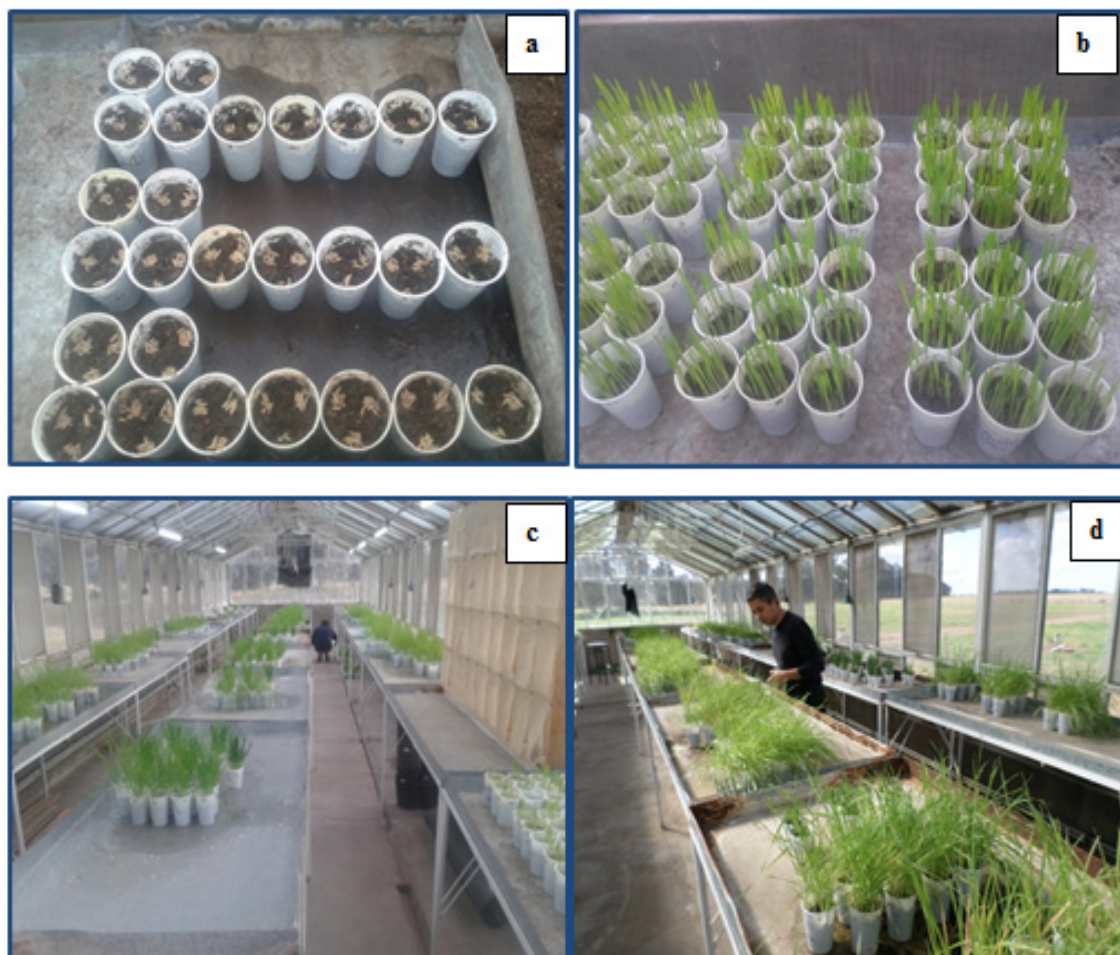
resistencia frente a estos aislamientos, no realizándose la identificación de genes *Pc* sobre el set de líneas diferenciales.

Los aislamientos recolectados en 2015 fueron inoculados sobre un set de líneas diferenciales cuasi-isogénicas portadoras de diferentes genes de resistencia, lo que permitió identificar los genes de virulencia y avirulencia de cada raza de *Pc*. El set de *Pc* está constituido por 9 líneas portadoras de los siguientes genes *Pc35*, *Pc38*, *Pc39*, *Pc48*, *Pc50*, *Pc51*, *Pc52*, *Pc64* y *Pc67*. Luego fueron también inoculados sobre los genotipos comerciales (Tabla 2.1).

**Tabla 2.1:** Denominación, año de inscripción y origen de genotipos de avena usados en el ensayo en 2014.

Genotipo	Nombre	Inscripción	Criadero
<b>Suregrain</b>	Suregrain	1980	Introducido de USA
<b>Cristal INTA</b>	Cristal	1991	EEA INTA Bordenave
<b>Millauquén INTA</b>	Millauquén	1988	EEA INTA Bordenave
<b>Pilar INTA</b>	Pilar	1998	EEA INTA Bordenave
<b>Máxima INTA</b>	Máxima	1995	EEA INTA Bordenave
<b>Aurora INTA</b>	Aurora	2001	EEA INTA Bordenave
<b>Rocío INTA</b>	Rocío	2001	EEA INTA Bordenave
<b>Bonaerense INTA Maja</b>	Maja	1998	CE INTA Barrow
<b>Bonaerense INTA Calén</b>	Calén	1998	CE INTA Barrow
<b>Bonaerense Payé</b>	Payé	1991	CE INTA Barrow
<b>Bonaerense INTA Canai</b>	Canai	2004	CE INTA Barrow
<b>Boyera FA</b>	Boyera	1993	Criadero UNLP
<b>Tambera FA</b>	Tambera	1987	Criadero UNLP
<b>Pionera FA</b>	Pionera	1998	Criadero UNLP
<b>INIA Tucana</b>	Tucana	1996	Introducida del INIA Uruguay
<b>INIA Polaris</b>	Polaris	1998	Introducida del INIA Uruguay
<b>U-16</b>	U-16	1999	Introducida del programa de UFRGS, Brasil
<b>Milagros INTA</b>	Milagros	2002	EEA INTA Bordenave
<b>Violeta INTA</b>	Violeta	2005	EEA INTA Bordenave
<b>Graciela INTA</b>	Graciela	2005	EEA INTA Bordenave
<b>Marita INTA</b>	Marita	2011	EEA INTA Bordenave
<b>Carlota INTA</b>	Carlota	2010	EEA INTA Bordenave
<b>Bonaerense INTA Maná</b>	Mana	2010	CE INTA Barrow
<b>Bonaerense INTA Yapa</b>	Yapa	2015	CE INTA Barrow
<b>Bonaerense INTA Sureña</b>	Sureña	2015	CE INTA Barrow
<b>Bonaerense INTA Aikén</b>	Aikén	2015	CE INTA Barrow
<b>Julieta INTA</b>	Julieta	2015	EEA INTA Bordenave

En 2015, a diferencia del set de 2014, se incluyeron tres cultivares del plan de mejoramiento de la EEA INTA Bordenave inscriptos en 2016 (Lucia INTA, Florencia INTA y Elizabet INTA) y una línea que se encuentra próxima a inscripción (Bv 52-04). Éstas reemplazaron a cuatro cultivares antiguos (Boyera FA, Pionera FA, Tambara FA y Suregrain).



**Figura 2.3:** **a)** siembra de los set de líneas diferenciales; **b)** líneas diferenciales en EC11; **c)** invernáculo donde se realizó el ensayo; **d)** seguimiento del ensayo.

### Siembra e inoculación

Se sembraron entre 8 y 10 semillas de cada una de las líneas del set de líneas cuasi-isogénicas diferenciales o de cada genotipo comercial en macetas individuales de 200 cm<sup>3</sup>, con suelo franco de buena fertilidad. Cada aislamiento se inoculó sobre todas las líneas del set y sobre todos los genotipos comerciales, cuando las plántulas tuvieron dos hojas expandidas (EC12, Zadoks *et al.*, 1974). Para la inoculación, se colocó en cápsulas de gelatina una submuestra del aislamiento de Pc (1/10 de su volumen) y aceite mineral Soltrol 170 (utilizado como vehículo), se mezcló y asperjó mediante un



compresor de aire y una boquilla aspersora. Posteriormente las plántulas fueron colocadas en cámara saturada de humedad durante un mínimo de 15 h y transferidas a invernáculo con una temperatura de 18°C a 22°C.

### Evaluaciones

Las evaluaciones se realizaron 15 días después de la inoculación, por tipo de infección mediante escala de 0 a 4 (Murphy, 1935), modificada después de Roelfs *et al.*, 1992.

**Tabla 2.2:** Respuestas del hospedante y descripción de las reacciones de infección usadas en los sistemas de la roya de la hoja

<b>Tipo de infección</b>	<b>Respuesta del hospedante</b>	<b>Síntoma</b>
<b>0</b>	Inmune	Uredosoros no visibles
<b>;</b>	Muy resistente	Puntos de hipersensibilidad
<b>1</b>	Resistente	Uredosoros pequeños, con necrosis
<b>2</b>	Moderadamente resistente	Uredosoros pequeños a moderados, con islas verdes y rodeado con necrosis o clorosis
<b>3</b>	Moderadamente susceptible	Uredosoros medianos, con o sin clorosis
<b>4</b>	Susceptible	Uredosoros grandes, sin clorosis
<b>X</b>	Mesotética	Heterogéneo, similar distribución sobre las hojas
<b>Y</b>	Mesotética	Tamaño variable con grandes uredosoros hacia la punta
<b>Z</b>	Mesotética	Tamaño variable con grandes uredosoros hacia la base

En la escala 0, ; 1, 2 y X son resistentes, 3 y 4 son susceptibles. Variaciones se indican por el uso de – (menos que el medio para la clase) y + (más que el medio para la clase). C indica más clorosis de lo normal; N presencia de necrosis en la reacción de infección (Escala de Murphy, modificada después de Roelfs *et al.*, 1992).

### Análisis de resultados

El ensayo no fue analizado con un modelo estadístico, porque es un ensayo de observación y el resultado de la interacción raza-genotipo es siempre el mismo, no presentando variabilidad. El diseño fue de parcela dividida, siendo cada raza la parcela principal y los genotipos las subparcelas, con tres repeticiones. Con la finalidad de disminuir los errores el ensayo se realizó por triplicado, para tener certeza de que el resultado es confiable, ya que al trabajar con un inóculo tan liviano cualquier pústula puede mezclarse y contaminar otra planta.

#### **2.2.2- Ensayo 2: Postulación de genes de resistencia en plántulas**

El ensayo se realizó en el año 2016, bajo condiciones controladas en el laboratorio de royas perteneciente a la EEA INTA Bordenave. Se evaluaron 20 genotipos de avena frente a razas puras de Pc, que incluyeron cultivares comerciales y líneas en filiales avanzadas del Criadero de la UNLP (Tabla 2.3).

**Tabla 2.3:** Nombre de los 20 genotipos de avena incluidos en los ensayos, denominación y origen

<b>Genotipos</b>	<b>Denominación</b>	<b>Criadero</b>
<b>Línea 1</b>	L1	Criadero UNLP
<b>Línea 2</b>	L2	Criadero UNLP
<b>Línea 3</b>	L3	Criadero UNLP
<b>Línea 4</b>	L4	Criadero UNLP
<b>Línea 5</b>	L5	Criadero UNLP
<b>Línea 6</b>	L6	Criadero UNLP
<b>Línea 7</b>	L7	Criadero UNLP
<b>Bonaerense INTA Calén</b>	Calén	CE INTA Barrow
<b>Bonaerense INTA Canai</b>	Canai	CE INTA Barrow
<b>Bonaerense INTA Maja</b>	Maja	CE INTA Barrow
<b>Bonaerense INTA Maná</b>	Maná	CE INTA Barrow
<b>Aurora INTA</b>	Aurora	EEA INTA Bordenave
<b>Carlota INTA</b>	Carlota	EEA INTA Bordenave
<b>Cristal INTA</b>	Cristal	EEA INTA Bordenave
<b>Graciela INTA</b>	Graciela	EEA INTA Bordenave
<b>Marita INTA</b>	Marita	EEA INTA Bordenave
<b>Máxima INTA</b>	Máxima	EEA INTA Bordenave
<b>Milagros INTA</b>	Milagros	EEA INTA Bordenave
<b>Rocío INTA</b>	Rocío	EEA INTA Bordenave
<b>Violeta INTA</b>	Violeta	EEA INTA Bordenave

Las razas puras del patógeno, fueron aportadas por el Ing. (MSc.) Pablo Campos, especialista en roya de la EEA INTA Bordenave, recolectadas en diferentes localidades de Argentina, en los años 2013 y 2015. Las razas habían sido identificadas sobre un set de líneas diferenciales cuasi-isogénicas portadoras de diferentes genes de resistencia, lo que permite identificar los genes de virulencia y avirulencia de cada raza de Pc.

### Siembra e inoculación

Se sembraron entre 8 y 10 semillas de cada genotipo, en macetas individuales de 200 cm<sup>3</sup> con suelo franco de buena fertilidad. Cada aislamiento de Pc fue inoculado cuando las plántulas tuvieron dos hojas expandidas (EC12). Para la inoculación, se colocó una submuestra del aislamiento de Pc (1/10 de su volumen) y aceite mineral Soltrol 170 (utilizado como vehículo), en una cápsula de gelatina, se mezcló y luego

asperjó sobre cada genotipo mediante un compresor de aire y una boquilla aspersora. Las plántulas fueron depositadas en cámara saturada de humedad durante un mínimo de 15 h, para luego ser transferidas al invernáculo con una temperatura de 18°C a 22°C.

### Evaluaciones

Las evaluaciones se realizaron 15 días después de la inoculación, por tipo de infección mediante la escala de 0 a 4 (Murphy, 1935) modificada después de Roelfs *et al.*, 1992. El diseño y análisis fue similar al ensayo 1.

#### **2.2.3- Ensayo 3: Evaluación en planta adulta**

La resistencia de los genotipos en planta adulta se realizó en dos ensayos diferentes, uno en la Estación Experimental INTA Bordenave y otro en la Estación Experimental J. Hirschhörn, Los Hornos. Sobre los mismos, se evaluó la resistencia a enfermedades foliares por infección natural, en especial a *Puccinia coronata* f.sp. *avenae*.

##### a- Estación Experimental INTA Bordenave

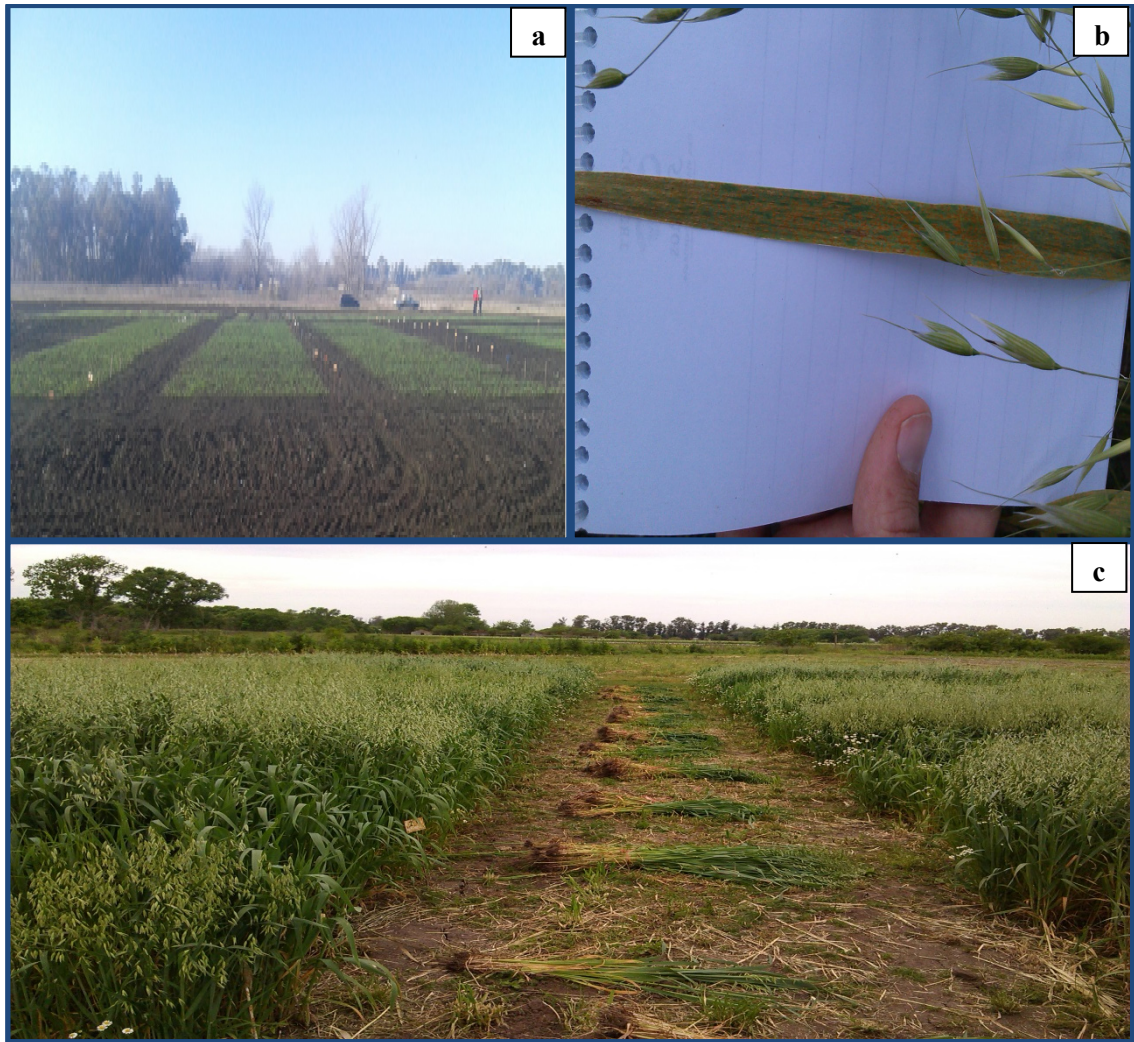
El ensayo se sembró a mediados de junio de 2014 y 2015. Los 20 genotipos (Tabla 2.3) se sembraron al azar bajo sistema de labranza convencional, en surcos de dos metros distanciados a 30 cm, con una densidad de 200 pl.m<sup>-2</sup>. Cada 5 genotipos se sembraron dos surcos como bordura con un genotipo susceptible a roya de la hoja, para favorecer la multiplicación del inóculo.

En EC82 se evaluó la severidad, para ello se tomaron 7 a 10 plantas al azar de cada parcela, y se valoró por apreciación visual, expresada como porcentaje de hoja enferma sobre el total de área de la misma. La evaluación se realizó sobre la hoja bandera (HB) y la inmediatamente inferior a la HB (HB-1), que fueron las que permitieron visualizar las mayores diferencias. Además se evaluó la presencia de caracteres de interés como teliosporas tempranas y reacciones de tipo moderadamente resistente (MR) o moderadamente susceptible (MS). El ensayo no tuvo análisis estadístico, siendo los resultados solo observaciones de la severidad y de caracteres de interés.

##### b- Estación Experimental J. Hirschhörn, Los Hornos

En un ensayo comparativo de rendimiento llevado a cabo en la Estación Experimental Julio Hirschhörn, perteneciente a FCAyF, Los Hornos (34° 52' LS; 57° 58'), durante 2014 y 2015, se evaluó la resistencia a campo frente a *Puccinia coronata* (Capítulo 2), el rendimiento de grano (Capítulo 3) y la calidad de grano (Capítulo 4). La siembra se realizó el 2 de julio de 2014 y el 16 de junio de 2015, con un diseño experimental en bloques al azar con 20 genotipos de avena, 13 de ellos cultivares comerciales y 7 líneas del Criadero UNLP (Tabla 2.3) con tres repeticiones. Para el análisis de varianza se utilizó un modelo mixto, en que los genotipos se consideraron como efectos fijos y las repeticiones como efectos aleatorios.

Los genotipos se evaluaron en tres grupos de precocidad diferentes, teniendo en cuenta el ciclo fenológico. Para ello se tomaron 7 a 10 plantas al azar de cada parcela, en diferentes estadios de cultivo EC39, EC60 y EC82, y se valoró por apreciación visual, la severidad de las enfermedades foliares manifestadas, expresada como porcentaje de hoja enferma sobre el total de área de la misma. La evaluación se realizó desde HB hasta la primera hoja senescente, pero luego se eligió el valor promedio de la HB y la HB-1, que fueron las que permitieron discriminar mejor entre genotipos. Además, se determinó el área bajo la curva de progreso de la enfermedad, ABCPE (Shanner & Finney, 1977).



**Figura 2.4:** a) emergencia del ensayo en Los Hornos; b) evaluación de severidad; c) muestreo de plantas para realizar severidad

### Análisis estadístico

Los datos de severidad y ABCPE se analizaron mediante análisis de varianza para ensayos en bloques al azar. Los porcentajes de severidad en EC39, EC60 y EC82 fueron transformados con la función  $(\arcsin \sqrt{\%})$  para mejorar la normalidad de los residuos y la heterogeneidad de la varianza residual. Las medias se compararon mediante el test de LSD ( $P=0,05$ ). Se utilizó el Software GenStat 12th Edition.

## **2.3-Resultados**

### **2.3.1- Ensayo 1: Caracterización de razas de *Puccinia coronata***

Los resultados indican que la población de Pc de Los Hornos presentó una alta variabilidad de razas en ambos años de muestreo, y la mayoría de los aislamientos

recolectados constituyó una raza diferente. En 2014 a partir de 11 aislamientos monopostulares se identificaron 10 razas (Tabla anexo N° 1). La única raza identificada en dos oportunidades fue la representada por los aislamientos Pc 15-26-1 y Pc 15-26-2, que fue virulenta sobre 15 de los 27 genotipos comerciales. En 2015 a partir de los 32 aislamientos se identificaron 29 razas (Tabla anexo N° 3). Una raza fue encontrada 4 veces en el muestreo, representada por los aislamientos Pc 16-61-3, Pc 16-74-1, Pc 16-73-2 y Pc 16-60-2, siendo virulenta sobre los genes *Pc35*, *Pc38*, *Pc39*, *Pc51* y *Pc67*, y sobre 24 de los 27 genotipos comerciales (Tabla 2.4).

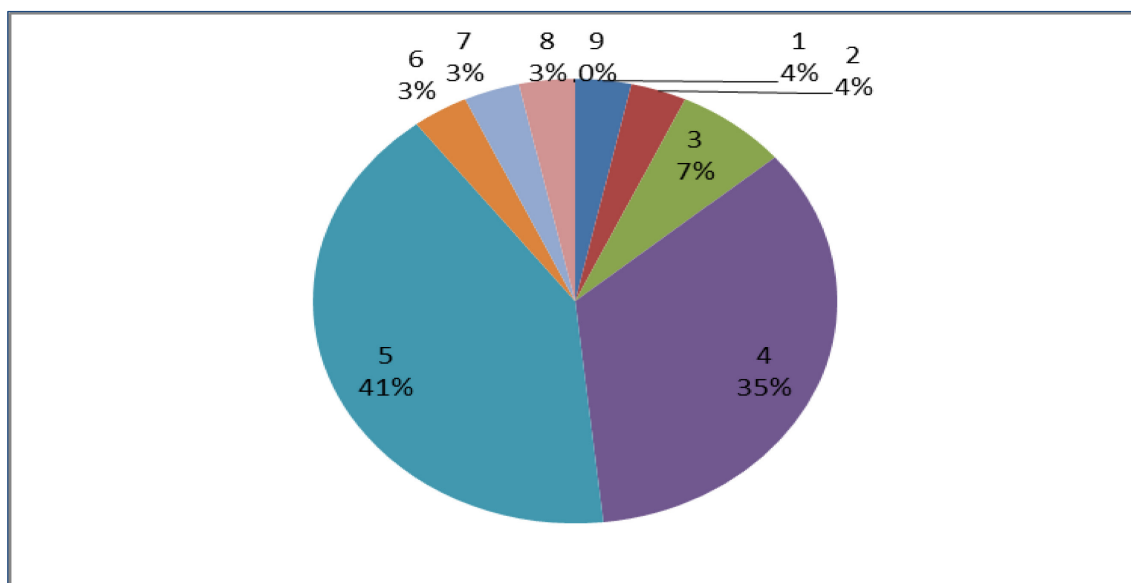
**Tabla 2.4:** Formula de virulencia de aislamientos característicos de las razas identificadas en Los Hornos en 2015

Aislamiento	Genes de resistencia efectivos/inefectivos	N° de genes efec/inef	Aislamiento	Genes de resistencia efectivos/inefectivos	N° de genes efec/inef
Pc 16-59-4	48-52-64/35-38-39-50-51-67	3/6	Pc 16-73-5	38-48-52-64/35-39-50-51-67	4/5
Pc 16-66-5	48-50-52-64/35-38-39-51-67	4/5	Pc 16-74-3	38-48-52-64-67/35-39-50-51	5/4
Pc 16-61-3	48-50-52-64/35-38-39-51-67	4/5	Pc 16-72-1	<b>38</b> -48-52-64-67/35-39-50-51	5/4
Pc 16-74-1	48-50-52-64/35-38-39-51-67	4/5	Pc 16-70-2	38-48-52-64-67/35-39-50-51	5/4
Pc 16-73-2	48-50-52-64/35-38-39-51-67	4/5	Pc 16-71-3	38-48-50-52-64-67/35-39-51	6/3
Pc 16-60-2	48-50-52-64/35-38-39-51-67	4/5	Pc 16-57-1	38-39-48-52-64/35-50-51-67	5/4
Pc 16-63-1	48-50-52-64-67/35-38-39-51	5/4	Pc 16-65-3	38-39-48-52-67/35-50-51-64	5/4
Pc 16-60-1	48-50-52-64-67/35-38-39-51	5/4	Pc 16-67-3	38- <b>39</b> -48-52-64-67/35-50-51	6/3
Pc 16-71-1	48-50-52-64-67/35-38-39-51	5/4	Pc 16-70-1	<b>38</b> -48-52-64-67/35-39-50-51	5/4
Pc 16-64-4	48-50-52-64-67/35-38-39-51	5/4	Pc 16-66-1	38- <b>39</b> -48-50-52-64-67/35-51	7/2
Pc 16-58-1	48-50-52-64-67/35-38-39-51	5/4	Pc 16-68-2	<b>35</b> -38-39-48-50-52-64-67/51	8/1
Pc 16-61-6	48-50-52-64- <b>67</b> /35-38-39-51	5/4	Pc 16-55-1	67/35-38-39-48-50-51-52-64	1/8
Pc 16-62-4	38-48-52-64/35-39-50-51-67	4/5	Pc 16-62-1	39-48-50- <b>52</b> -64/35-38-51-67	5/4
Pc 16-67-5	<b>38</b> -48-52-64/35-39-50-51-67	4/5	Pc 16-55-2	<b>39-64</b> /35-38-48-50-51-52-67	2/7
Pc 16-65-1	35-39-50-51-67/38-48-52-64	4/5	Pc 16-69-2	35-38-50-51-67/39-48-52-64	5/4
Pc 16-57-2	35-39-50-51-67/38-48-52-64	4/5	Pc 16-62-6	35-38-50-51-67/ <b>39</b> -48-52-64	5/4

Los genes resaltados con color rojo tienen un TI intermedia (2, 2+).

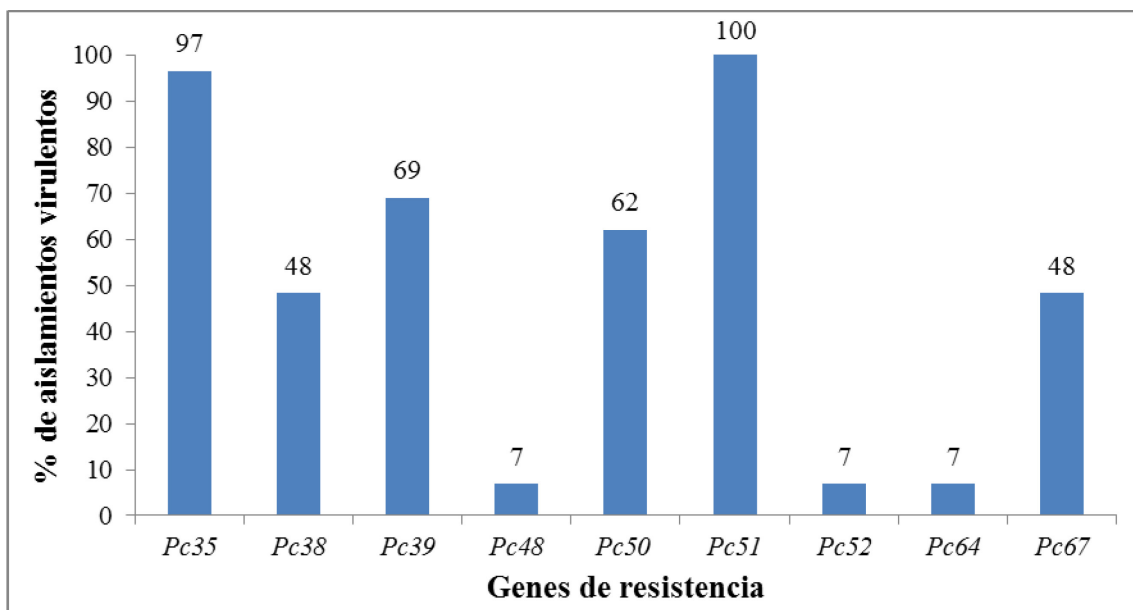
La cantidad de genes diferenciales fue limitante en este set, y por ello en el año 2015 si solo utilizáramos este set, se podrían identificar 16 razas. Por ejemplo para los aislamientos Pc 16-63-1 y Pc 16-60-1 fueron inefectivos/efectivos los mismos genes (Tabla 2.4), lo que en principio indicaría que son la misma raza, pero al observar estos aislamientos sobre los genotipos comerciales, se observa que tuvieron diferente respuesta en alguno/s de los genotipos (Tabla anexo N° 3), lo que reveló que son diferentes razas.

Otro de los resultados que se desprende de este estudio es la complejidad de la virulencia, entendiéndose por ésto que cada raza fue virulenta sobre muchos de los genes de resistencia. De los 29 biotipos identificados en 2015, 12 de ellos (41%) presentaron virulencia sobre 5 genes y 10 (35%) sobre 4 genes del set (Figura 2.5). Además los resultados indican que la población tuvo un alto nivel de virulencia, puesto que el 50% de las inoculaciones manifestó TI alta sobre los genes del set (datos no mostrados).



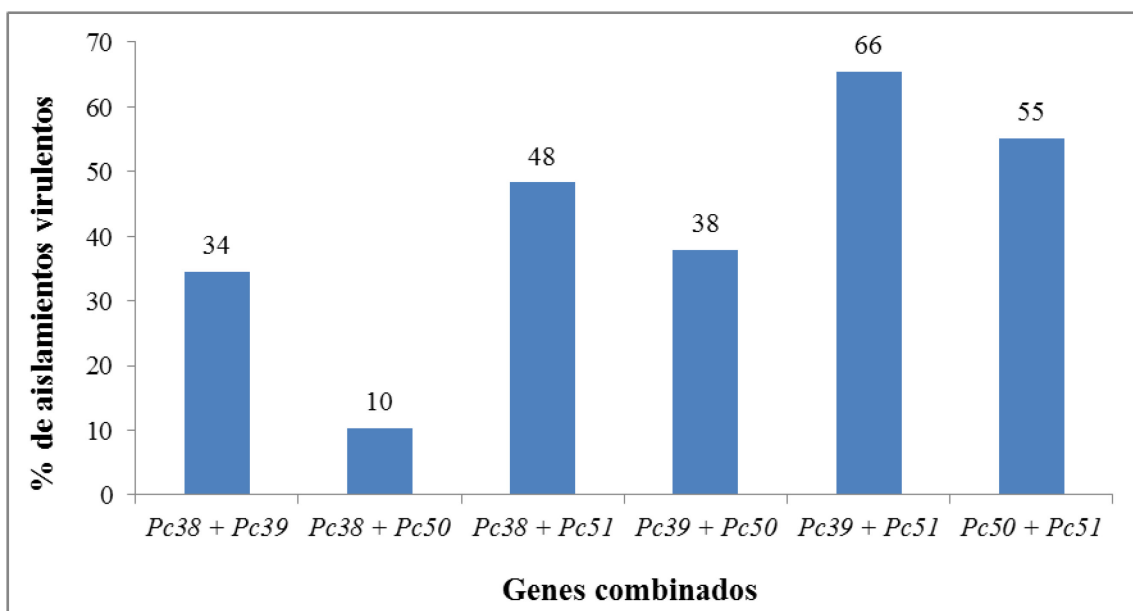
**Figura 2.5:** Porcentaje de aislamientos con virulencia sobre 1 a 9 de los genes de resistencia.

Se han identificado razas virulentas para todos los genes del set (Figura 2.6). Los genes *Pc48*, *Pc52* y *Pc64* han sido los que aportaron mayor resistencia, siendo inefectivos solo frente a dos aislamientos (7%). El aislamiento Pc 16-55-1 fue virulento sobre los tres genes, mientras que el Pc 16-55-2 fue virulento sobre el *Pc48* y *Pc52*, e intermedio (TI=2) sobre el *Pc64*. Además este último gen, resultó inefectivo ante el Pc 16-65-3 (Tabla anexo N° 2). El gen *Pc67* fue susceptible al 48% de los aislamientos y el *Pc35* al 97%. Por último, la frecuencia de razas virulentas sobre los genes disponibles en los genotipos argentinos fue del 97% para *Pc51*, 69% para *Pc39*, 62% para *Pc50* y 48% para *Pc38*.



**Figura 2.6:** Porcentaje de aislamientos virulentos de la población recolectada en 2015 frente a genes de resistencia del set de líneas diferenciales.

Si analizamos las posibilidades de combinación de los genes citados en el germoplasma argentino, observamos que el apilado de genes disminuye el porcentaje de aislamientos virulentos. Por ejemplo, 34% de los aislamientos serían virulentos frente a un genotipo que tenga el *Pc38 + Pc39*, o *Pc39 + Pc50*, y solo 10 % para la combinación *Pc38 + Pc50* (Figura 2.7).



**Figura 2.7:** Porcentaje de aislamientos virulentos frente a genes de resistencia combinados, de la población recolectada en 2015.



Con respecto a la eficacia de la resistencia de las variedades comerciales de nuestro país, en 2014 la totalidad de razas recolectadas fueron virulentas sobre genotipos como Suregrain, Millauquen, Pilar, Boyera, Pionera, Tambera, Rocío y Calén (Tabla anexo N° 1). Otros genotipos como Tucana, Polaris, U16, Máxima y Milagros fueron resistentes al 90% de los aislamientos, siendo susceptibles al Pc 15-20-6. Maná también fue resistente al 90%, pero fue susceptible al Pc 15-27-2. Por último, variedades de reciente difusión como Julieta y Sureña fueron resistentes al 60 y 80% de los aislamientos respectivamente, mientras que Yapa frente a todos los aislamientos. Los aislamientos de mayor virulencia fueron Pc 15-20-6 y el Pc 15-24-4.

En 2015, los genotipos más resistentes frente a esta población fueron Bv 52-04 (97%), Elizabet INTA (90%) y Lucia INTA (83%) (Tabla anexo N° 3). Por el contrario, cultivares como Millauquén y Pilar fueron susceptibles a todas las razas, otros a un alto % como Violeta (97%), Cristal (93%), Rocio (90%), Aikén (90%), Calén (86%), Payé (86%), Sureña (83%), Graciela (83%) y Florencia INTA (83%). Variedades como Graciela, Aurora y Maja fueron susceptibles al 83%, 79% y 66% de las razas respectivamente. Por último, Yapa, Máxima, Milagros, Maná, Polaris, Tucana y U16, tuvieron menores %, variando su resistencia desde el 69 al 59% de los aislamientos. En éste año se identificaron varias razas muy virulentas, las cuales quebraron la resistencia de la mayoría de los genotipos comerciales. Si categorizamos las razas respecto a la virulencia sobre los genes del set, el Pc 16-55-1 fue virulento sobre todos menos sobre el *Pc67*, mientras que los aislamientos Pc 16-59-4, Pc 16-66-5, Pc 16-61-3, Pc 16-60-1 y Pc 16-63-1 fueron virulentos sobre *Pc35*, *Pc38*, *Pc39*, *Pc50*, *Pc51* y *Pc67* (Tabla anexo N° 2). Por ello, la mayoría de los genotipos comerciales fueron susceptibles a este grupo de razas. Los genotipos resistentes fueron Bv 52-04, Elizabet INTA y Lucia INTA, y ante algún aislamiento Maná o Yapa.

La frecuencia de virulencia sobre los genotipos cambió de año a año. En 2014 solo el 10% de la población muestreada fue virulenta sobre genotipos como Polaris, Tucana, U16, Milagros, Máxima o Maná, mientras que en 2015 se incrementó a valores del 31 a 41% según genotipo.

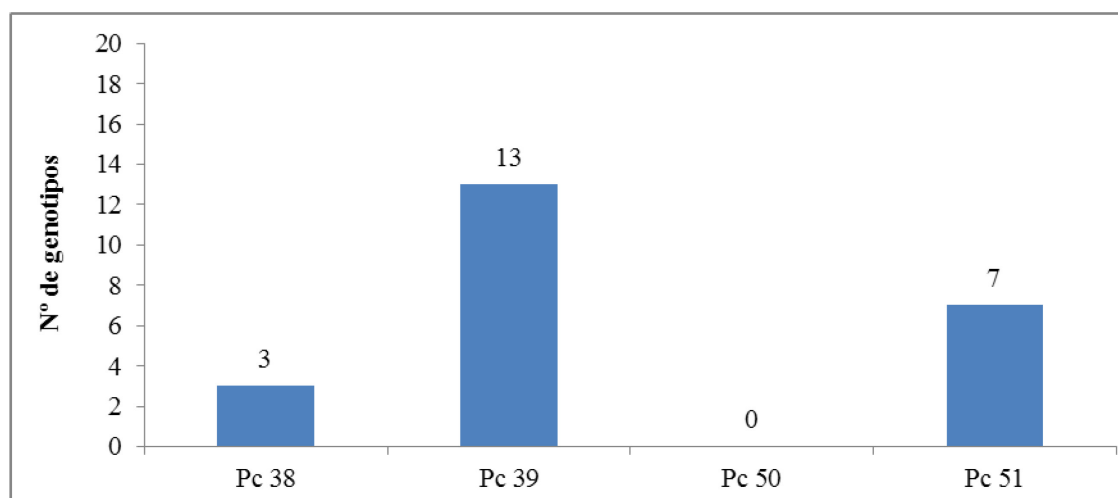
### **2.3.2- Ensayo 2: Postulación de genes de resistencia en plántulas**

Se utilizó la respuesta por tipo de infección frente a 14 razas de Pc con diferentes combinaciones de virulencia para la postulación de genes en genotipos argentinos de avena.

**Tabla 2.5:** Fórmula de virulencia de 14 aislamientos con diferentes combinaciones de virulencia

Aislamiento	Genes de resistencia efectivos/inefectivos
Pc 16-66-5	48-50-52-64/35-38-39-51-67
Pc 16-60-1	48-50-52-64-67/35-38-39-51
Pc 16-58-1	48-50-52-64-67/35-38-39-51
Pc 16-62-4	38-48-52-64/35-39-50-51-67
Pc 16-73-5	38-48-52-64-67/35-39-50-51
Pc 16-74-3	38-39-48-52-64-67/35-50-51
Pc 16-72-1	38-48-52-64-67/35-39-50-51
Pc 16-65-3	38-39-48-52-67/35-50-51-64
Pc 16-68-2	35-38-39-48-50-52-64-67/51
Pc 16-62-1	39-48-50-52-64/35-38-51-67
Pc 16-4-2	39-48-52-64-67/35-38-50-51
Pc 16-19-1	38-39-48-52-64-67/35-50-51
Pc 14-19-5	38-48-51-52-64/35-39-50-67
Pc 14-17-2	48-51-52-64/35-38-39-50-67

En el grupo de genotipos se podrían postular los genes *Pc38*, *Pc39* y *Pc51*, no encontrándose los restantes del set (*Pc35*, *Pc48*, *Pc50*, *Pc52*, *Pc64* y *Pc67*) (Tabla anexo N° 5). El gen con mayor frecuencia fue el *Pc39* que estaría en 13 de los 20 genotipos estudiados, seguido por el *Pc51* con 7 de 20, y el *Pc38* con 3 de 20 (Figura 2.8).



**Figura 2.8:** Número de genotipos que tendría cada gen *Pc*.

Se encontraron genotipos con dos genes efectivos, genotipos con genes individuales, y genotipos sin ninguno de estos genes. Además la respuesta de resistencia en algunos casos indicaría la presencia de algún gen adicional, que no es posible detectar con este set (Tabla anexo N° 5).

Los genotipos Cristal, Calén, Rocío, Violeta y L3 no tienen ninguno de los genes de resistencia del set. L2, L5, Aurora, Maja y Graciela tendrían el *Pc39*. Los genotipos restantes tendrían dos genes *Pc* en su germoplasma, lo que aumenta las combinaciones de resistencia. Canai, Carlota, Marita y las líneas L1, L4 y L7 tendrían los genes *Pc39* y *Pc51*; Máxima y Milagros *Pc38* y *Pc39*, mientras que Maná *Pc38* y *Pc51*. L6 tendría genes *Pc* que no se pudieron identificar con este set, ya que al inocularla frente a una población de razas presenta resistencia total (TI=0, o 0;). Además esta línea tuvo un inconveniente adicional, que fue que no presentó una única respuesta, sino que al evaluarla dentro de los resultados había mayoría de plantas resistentes y 1 o 2 susceptibles.

### 2.3.3- Ensayo 3: Evaluación en planta adulta

#### a- Estación Experimental INTA Bordenave

En la tabla 2.6 se presentan los datos climáticos de Bordenave, donde se realizó la evaluación de severidad en planta adulta.

**Tabla 2.6:** Datos climáticos registrados durante el ensayo, en Estación Experimental INTA Bordenave en 2014 y 2015.

	2014			2015		
	T°C media	Precip. (mm)	HR (%)	T°C media	Precip. (mm)	HR (%)
<b>Junio</b>	8,1	13,4	62	8,1	2	70
<b>Julio</b>	8,2	57,5	66	8	38	68
<b>Agosto</b>	10,7	69	62	10,9	17,5	64
<b>Septiembre</b>	11,8	76,6	64	10,4	73,5	65
<b>Octubre</b>	16,2	276	68	15,6	127	68
<b>Noviembre</b>	18,2	67,5	63	17,5	51,5	62
<b>Diciembre</b>	22,4	29	58	21,6	150,5	68

Temperatura media (T°C), precipitaciones (Precip.) y humedad relativa (HR).

En el año 2014 las condiciones ambientales en Bordenave fueron propicias para el desarrollo de la roya de la hoja (Tabla 2.6). En este año, tanto las precipitaciones como las temperaturas en los meses de octubre y noviembre fueron superiores a las del 2015. En el primer año el promedio para roya de la hoja fue de 60%, con valores que

variaron entre 20 y 80%. En el año 2015 los promedios fueron de 28,6% para Pc con valores que variaron entre 5 y 60% (Tabla 2.7).

**Tabla 2.7:** Severidad en planta adulta de 20 genotipos, en la localidad de Bordenave en dos años de ensayo.

	2014	2015
<b>Línea 1</b>	30 Et	Et-5
<b>Línea 2</b>	50 Et	Et-MR-MS -5
<b>Línea 3</b>	80 S	20-30 S
<b>Línea 4</b>	60-70 S	10-20 S
<b>Línea 5</b>	50 Et	Et-5 S
<b>Línea 6</b>	20 S	10 S
<b>Línea 7</b>	70-80 S	10 S
<b>Calén</b>	70 S	30-40 S
<b>Canai</b>	40 S	10-20 S
<b>Maja</b>	80 S	20-30 S
<b>Maná</b>	60 S	20 S
<b>Aurora</b>	80 S	30 S
<b>Carlota</b>	70 S	30 S
<b>Cristal</b>	60 S	10 S
<b>Graciela</b>	80 S	70 S
<b>Marita</b>	70 S	40 S
<b>Máxima</b>	20-30 S	10 -20 S
<b>Milagros</b>	40-50 S	50-60 S
<b>Rocío</b>	80 S	30 S
<b>Violeta</b>	70 S	40 S
	Promedio 60	Promedio 28,6

Valores de severidad expresados en %, evaluación por tipo de infección “MR” (moderadamente resistente), “MS” (moderadamente susceptible), “S” (susceptible). Et=teliosporas tempranas, t=trazas (puntos o valores similares a 1).

En 2014 los genotipos que se destacaron frente a Pc fueron L6 (20%), Máxima (20-30%) y L1 (30%), seguidas por Canai (40%), Milagros (40-50%), L2 y L5 (50%). Además se observó la formación de teliosporas tempranas (early telias= Et) en L1, L2 y L5, un carácter identificado como condicionante de resistencia horizontal. Por el contrario los genotipos con mayor severidad fueron Maja, Aurora, Carlota, Graciela, Marita, Rocío, Violeta y L7, con valores de 70% y 80%.

En 2015 los destacados fueron las líneas L1, L2, L5, L6 y L7, y las variedades Máxima y Cristal, todos con valores menores al 10%. Por el contrario, los genotipos con mayor severidad fueron Graciela (70%), Milagros (50-60%), Marita y Violeta (40%),

Calén (30-40%), Aurora, Carlota y Rocío (30%), L3 y Maja (20-30%). A excepción de Milagros, todos los genotipos redujeron sus porcentajes de severidad en 2015, aunque en Graciela y Máxima la reducción fue menor.

*b- Estación Experimental J Hirschhörn, Los Hornos*

A continuación se presentan los datos meteorológicos y edáficos en el sitio del ensayo en la Estación Experimental J. Hirschhörn, Los Hornos.

El suelo fue un Argiudol típico (Serie Los Hornos) con los siguientes resultados de análisis (Tabla 2.8).

**Tabla 2.8:** Análisis de suelo en el sitio de los ensayos en la Estación Experimental J. Hirschhörn, Los Hornos

		<b>0 – 20 cm</b>	<b>20-40 cm</b>
<b>pH (1:2,5)</b>		<b>5,86</b>	<b>5,9</b>
<b>Carbono</b>	[%]	<b>2,01</b>	
<b>Materia Orgánica</b>	[%]	<b>3,47</b>	
<b>Nitrógeno total</b>	[%]	<b>0,173</b>	
<b>Nitratos</b>	[ppm]	<b>33,2</b>	<b>22,5</b>
<b>Fósforo</b>	[ppm]	<b>14,33</b>	

Durante el ciclo de cultivo se registró diariamente la temperatura media, precipitaciones, humedad relativa y radiación incidente, en la estación meteorológica situada a 200 m de los ensayos.

**Tabla 2.9:** Datos climáticos registrados durante los ensayos en Estación Experimental J. Hirschhörn, Los Hornos, en 2014 y 2015

	<b>2014</b>				<b>2015</b>			
	<b>T°C media</b>	<b>Precip. (mm)</b>	<b>HR (%)</b>	<b>Rad. (Watt.m<sup>-2</sup>)</b>	<b>T°C media</b>	<b>Precip. (mm)</b>	<b>HR (%)</b>	<b>Rad. (Watt.m<sup>-2</sup>)</b>
<b>Marzo</b>	18,7	122,8	84	3955	20,3	34,8	71	4153
<b>Abril</b>	16	77,6	88	2751	18,2	44,8	67	3169
<b>Mayo</b>	13,2	85,6	93	1821	14,5	28,1	77	2252
<b>Junio</b>	10,3	59	82	1896	11,3	41	69	1902
<b>Julio</b>	10,5	133,8	78	2038	10,3	61	77	1932
<b>Agosto</b>	12,7	62,4	68	2396	13	156,8	81	2136
<b>Septiembre</b>	14,1	94,2	74	3150	12	48	66	1689
<b>Octubre</b>	18,1	171,8	71	4128	13,7	67,8	72	2042
<b>Noviembre</b>	18,9	127,4	65	4975	18	130	52	4933
<b>Diciembre</b>	21,5	41	64	5634	22,1	38,6	69	5748

Temperatura media mensual (T°C), precipitaciones medias mensuales (Precip.), humedad relativa mensual (HR) y radiación (Rad).

En el periodo septiembre-octubre-noviembre las temperaturas fueron mayores en 2014 (14,1 °C, 18,1 °C y 18,9 °C) que en 2015 (12 °C, 13 °C y 18 °C). La humedad relativa presento valores altos en el mes de septiembre de 2014 (74%) y junto a altas precipitaciones favorecieron el inicio de la infección de Pc. Durante este mismo año en los meses de octubre y noviembre la sumatoria de precipitaciones mensuales fue alta (171,8 y 127,4 mm respectivamente) como así también la HR (71 y 65% respectivamente).

Se encontraron diferencias significativas en la severidad en EC39, EC60, EC82 y en el ABCPE, para los tratamientos *Años*, *Genotipos* y para la interacción *A x Ge* (Tabla 2.10).

**Tabla 2.10:** Cuadrados medios y valor de *p* (ANVA) de la severidad en tres momentos de corte (EC39, EC60, EC82) y área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE), en dos años de ensayo en la localidad de Los Hornos, con 20 genotipos de avena

<b>Fuente de Variación</b>	<b>GL</b>	<b>% Severidad EC39</b>	<b>% Severidad EC60</b>	<b>% Severidad EC82</b>	<b>ABCPE</b>
<i>Años (A)</i>	1	379,84 ( <b>&lt;0,001</b> )	488,21 ( <b>&lt;0,001</b> )	10,99 ( <b>&lt;0,001</b> )	28.567.401 ( <b>&lt;0,001</b> )
<i>Genotipos (Ge)</i>	19	3,43 ( <b>&lt;0,001</b> )	6,97 ( <b>&lt;0,001</b> )	0,50 ( <b>&lt;0,001</b> )	914.982 ( <b>&lt;0,001</b> )
<i>A x Ge</i>	19	0,53 ( <b>0,028</b> )	5,44 ( <b>&lt;0,001</b> )	0,17 ( <b>&lt;0,001</b> )	499.189 ( <b>&lt;0,001</b> )
<b>Error</b>	78	0,28	0,36	0,01	11.224
<b>Total</b>	119				

Las condiciones climáticas del año 2014 fueron propicias para el desarrollo de la roya de la hoja, que alcanzó valores de severidad importantes desde estadios tempranos en relación a 2015. En EC39 los valores de severidad fueron 23,6% vs 1,0%, en EC60 de 68,9% vs 8,7%, en EC82 de 90,2% vs 59,1% y en el ABCPE de 1.516 vs 540, en 2014 y 2015 respectivamente.

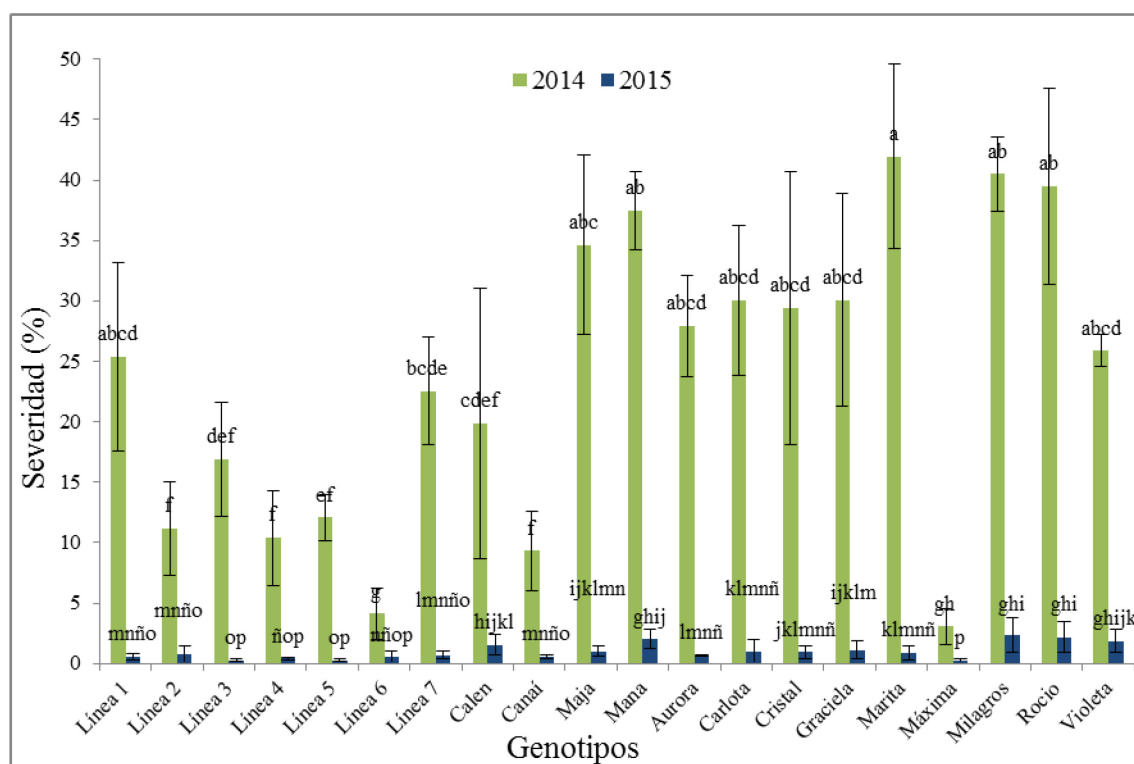
En EC39 la interacción *Ge x A* (Tabla 2.10) fue significativa sólo al 5% de probabilidad. La línea L6 y Máxima presentaron la mayor resistencia en 2014, en tanto que en 2015, varios genotipos además de los anteriores presentaron valores bajos de

severidad. La severidad varió entre 3 y 41,9% en 2014, y entre 0,3 y 2,4% en 2015 (Figura 2.9), por lo que el 2014 permitió discriminar mejor entre genotipos resistentes y susceptibles.

En este sentido, genotipos con porcentajes de severidad altos en 2014, presentaron mayor diferencia entre años, tal es el caso de Marita (41,9% vs 0,9% en 2014 y 2015 respectivamente), Milagros (40,5% vs 2,3%), Rocío (39,5% vs 2,2%), Maja (34,6% vs 1%) y Maná (37,4% vs 2%). Por el contrario, los genotipos con porcentajes bajos en 2014, tuvieron menores diferencias entre años (desde 11 a 0,2%), tal como se evidenció en las líneas L2, L4, L5 y L6, y las variedades Canai y Máxima.

En 2014 Máxima (3,1%) y L6 (4,1%) se diferenciaron del resto de los genotipos, seguidos por Canai (9,3%), L4 (10,4%), L2 (11,1%) y L5 (12,1%). La mayoría de las variedades comerciales alcanzaron porcentajes altos de severidad, como Marita (41,9%), Milagros (40,5%), Rocío (39,5%), Maná (37,5%) y Maja (34,6%).

En 2015 los porcentajes fueron significativamente menores en este estadio, no alcanzando en ningún genotipo el 3% de severidad.



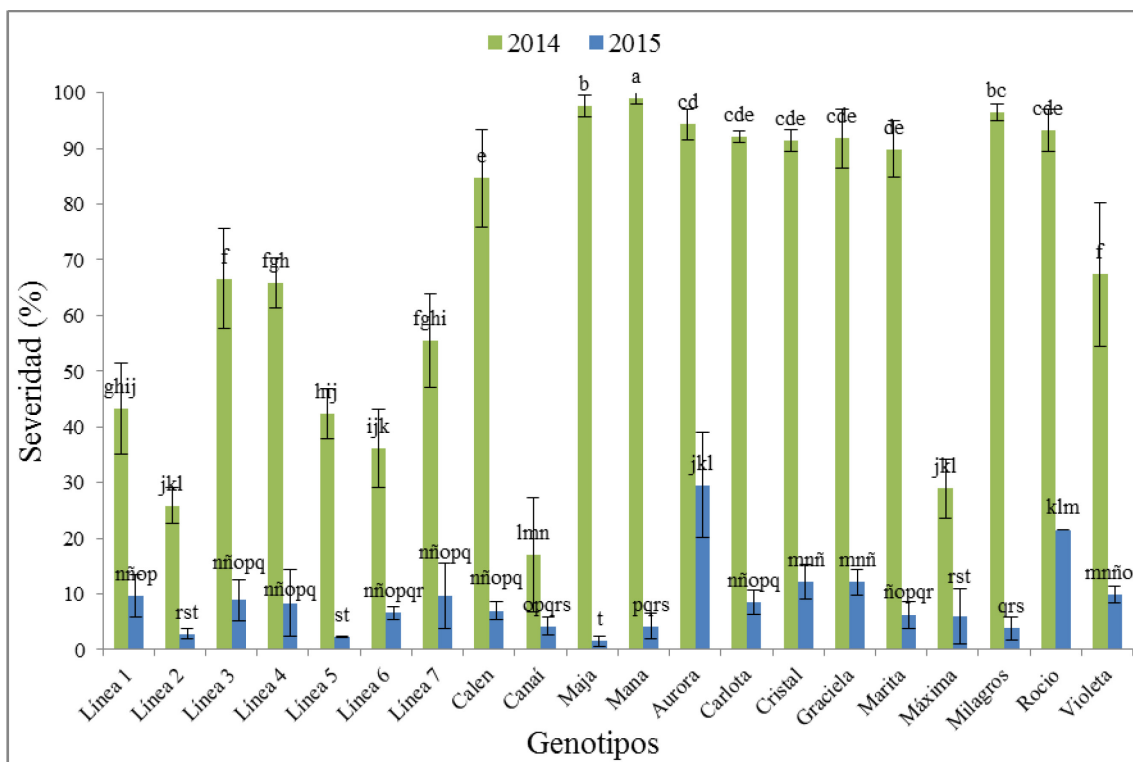
**Figura 2.9:** Valores de severidad en EC39 (promedio HB y HB-1) para la interacción *Año x Genotipo*, en dos años de ensayo con 20 genotipos de avena. Letras diferentes muestran diferencias significativas a través de los tratamientos (*Años y Genotipos*), LSD  $p < 0,05$ . Las barras en cada media representan el desvío estándar.

En EC60 la interacción  $A \times Ge$  fue significativa al 1% (Tabla 2.10), explicada porque algunos genotipos variaron su comportamiento en ambos años, este sería el caso de Maná, Milagros y Maja que fueron de los más enfermos en 2014, pero menos en 2015. Otros genotipos se comportaron de forma similar en ambos años, como Aurora y Rocío que fueron los más enfermos, mientras que L2, L5, L6, Canaí y Máxima se destacaron por ser las de menor severidad en ambos años.

Los valores de severidad variaron entre 17 y 99,2% en 2014, y entre 1,5 y 29,5% en 2015 (Figura 2.10). En el primer año de ensayo entre los genotipos destacados por su menor nivel de enfermedad se encontraron Canai (17%), L2 (25,8%), Máxima (28,9%), L6 (36,1%), L5 (42,3%) y L1 (43,3%). En cambio Maná, Maja y Milagros fueron los de más severidad (99%, 97,6% y 96,5% respectivamente), seguidos por otras variedades como Aurora, Carlota, Cristal, Graciela, Marita y Rocío, con valores de entre 94% y 89%.

En 2015 las líneas L5, L2, L6 (2,2%, 2,8% y 6,6% respectivamente) y variedades como Maja (1,5%), Milagros (3,8%), Maná (4,1%), Canai (4,2%) y Máxima (5,8%) fueron las de menor severidad, mientras que los genotipos de mayor severidad fueron Aurora (29,5%) y Rocío (21,5%), alcanzando valores considerables para este estadio.

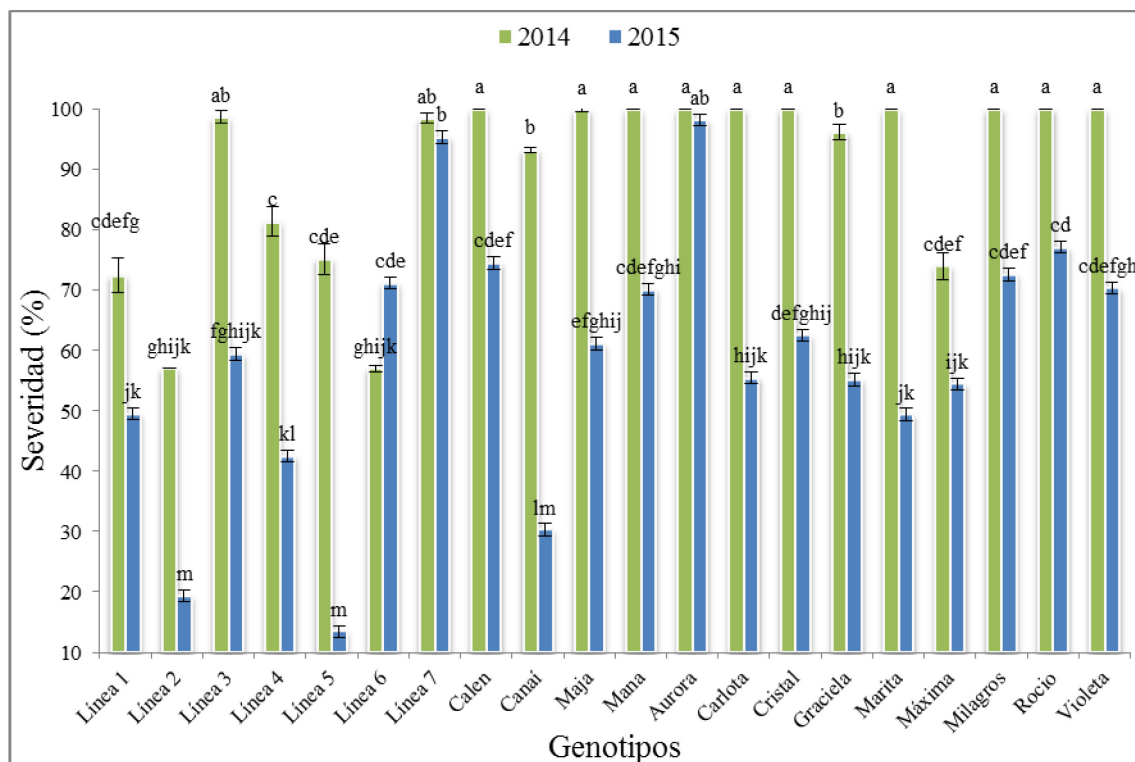




**Figura 2.10:** Valores de severidad en EC60 (promedio HB y HB-1) para la interacción *Año x Genotipo*, en dos años de ensayo con 20 genotipos de avena. Letras diferentes muestran diferencias significativas a través de los tratamientos (*Años* y *Genotipos*), LSD  $p < 0,05$ . Las barras en cada media representan el desvío estándar.

En EC82 la interacción  $A \times Ge$  fue significativa también al 1 %, explicada porque 17 de los 20 genotipos alcanzaron mayor severidad en 2014, no siendo así en Aurora y en L7 que lograron valores similares en ambos años, y L6 que tuvo mayor porcentaje en 2015 (71,2% en 2015 vs 57% en 2014) (Tabla 2.10).

Los valores de severidad estuvieron entre 57 y 100% en 2014, y entre 13,5 y 98% en 2015 (Figura 2.11). En el primer año se destacaron L6 y L2 (ambas con 57%) y L1 (72,5%), que se diferenciaron del resto de los genotipos, seguidas por Máxima (74%), L5 (75%) y L4 (81,4%). El resto de los genotipos alcanzó valores próximos a 100%. Debe destacarse que en este estadio también puede haberse iniciado la senescencia natural de las hojas. En el segundo año, se destacaron por su baja severidad L5 (13,5%), L2 (19,3%) y Canai (30,5%), diferenciándose de un segundo grupo de genotipos constituido por L4, Marita, L1 y Máxima con 42,5%, 49,4%, 49,5% y 54,4% respectivamente. Los genotipos más afectados fueron Aurora y la L7 (98 y 95,5%).

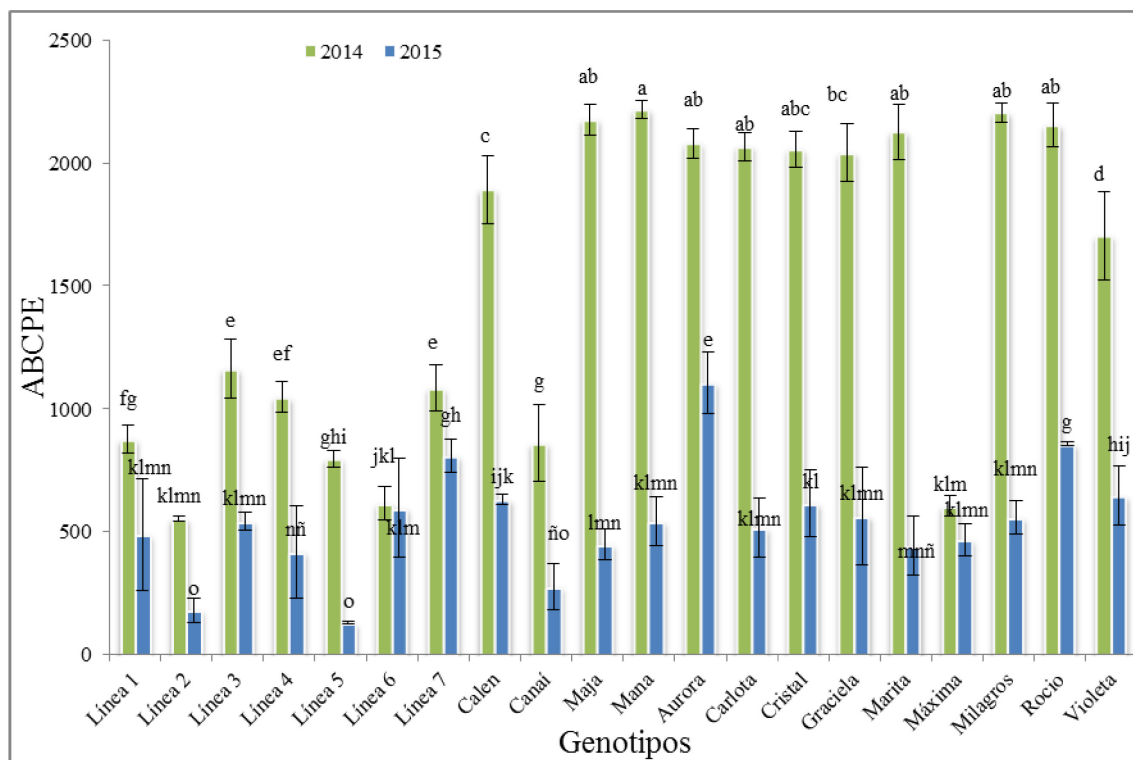


**Figura 2.11:** Valores de severidad en EC82 (promedio HB y HB-1) para la interacción *Año x Genotipo*, en dos años de ensayo con 20 genotipos de avena. Letras diferentes muestran diferencias significativas a través de los tratamientos (*Años* y *Genotipos*), LSD  $p < 0,05$ . Las barras en cada media representan el desvío estándar.

Con respecto al ABCPE se encontraron diferencias significativas para la interacción  $A \times Ge$  (Tabla 2.10). La interacción estuvo dada porque en la mayoría de los genotipos, el ABCPE fue significativamente mayor en 2014, a excepción de lo ocurrido con Máxima (603 y 465) y L6 (613 y 594) para 2014 y 2015 respectivamente, que no se diferenciaron entre años (Figura 2.12). Además todas las líneas del Criadero y Canai tuvieron menores diferencias entre años, por comportarse mejor en 2014, el año de mayor severidad de la enfermedad. Aurora y Rocío fueron genotipos con valores altos en ambos años. Maja y Marita estuvieron en el grupo de mayor ABCPE en 2014, pero en el de menores valores en 2015. Otros genotipos tuvieron un comportamiento más estable en ambos años, como L2, L5, L6, Canai y Máxima obteniendo valores bajos de ABCPE.

En 2014 los genotipos que mejor se comportaron diferenciándose del resto fueron L2 (553), Máxima (603) y L6 (613), seguidos por L5 (796), Canai (860) y L1 (874). Por el contrario, los genotipos con valores superiores fueron Maná (2.217), Milagros (2.206), Maja (2.177), Rocío (2.154), Marita (2.127), Aurora (2.082), Carlota (2.068) y Cristal (2.055), todas variedades comerciales.

En 2015 L5 (126) y L2 (179) fueron los genotipos de mejor comportamiento, seguidos por Canai (274), L4 (417) y Marita (439). En otro sentido, los de mayor ABCPE fueron Aurora (1.105), Rocío (856) y L7 (807) que no se diferencian entre sí, seguidos por Violeta (643) y Calén (630).



**Figura 2.12:** Valor del área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) para la interacción *Año x Genotipo*, en un ensayo de dos años con 20 genotipos de avena. Letras diferentes muestran diferencias significativas a través de los tratamientos (*Años y Genotipos*), LSD  $p < 0,05$ . Las barras en cada media representan el desvío estándar.

## 2.4-Discusión

La población de Pc recolectada en Los Hornos presentó una alta variabilidad para virulencia y la mayoría de los aislamientos recolectados en ambos años, fue una raza diferente. En 2014 se encontraron 10 razas a partir de 11 aislamientos recolectados, mientras que en 2015 fueron 29 razas a partir de 32 aislamientos. En este sentido, Campos *et al.* (2008) afirman que el patógeno se caracteriza por poseer una población heterogénea y dinámica. Es heterogénea por tener variables patogénicas (razas fisiológicas) y es dinámica ya que se observan cambios en la población debido a la aparición de nuevas razas y cambios en la preponderancia o frecuencia de ellas. En regiones de América del Sur, las poblaciones son altamente complejas y especializadas, presentando una alta variabilidad genética para virulencia (Martinelli *et al.*, 1998; Leonard & Martinelli, 2005; Vieira *et al.*, 2007). En un trabajo realizado por Campos *et*

*al.* (2008), se encontraron 16 razas en 74 aislamientos recolectados en la región cerealera Argentina. Martinelli *et al.* (1998) recolectaron 53 muestras de Pc en el sur de Brasil, que posteriormente identificaron como 53 razas diferentes. Por su parte, Leonard & Martinelli (2005) hallaron 44 razas patógenas en 58 aislamientos recolectados en Brasil y Uruguay, mientras que Vieira *et al.* (2007) identificaron 30 razas en 46 aislamientos recolectados en Rio Grande do Sul, Brasil. Aunque no existe evidencia de que Pc tenga reproducción sexual en América del Sur (Martinelli, 2000; Leonard & Martinelli, 2005), la diversidad genética en sus poblaciones es muy alta. La explicación podría encontrarse en una alta tasa de mutaciones, que pueden conservarse por disponer de su hospedante principal a lo largo del año. Esto se puede atribuir a la existencia de una gran región constituida por el Sur de Brasil, Argentina y Uruguay, donde la mayor parte del año hay avena cultivada, y durante el intervalo entre cultivos de avenas sucesivos (noviembre a marzo en Brasil y de enero a marzo en Argentina y Uruguay) hay plantas de avena voluntarias (Leonard & Martinelli, 2005; Vieira *et al.*, 2007). Los mismos autores indican la presencia de super razas en América del Sur. Martinelli *et al.* (1998) hallaron que de las 53 razas encontradas en el Sur de Brasil cada una portaba de 10 a 26 genes de virulencia, con una media de 20 genes por raza, mientras que Leonard & Martinelli (2005) observaron que la complejidad de la virulencia en razas del sur de Brasil y Uruguay fue mayor que la complejidad de razas de una población de Rusia. Los resultados de nuestro trabajo son coincidentes con los trabajos de estos autores. De los 29 biotipos identificados en 2015, 12 de ellos (41%) presentaron virulencia sobre 5 genes y 10 (35%) sobre 4 genes del set. Además los resultados indican que la población tuvo un alto nivel de virulencia, puesto que el 50% de las inoculaciones manifestó TI alta sobre los genes del set.

La caracterización de la población ante un mayor número de genes de resistencia permitiría la selección de alguno de ellos con baja frecuencia de aislamientos virulentos o sin virulencia, para la inclusión a futuro en los programas de mejoramiento.

En el germoplasma argentino de avena se citan los genes *Pc38*, *Pc39*, *Pc50* y *Pc51*, que individualmente o en conjunto pueden brindar resistencia a los cultivares que los posean (Antonelli, 1995; Campos *et al.*, 2008). Estos genes han sido incorporados por el cruzamiento de líneas con los genes mencionados, provenientes del programa “QION” de Quaker con variedades nacionales. En el trabajo realizado por Campos (2001), los genes *Pc38*, *Pc39* y *Pc50* fueron resistentes frente todos los biotipos

recolectados, y solo pocos de éstos fueron virulentos sobre el *Pc51*. Sin embargo, Campos *et al.* (2008) encontraron que el 82,9% de las razas recolectadas fueron virulentas sobre el *Pc51*, el 44,4% sobre el *Pc50*, el 33% sobre el *Pc38* y el 29,9% sobre el *Pc39*, y afirmaron que la utilización de estos únicos genes como base de resistencia a Pc, habría conducido a una importante presión sobre el patógeno, direccionada al incremento en la frecuencia de aislamientos virulentos sobre el gen *Pc51* y a la aparición de nuevas razas con virulencia sobre los genes *Pc38*, *Pc39* y *Pc50*. Los resultados de nuestro trabajo manifiestan que la frecuencia de razas virulentas sobre los genes citados en los genotipos argentinos fue del 97% para *Pc51*, 69% para *Pc39*, 62% para *Pc50* y 48% para *Pc38* para el año 2015, por lo que se incrementaron significativamente respecto a los trabajos previos de Campos (2001) y Campos *et al.* (2008). Hay evidencias que muestran que la extensa producción comercial de cultivares con pocos genes de resistencia mayores, generan gran presión de selección ocasionando la aparición de nuevas razas virulentas (Chong *et al.*, 2011). Leonard & Martinelli (2005), evaluando poblaciones de Brasil y Uruguay recolectadas en el periodo 1997-1999, manifiestan que los genes *Pc38*, *Pc39*, *Pc50* y *Pc51* habían sido quebrados, y las frecuencias de razas virulentas sobre ellos es alta. De la población recolectada en Brasil las frecuencias indicadas fueron en promedio de los tres años 27, 60, 10 y 49% para *Pc38*, *Pc39*, *Pc50* y *Pc51* respectivamente, mientras que en Uruguay fueron de 35, 47, 41 y 63% respectivamente. Esto revela que ya en el año 1997 había razas virulentas sobre los Pc de nuestro germoplasma, por lo que la aparición de nuevas razas en nuestro país podría explicarse por la migración de razas desde Brasil y Uruguay. Por lo tanto en nuestro país, el escaso número de genes de resistencia que se utilizan hace ya más de 25 años, ocasionó un cambio en la población de Pc, con la aparición de razas virulentas e incremento en las frecuencias de virulencia sobre éstos, haciendo que en la actualidad sean casi inefectivos.

Los genes *Pc48*, *Pc52* y *Pc64* podrían resultar de interés para el mejoramiento, aunque en nuestro trabajo se encontraron 2 aislamientos virulentos sobre ellos. Chong & Kolmer (1993) señalan que algunas razas de Pc ya existentes en la población, incrementan su frecuencia de virulencia sobre los genes, cuando estos son liberados. Por ello, el manejo de la resistencia es un aspecto fundamental en los programas de mejoramiento para evitar los quiebres de resistencia y la pérdida de efectividad de los genes. La resistencia puede ser conservada cuando en un cultivar se presentan dos o tres

genes, ya que el patógeno debería superar todos estos genes, lo cual resulta menos probable que lo haga que con cada uno individualmente. En nuestro trabajo se observó que si bien la combinación de dos genes amplió la resistencia frente a la población de razas, la frecuencia de razas virulentas en la mayoría de las combinaciones continuó siendo alta. Por ejemplo, 34% de los aislamientos serían virulentos frente a un genotipo que tenga el *Pc38 + Pc39*, o *Pc39 + Pc50*, aunque solo 10% para la combinación *Pc38 + Pc50*. Esto coincide con Campos *et al.* (2008), que afirman que ninguna de las combinaciones entre los genes disponibles en el mercado sería efectiva buscando una estrategia de piramidización.

La postulación de genes puede perseguir diferentes objetivos ya sea la búsqueda de nuevas fuentes de resistencia en genotipos silvestres, la confirmación de la introgresión de un gen luego de un cruzamiento, o como en este caso la explicación del comportamiento de genotipos comerciales frente a una población de royas. Los resultados indican la presencia de los genes *Pc38*, *Pc39* y *Pc51*, en los 20 genotipos de avena estudiados. Sin embargo, a diferencia de lo expresado por otros autores (Antonelli, 1995; Campos *et al.*, 2008) no se encontró el *Pc50*. Se postularon genotipos con dos genes, con genes individuales, y sin ninguno de estos genes. Además la respuesta de resistencia en algunos casos indicaría la presencia de algún gen adicional, que no es posible detectar con este set. Del total de genotipos evaluados, 13 presentaron el *Pc39*, 7 el *Pc51* y 3 el *Pc38*. Cristal, Calén, Rocío, Violeta y L3 no tienen ninguno de los genes de resistencia del set. L2, L5, Aurora, Maja y Graciela tendrían el *Pc39*. Los genotipos restantes tendrían dos genes Pc en su germoplasma, lo que aumenta las combinaciones de resistencia. Un primer grupo integrado por Canai, Carlota, Marita, L1, L4 y L7 tendrían los genes *Pc39* y *Pc51*; un segundo grupo formado por Máxima y Milagros *Pc38* y *Pc39*, mientras que Maná *Pc38* y *Pc51*. L6 tendría genes Pc que no se pudieron identificar con este set, ya que al inocularla frente a una población de razas presenta resistencia total (TI=0). Además esta línea tuvo un inconveniente adicional, que fue que no presentó una única respuesta, sino que al evaluarla dentro de los resultados había mayoría de plantas resistentes y 1 ó 2 susceptibles. Esto podría haber ocurrido por dos motivos, o la línea a pesar de los 15 años de conducción no presentó homocigosis para ese gen, o bien en algún momento del plan de mejoramiento se mezcló alguna semilla.

Los resultados en plántula de los genotipos comerciales, frente a la población presente en Los Hornos, estuvo directamente asociado a la presencia o ausencia de genes, la cantidad y la efectividad de éstos. En 2014, los cultivares como Suregrain, Millauquén, Pilar, Boyera, Pionera, Tambara, Rocío y Calén, fueron susceptibles a todos los aislamientos recolectados. En 2015 ocurrió lo mismo con Millauquén y Pilar, mientras que otros genotipos fueron susceptibles a un alto porcentaje de aislamientos (Violeta 97%, Cristal 93%, Rocío 90%, Calén 86% y Paye 86%). Esto sería porque los genotipos antiguos no presentan ningún gen de resistencia, probablemente porque en el momento en que se realizaba el mejoramiento no se tuvo en cuenta esta característica. Sin embargo, otros genotipos de reciente difusión, como Aikén que se inscribió en 2015 y Florencia INTA, resultaron muy susceptibles en ambos años, lo que revelaría la ausencia de genes *Pc* efectivos, indicando que la resistencia a roya de la hoja no fue objetivo de la mejora en estas variedades o que bajo las condiciones de campo evaluadas no se detectó esa susceptibilidad. Graciela, Aurora y Maja fueron susceptibles a una menor cantidad de aislamientos porque tendrían el gen *Pc39* que le brindó resistencia frente a algunos biotipos. Máxima, Milagros y Maná tuvieron mejor comportamiento en ambos años, y teniendo en cuenta los resultados de postulación se debería a la combinación del *Pc38 + Pc39* en el caso de los dos primeros y del *Pc38 + Pc51* de Maná, que le otorgan resistencia a una mayor cantidad de razas. Tucana, Polaris y U16 se comportaron igual que Máxima y Milagros, por lo que tendrían la combinación *Pc38 + Pc39*. Finalmente las nuevas variedades como Yapa, o líneas próximas a inscribirse resultaron en ambos años resistentes a la mayoría de razas. Esto se debería a la incorporación de genes de resistencia nuevos en su germoplasma, que resultan efectivos. Por lo tanto, la combinación de genes *Pc* amplió la resistencia en algunas variedades, mientras que la incorporación de nuevos genes en líneas próximas a inscribirse, fue una estrategia efectiva, al lograr que sean resistentes frente a la mayoría de las razas de la población.

Por medio de la respuesta de los genotipos en el primer y segundo año podemos observar que las frecuencias de virulencia sobre éstos cambiaron de año a año, lo que coincide con lo expresado por diversos autores que afirman que es un patógeno dinámico (Leonard, 2003; Campos *et al.*, 2008).

Las líneas L1, L2, L5, L6 y las variedades Canai y Máxima fueron los genotipos que demostraron una mayor resistencia por su menor ABCPE, consistente a través de los dos años de ensayo.

Las condiciones ambientales del año 2014 favorecieron el desarrollo de la roya de la hoja en las dos localidades. En Bordenave, en los meses de octubre y noviembre las temperaturas fueron mayores en 2014 (16,2 °C y 18,2 °C respectivamente) que en 2015 (15,6 °C y 17,5 °C). Lo mismo ocurrió con las precipitaciones siendo de 276 mm y 67,5 mm en 2014 vs. 127 mm y 51,5 mm en 2015. En Los Hornos, por las buenas condiciones para el desarrollo de la enfermedad en 2014, los niveles de severidad fueron altos desde estadios tempranos. Si se compara el periodo julio-noviembre que incluiría las etapas emergencia hasta madurez, las precipitaciones acumuladas fueron superiores en 2014 (589,6 mm) respecto a 2015 (463,6 mm). Además, si se toma el trimestre (septiembre-octubre-noviembre), momento en que se realizaron las evaluaciones de severidad, las precipitaciones (393,4 mm en 2014 vs 245,8 mm en 2015), la humedad relativa (70% en 2014 vs 63% en 2015) y las temperaturas (17 °C en 2014 vs 14,5 °C en 2015) fueron mayores en el primer año. Los efectos combinados de esos factores pueden influir en la susceptibilidad del hospedante, la multiplicación y diseminación del patógeno y la interacción hospedante/patógeno, influenciando en la severidad de las mismas (Agrios, 2005a). Por ello, los valores de severidad en EC39 fueron 23,6% vs 1,0%, en EC60 de 68,9% vs 8,7%, en EC82 de 90,2% vs 59,1% y el ABCPE fue de 1516 vs 540, en 2014 y 2015 respectivamente.

En EC60 la severidad entre los genotipos varió de 17 a 99,2% en 2014, y de 1,5 a 29,5% en 2015. Es decir que en un año con condiciones predisponentes como el 2014, los genotipos susceptibles alcanzaron valores próximos a 100% en floración. Las variedades Maná, Milagros y Maja alcanzaron valores altos de severidad en 2014, ubicándose entre los genotipos más enfermos. Sin embargo, la severidad obtenida por estos genotipos fue significativamente menor en 2015, debido a que la aparición de Pc se produjo más tarde que en 2014, y además son de ciclo más corto, por lo cual pueden haber escapado a la enfermedad. Una aparición tardía causa un desplazamiento de los mayores valores del ABCPE, hacia etapas más avanzadas del ciclo del cultivo, por lo tanto el nivel de enfermedad y los daños ocasionados por el patógeno serán menores. A esto pueden sumarse las diferencias en el ciclo fenológico propio de cada genotipo, así por ejemplo los ciclos cortos frente a una aparición tardía se beneficiarán en doble



sentido, primero por un menor tiempo de exposición a la enfermedad, y después porque estarán en un estadio de crecimiento más avanzado que un ciclo largo, y recibirán menos ciclos de esporulación.

Con respecto al ABCPE la interacción  $A \times Ge$  estuvo dada porque en la mayoría de los genotipos, el ABCPE fue mayor en 2014, a excepción de lo ocurrido con Máxima (603 y 465) y L6 (613 y 594) para 2014 y 2015 respectivamente, que no se diferenciaron entre años. La explicación sería que la resistencia de estos genotipos fue más efectiva en 2014 que en 2015, ya que posiblemente hubo más razas virulentas en 2015 y por lo tanto los genes Pc que portan fueron inefectivos sobre ellas. Esto también se evidenció en L6 en EC82, ya que tuvo mayor porcentaje en 2015 (71,2% en 2015 vs 57% en 2014). Además las líneas L1, L2, L4 y L5, y el cultivar Canai tuvieron menores diferencias entre años, por comportarse mejor en 2014, el año de mayor severidad de la enfermedad. Aurora y Rocío fueron genotipos con valores altos en ambos años. Maja y Marita estuvieron en el grupo de mayor ABCPE en 2014, pero en el de menores valores en 2015.

En el trabajo realizado por Campos *et al.* (2008) se evaluó la severidad de roya de la hoja a campo de diversos genotipos en Reconquista (Santa Fe), donde Canai, Aurora, Polaris y Pilar fueron los genotipos destacados. Estos autores afirmaron que los resultados son coincidentes con los de plántula y que la respuesta de los principales cultivares estaría dada por genes de resistencia vertical operativos desde plántula y en menor medida por otro tipo de genes (menores) de resistencia horizontal que intervendrían en la disminución de los porcentajes de severidad. Por su parte, Di Nucci *et al.* (2013) en Paraná, destacaron a Carlota y Marita por presentar niveles bajos de roya de la hoja por períodos más prolongados. En 2015 los mismos autores expresaron que Calén, Maná, Carlota y Marita se destacaron por el lento desarrollo de la enfermedad, con valores que no superaron el 20% a los 100 días de la emergencia (Di Nucci *et al.*, 2015). Durante 2015 en la misma localidad, los cultivares Elizabet INTA, Julieta INTA, Carlota y Graciela se destacaron por presentar niveles bajos de roya de la hoja por períodos prolongados, como consecuencia del lento progreso de la enfermedad (Di Nucci *et al.*, 2016). En ensayos realizados en la Chacra Experimental Barrow, Storm & Wehrhahne (2013) observaron que Maja, Carlota, Milagros, Maná, Canai y Marita presentaron el mejor comportamiento a Pc en un año de aparición tardía y moderada incidencia de la enfermedad. Durante el ensayo realizado en 2014, los

materiales más susceptibles fueron muy dañados, ocasionando en uno de ellos el quebrado de la planta y prácticamente sin producción de grano, destacándose por mejor comportamiento dos líneas experimentales, Maná y Milagros (Wehrhahne, 2015).

La resistencia de los genotipos destacados en Los Hornos durante 2014 y 2015 no podría asociarse exclusivamente a la presencia de genes Pc en su germoplasma, porque en la población recolectada en Los Hornos, las frecuencias de aislamientos virulentos encontrados sobre los genes Pc ha sido alta. Igualmente la presencia de algún gen Pc (principalmente *Pc38* que tiene menor frecuencia de aislamientos virulentos) disminuiría la frecuencia de las razas que pueden enfermar a los genotipos que los tienen. Por lo tanto, la resistencia podría explicarse por la suma de los genes Pc postulados, de genes verticales que se expresen en planta adulta y de genes de resistencia horizontal.

# Capítulo 3

## Rendimiento de pasto y grano

---

### 3.1- Introducción

La avena debido a sus múltiples usos ha sido técnica y económicamente una alternativa viable en los sistemas de producción de nuestro país. A nivel nacional el cultivo abarca una superficie aproximada de 1,3 millones de has, la gran mayoría para uso forrajero (Ministerio de Agroindustria, 2017). En la campaña 2016/2017 del total de la superficie sembrada se cosecharon 321.054 ha, con un rendimiento promedio de 2.450 kg.ha<sup>-1</sup>, y una producción total de 784.981 mil t (Ministerio de agroindustria, 2017), aunque lo destinado a la industria es superior a las 50 mil t (Wehrhahne, 2018, *comunicación personal*). Es el verdeo de invierno más utilizado en nuestro país, y su inclusión en la rotación de cultivos mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, reduce las enfermedades y plagas de otros cultivos y provee biomasa para mantener la cobertura del suelo durante mucho tiempo, con gran reducción de malezas y erosión del suelo.

Cuando la finalidad es utilizarla como verdeo de invierno o doble propósito se siembra a finales del verano o principios del otoño según las regiones de producción, dependiendo de las precipitaciones y las necesidades de forraje planificadas. La fecha de siembra es un factor clave, por estar relacionado con la rapidez de aprovechamiento y el volumen de producción (Tomaso, 2009). Generalmente se realizan pastoreos durante el otoño e invierno, luego se retiran los animales y opcionalmente se la deja para la obtención de grano. En este sentido, Forjan & Manso (2015) expresan que las condiciones hídricas presentadas durante el ciclo de los cultivos de cosecha fina, definen el destino que se le da al cultivo de avena. En algunas campañas, al plantearse necesidades de forraje durante la primavera, gran parte es pastoreada o se emplea para la confección de reservas.

Cuando el propósito es la obtención de grano se siembra desde junio a mediados de julio, y es cosechada en diciembre o enero. En Argentina la superficie sembrada exclusivamente para grano es baja, debido a que compite con cultivos de mayor trascendencia como el trigo y la cebada. Además el cultivo presenta algunas desventajas si los comparamos con éstos, entre ellas un mercado pequeño en volumen y muy

selectivo respecto a la calidad, mayor vuelco cuando se fertiliza con altas dosis de nitrógeno, dificultad de la cosecha por desgrane, y enfermedades foliares, principalmente las royas.

En nuestro país, el mejoramiento de avena se orienta a la búsqueda de cultivares de alta producción de forraje, con buen rebrote y sanidad, y también a materiales con alta producción de grano con calidad para la industria alimenticia (Wehrhahne, 2015a). Los mejoradores coinciden en la importancia de obtener variedades de alto rendimiento y estables. Un genotipo se considera estable cuando su rendimiento está en el nivel de productividad determinado por un ambiente concreto. Sin embargo, el amplio rango de ambientes en los que se cultiva, puede provocar respuestas diferenciales de los genotipos en los ambientes, como resultado de la interacción genotipo por ambiente ( $Ge \times A$ ). Por ello, el estudio de la interacción  $Ge \times A$  es esencial para la eficiencia del proceso selectivo, debido a que la mayoría de los caracteres de importancia agronómica son de herencia cuantitativa, y esto ha llevado al desarrollo de procedimientos llamados análisis de estabilidad. Una medida de estabilidad es la ecovalencia ( $W_i$ ) propuesta por Wricke (1962), definida como la contribución de un genotipo concreto a la suma de cuadrados total de la interacción  $Ge \times A$  en un análisis de la varianza. Éste es el método más simple fundamentado en el concepto dinámico de estabilidad.

En los últimos años, la Chacra Experimental de Barrow y la EEA de Bordenave han inscripto nuevas variedades y continúan trabajando en la búsqueda de nuevos materiales. Asimismo, se han desarrollado diferentes ensayos comparativos de rendimiento (ECR) en los que se evaluó la producción de forraje de genotipos de avena (Di Nucci & Formento, 2008, 2009; Martínez, 2010; Barbera *et al.*, 2010; Di Nucci *et al.*, 2012, 2013, 2015, 2016) y rendimiento en grano (Wehrhahne, 2005, 2015b; Wehrhahne & Storm, 2013, 2014). Los resultados de un trabajo que resume 6 años de ensayo en la EEA Paraná del INTA, expresan variabilidad entre los genotipos respecto a la biomasa por corte y acumulada; y diferencias entre años con un máximo promedio de 8.300 kg.ha<sup>-1</sup> en 2001, y un mínimo de 2.400 kg.ha<sup>-1</sup> en 2005 (Di Nucci & Formento, 2008).

El criadero de la UNLP, ha trabajado en mejoramiento durante más de 60 años, obteniéndose tres cultivares de avena Tambara F.A., Boyera F.A. y Pionera F.A. Actualmente, con la intención de inscribir nuevas líneas promisorias, que se encuentran en filiales avanzadas del plan de mejoramiento, se realizan ensayos comparativos de rendimiento, para evaluar si las mismas superan a las mejores variedades comerciales en

algunas características de importancia agronómica como sanidad, rendimiento de forraje o grano, etc., con la finalidad de ser inscriptas en el Instituto Nacional de Semillas (INASE).

El rendimiento de grano en los cereales suele definirse mediante algunos modelos simples, uno de ellos contempla la generación de biomasa y su partición, y otro los componentes numéricos, siendo estos modelos complementarios y no excluyentes. Respecto al primero de los modelos, puede ser expresado a través de la cantidad de biomasa acumulada durante el ciclo del cultivo y qué proporción de ésta es particionada hacia los órganos reproductivos, es decir el índice de cosecha (IC) (Van der Werf, 1996). De esta manera, la producción de biomasa para un amplio rango de cultivos, está determinada por la cantidad de radiación incidente durante el periodo de crecimiento ( $R_{inc}$ ), la eficiencia en la intercepción de radiación ( $E_i$ ), la cual es función del índice de área foliar (IAF) y de la arquitectura del canopy (determinada por el coeficiente  $k$  de extinción) (Monteith, 1977; Evans *et al.*, 1978); y la eficiencia de uso de la radiación (EUR), que expresa la capacidad del cultivo de transformar la energía lumínica interceptada o absorbida en biomasa (Evans *et al.*, 1978; Gifford *et al.*, 1984). En el otro modelo propuesto, el rendimiento es definido por sus dos principales componentes numéricos, el número de granos. $m^{-2}$  y el peso promedio de los mismos (Slafer & Rawson, 1994). De los dos componentes, el primero es el que mejor explica las variaciones en el rendimiento final (Peltonen-Sainio *et al.*, 2007; Fischer, 2008).

El rendimiento de los cultivos doble propósito, tanto en producción de forraje como de grano, está limitado por las condiciones ambientales, fundamentalmente precipitación pluvial, temperatura y disponibilidad de nutrientes en el suelo. Trabajos realizados en cultivos doble propósito mencionan reducciones en la producción de grano para cosecha (Redmon *et al.*, 1996; Royo *et al.*, 1993, 1997; Francia *et al.*, 2006; Harrison *et al.*, 2012), siendo de diferente magnitud según el cultivo, las condiciones climáticas, la fecha de siembra, el momento de pastoreo, entre otros. En nuestro país, los rendimientos de un ensayo realizado en el SO de Buenos Aires oscilaron entre 1.000 a 2.800  $kg\cdot ha^{-1}$  para avena doble propósito y entre 2800 a 6050  $kg\cdot ha^{-1}$  para grano (Wehrhahne, 2005). En este mismo sentido, Martínez (2010) halló que el rendimiento en grano resultó significativamente mayor cuando fue sembrado para grano solamente, respecto del grano obtenido en el ensayo doble propósito (EDP) luego de dos cortes de forraje. Por ello, la evaluación del rendimiento de grano luego de cortes de biomasa, en Líneas avanzadas del Criadero de la UNLP y variedades comerciales de avena puede

brindar información valiosa para la implementación en sistemas mixtos de nuestro país (ganadería y agricultura).

### **Hipótesis**

- Existen algunas líneas en filiales avanzadas del Criadero de la UNLP que presentan valores superiores a los de las mejores variedades comerciales, respecto a:

*Biomasa en los diferentes cortes y acumulada*

*Rendimiento de grano*

- Existen diferencias en el rendimiento y sus componentes cuando se utiliza el cultivo como doble propósito o exclusivamente para grano
- Existen algunas líneas en filiales avanzadas del Criadero de la UNLP que presentan estabilidad en el rendimiento

### **Objetivo general**

Contribuir a través del mejoramiento genético a la obtención de genotipos de avena con buena productividad de pasto y grano

### **Objetivos específicos**

- Evaluar la productividad de pasto y grano de las líneas del Criadero de la UNLP y compararlas con las variedades comerciales
- Comparar los componentes y el rendimiento en grano de avena en ensayos para doble propósito y exclusivamente para grano
- Identificar líneas del Criadero de la UNLP con estabilidad para rendimiento de grano

### **3.2- Materiales y métodos**

Los ensayos se llevaron a cabo en los años 2014 y 2015, en la Estación Experimental Julio Hirschhörn, perteneciente a FCAyF, Los Hornos (34° 52' LS; 57° 58'). Se realizaron dos ensayos (ensayo doble propósito y ensayo de grano) con un diseño experimental de bloques al azar con 20 genotipos de avena, 13 de ellos cultivares comerciales y 7 líneas del Criadero UNLP (Tabla 2.3), con tres repeticiones. En el EDP

se evaluaron los materiales para producción de pasto y grano, mientras que en el ensayo comparativo de grano (EG) se evaluaron los componentes y el rendimiento en grano.

La preparación del suelo consistió en una labranza convencional mediante disco, rastra y rolo. Las siembras se realizaron el 24 de marzo de 2014 y 9 de marzo de 2015 para el EDP y el 2 de julio de 2014 y 16 de junio de 2015 para el EG. Se sembraron a mano, respetando la linealidad de los surcos previamente marcados con un surcador, con una densidad de 250 pl.m<sup>-2</sup>. Cada parcela estuvo constituida por 7 hileras de 5,50 m de largo por 1,40 m de ancho (7,70 m<sup>2</sup>). Se fertilizó a la siembra con 50 kg.ha<sup>-1</sup> de nitrógeno (N) bajo la formulación de urea granulada (46-0-0) al voleo y con 50 kg.ha<sup>-1</sup> de fósforo (fosfato tricálcico granulada (0-46-0)) aplicado en la línea de siembra. El EDP se volvió a fertilizar luego del último corte de materia seca con 50 kg.ha<sup>-1</sup> de N. El control de malezas se realizó en post-emergencia temprana, y se aplicaron 100 cm<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> Dicamba 48% + 6 g.ha<sup>-1</sup> de metsulfuron metil 60%, Misil

### Evaluaciones

En el EDP se evaluó la producción de biomasa seca, realizándose tres cortes en macollaje (EC23 Zadoks *et al.*, 1974), cuando la zona lígular de la última hoja desplegada, alcanzó los 10-12 cm. El corte se realizó con tijera sobre uno de los surcos centrales de 5,5 m de largo y luego se pesó para determinar la biomasa verde. Posteriormente una fracción de aproximadamente 100 g se colocó en estufa a 60 °C durante 72 hs, para calcular el contenido en materia seca. En 2014 los cortes se realizaron el 8/05, el 22/6 y el 11/08. En 2015 la emergencia se produjo recién sobre finales de abril, por falta de humedad y por ello se demoró el primer corte. En este caso los cortes fueron el 9/6, el segundo el 17/7 y el tercero el 21/8. El resto de la parcela después de cada evaluación se cortó con máquina, simulando el pastoreo animal.

El rendimiento en grano se evaluó en ambos ensayos, por cosecha de un surco central de 5,5 m de largo, y también se lo determinó a través de la medición de sus componentes. Para ello, se realizó el recuento sobre el surco cosechado del número de panojas.m<sup>-2</sup> (NP), el número de granos.panoja<sup>-1</sup> (NGP) (por conteo sobre 20 panojas) y el peso de mil granos (PMG) (por conteo y peso de mil granos).

Durante el ciclo de cultivo se registró diariamente la temperatura media, precipitaciones, humedad relativa y radiación incidente, en la estación meteorológica situada a 200 m de los ensayos (Tabla 2.9).

### Análisis estadístico

El análisis de datos de los cortes de biomasa del EDP se realizó mediante un ANVA conjunto para los dos años en bloques al azar, con el programa GenStat 12th Edition. El rendimiento de grano de ambos ensayos (EG y EDP) se analizó mediante un ANVA utilizando un diseño de parcela dividida en que se consideró como parcela principal el año, como subparcela los ensayos (EG y EDP) y como sub-subparcela los genotipos. Se utilizó un modelo mixto en que los años, ensayos y genotipos fueron considerados como efectos fijos y las repeticiones como aleatorias. Las medias se compararon mediante el test de LSD (P=0,05).

### Análisis de estabilidad

Se realizó el análisis de estabilidad para el rendimiento y sus componentes en el EG. Se utilizó el método de ecovalencia propuesto por Wricke (1962). La ecovalencia de Wricke ( $W_i$ ) se calculó con la siguiente fórmula:  $W_i = S_j (Y_{ij} - Y_i - Y_j + Y_{..})^2$  donde,  $W$  = valor de la ecovalencia del genotipo  $i$ ;  $S_j$  = sumatoria de los  $j$  valores de ambiente en cada genotipo;  $Y_{ij}$  = media del genotipo  $i$  en el ambiente  $j$ ;  $Y_i$  = media del genotipo  $i$  en los  $j$  ambientes;  $Y_j$  = media del ambiente  $j$ ;  $Y_{..}$  = media general de los ambientes. Si la ecovalencia es pequeña la estabilidad es alta.





**Figura 3.1:** **a)** corte de biomasa EDP; **b)** parcela luego del corte de un surco; **c)** evaluación del número de panojas; **d)** muestreo de las 20 panojas.

### 3.3- Resultados

Las precipitaciones del periodo marzo diciembre fueron de 975,6 mm para 2014 y de 650,9 mm para 2015, y a excepción de agosto todos los meses fueron mayores en el primer año. Si se compara el periodo marzo a agosto momento en que se siembra el EDP hasta que se dan los tres cortes las precipitaciones fueron de 541 mm vs. 366 mm. Además si se compara el periodo junio-diciembre, momento en que el EG se siembra hasta que se cosecha, en 2014 llovieron 145,8 mm más que en 2015 (689 mm vs. 543,2 mm). Con respecto a la temperatura media y la radiación, en el periodo marzo a junio los registros en 2015 fueron superiores. En los meses de julio y agosto las temperaturas fueron similares (10,5 °C y 12,7 °C en 2014 respectivamente vs 10,3 °C y 13 °C en 2015). El resto de las condiciones fueron mencionadas en el capítulo 2.

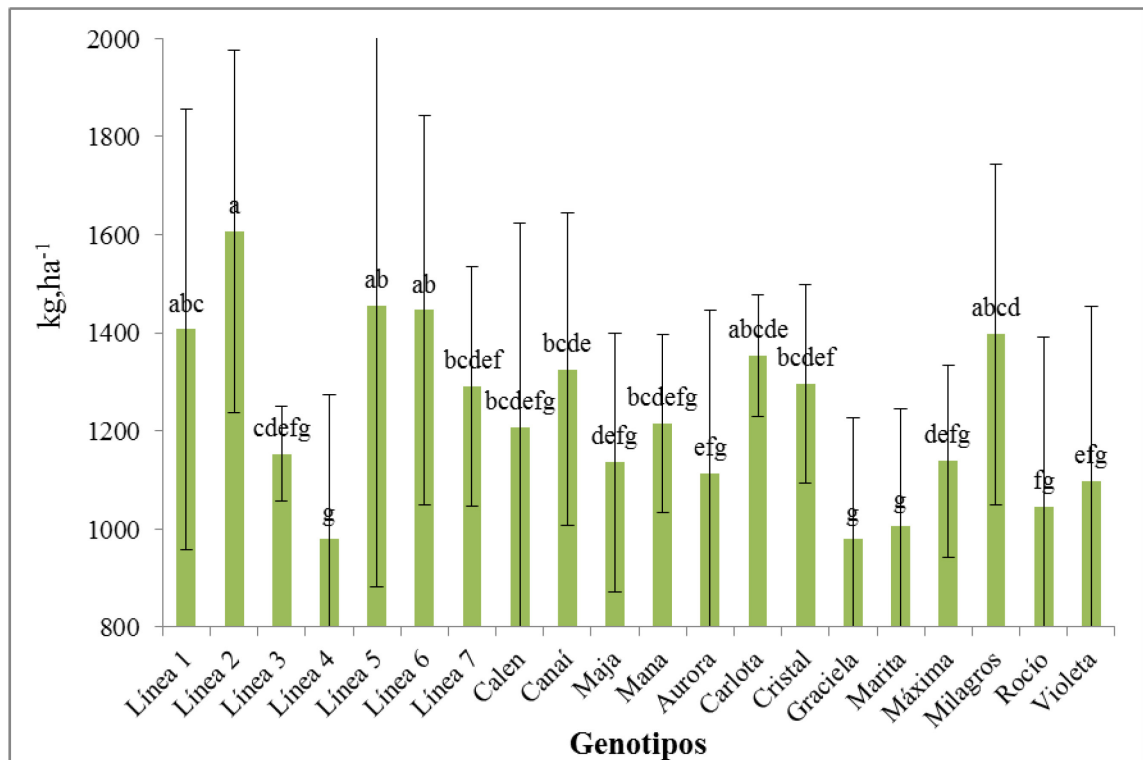
### 3.3.1- Producción de biomasa

Se encontraron diferencias significativas en la biomasa seca para el tratamiento *Años* en los tres cortes (1<sup>er</sup>, 2<sup>do</sup> y 3<sup>er</sup> corte) y para el tratamiento *Genotipos*, en el 1<sup>er</sup> y 3<sup>er</sup> corte y en la biomasa total acumulada (Tabla 3.1).

**Tabla 3.1:** Cuadrados medios y valor de *p* (ANVA) de biomasa seca de primer corte (1<sup>er</sup> corte), segundo corte (2<sup>do</sup> corte), tercer corte (3<sup>er</sup> corte) y acumulada, en un ensayo comparativo de rendimiento de 20 genotipos de avena

Fuente de variación	GL	Biomasa seca			
		1 <sup>er</sup> corte	2 <sup>do</sup> corte	3 <sup>er</sup> corte	Acumulada
<i>Años (A)</i>	1	1.647.134	4.793.333	7.436.418	556.211
		(<0,001)	(<0,001)	(<0,001)	0,235
<i>Genotipos (Ge)</i>	19	187.347	115.621	379.213	741.936
		(<0,001)	0,499	(0,002)	(0,024)
<i>A x Ge</i>	19	73.917	112.741	193.882	588.576
		0,16	0,527	0,205	0,102
<b>Error</b>	78	53.452	118.712	148.534	387.586
<b>Total</b>	119				

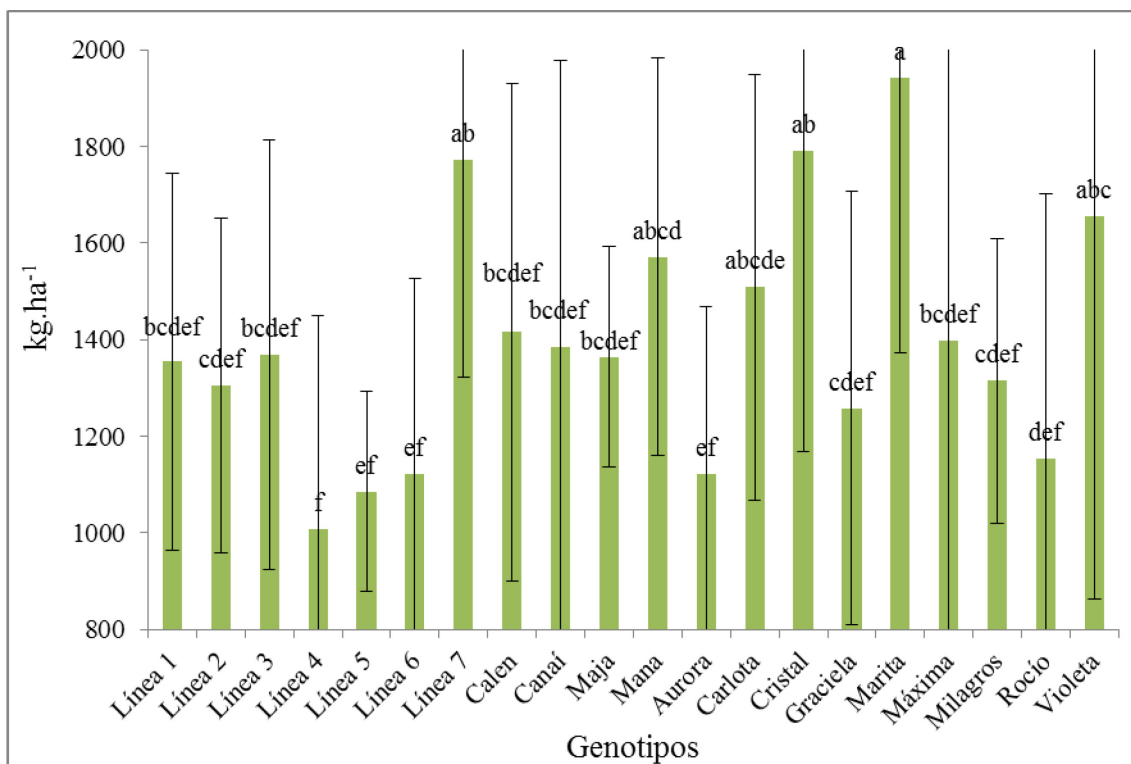
En el primer corte se hallaron diferencias significativas para los tratamientos *Años* y *Genotipos* (Tabla 3.1). En 2014 la biomasa seca fue 21% superior a la de 2015 (1.350 kg.ha<sup>-1</sup> vs 1.115 kg.ha<sup>-1</sup>). Entre los genotipos, los valores oscilaron entre 1.606 y 981 kg.ha<sup>-1</sup>, con un promedio de 1.233 kg.ha<sup>-1</sup>, destacándose las líneas L2 (1.606 kg.ha<sup>-1</sup>), L5 (1.456 kg.ha<sup>-1</sup>), L6 (1.446 kg.ha<sup>-1</sup>) y L1 (1.407 kg.ha<sup>-1</sup>), las variedades Milagros (1.397 kg.ha<sup>-1</sup>) y Carlota (1.354 kg.ha<sup>-1</sup>). Los genotipos con menor biomasa fueron Marita (1.007 kg.ha<sup>-1</sup>), Graciela (981 kg.ha<sup>-1</sup>) y L4 (981 kg.ha<sup>-1</sup>) (Figura 3.2).



**Figura 3.2:** Valores de biomasa seca 1<sup>er</sup> corte (en kg, ha<sup>-1</sup>) en dos años de ensayo con 20 genotipos de avena. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas, LSD  $p < 0,05$ . Las barras en cada media representan el desvío estándar.

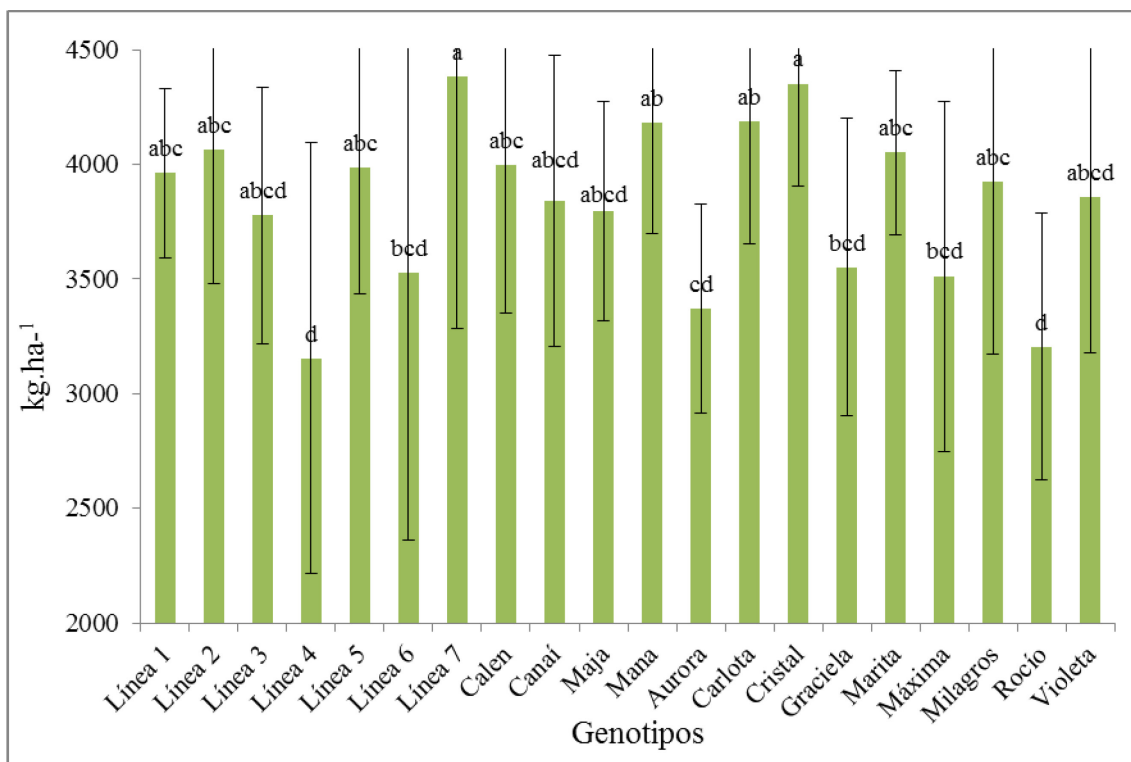
En el segundo corte las diferencias entre *Años* fueron significativas (Tabla 3.1), debido a que la biomasa fue un 39,7% superior en 2014 (1.407 kg, ha<sup>-1</sup>) que en 2015 (1.007 kg, ha<sup>-1</sup>), en tanto que no existieron diferencias significativas entre los genotipos.

En el tercer corte se encontraron diferencias significativas para los tratamientos *Años* y *Genotipos* (Tabla 3.1). A diferencia de lo ocurrido en los dos primeros cortes, la biomasa fue un 44% mayor en 2015 (1.643 kg, ha<sup>-1</sup> en 2015 vs 1.145 kg, ha<sup>-1</sup> en 2014). Las medias de los genotipos oscilaron entre 1.943 y 1.008 kg, ha<sup>-1</sup>, donde se destacaron Marita (1.943 kg, ha<sup>-1</sup>), Cristal (1.790 kg, ha<sup>-1</sup>), L7 (1.773 kg, ha<sup>-1</sup>), Violeta (1.654 kg, ha<sup>-1</sup>), Maná (1.571 kg, ha<sup>-1</sup>) y Carlota (1.508 kg, ha<sup>-1</sup>). Por otra parte, las de menor biomasa fueron Rocío (1.153 kg, ha<sup>-1</sup>), Aurora (1.122 kg, ha<sup>-1</sup>), L6 (1.122 kg, ha<sup>-1</sup>), L5 (1.085 kg, ha<sup>-1</sup>) y L4 (1.008 kg, ha<sup>-1</sup>) (Figura 3.3).



**Figura 3.3:** Valores de biomasa seca 3<sup>er</sup> corte (en kg.ha<sup>-1</sup>) en dos años de ensayo con 20 genotipos de avena. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas, LSD  $p < 0,05$ . Las barras en cada media representan el desvío estándar.

Finalmente se encontraron diferencias significativas entre los *Genotipos* para la biomasa acumulada (Tabla 3.1), con medias que oscilaron entre 4.385 y 3.153 kg.ha<sup>-1</sup>. Los genotipos que más biomasa produjeron en los tres cortes fueron L7 (4.385 kg.ha<sup>-1</sup>), Cristal (4.352 kg.ha<sup>-1</sup>), Carlota (4.189 kg.ha<sup>-1</sup>), Maná (4.181 kg.ha<sup>-1</sup>), L2 (4.066 kg.ha<sup>-1</sup>), Marita (4.051 kg.ha<sup>-1</sup>), Calén (3.997 kg.ha<sup>-1</sup>), L5 (3.988 kg.ha<sup>-1</sup>), L1 (3.961 kg.ha<sup>-1</sup>) y Milagros (3.924 kg.ha<sup>-1</sup>) (Figura 3.4).



**Figura 3.4:** Valores de biomasa seca acumulada (en kg.ha<sup>-1</sup>) en dos años de ensayo con 20 genotipos de avena. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas, LSD  $p < 0,05$ . Las barras en cada media representan el desvío estándar.

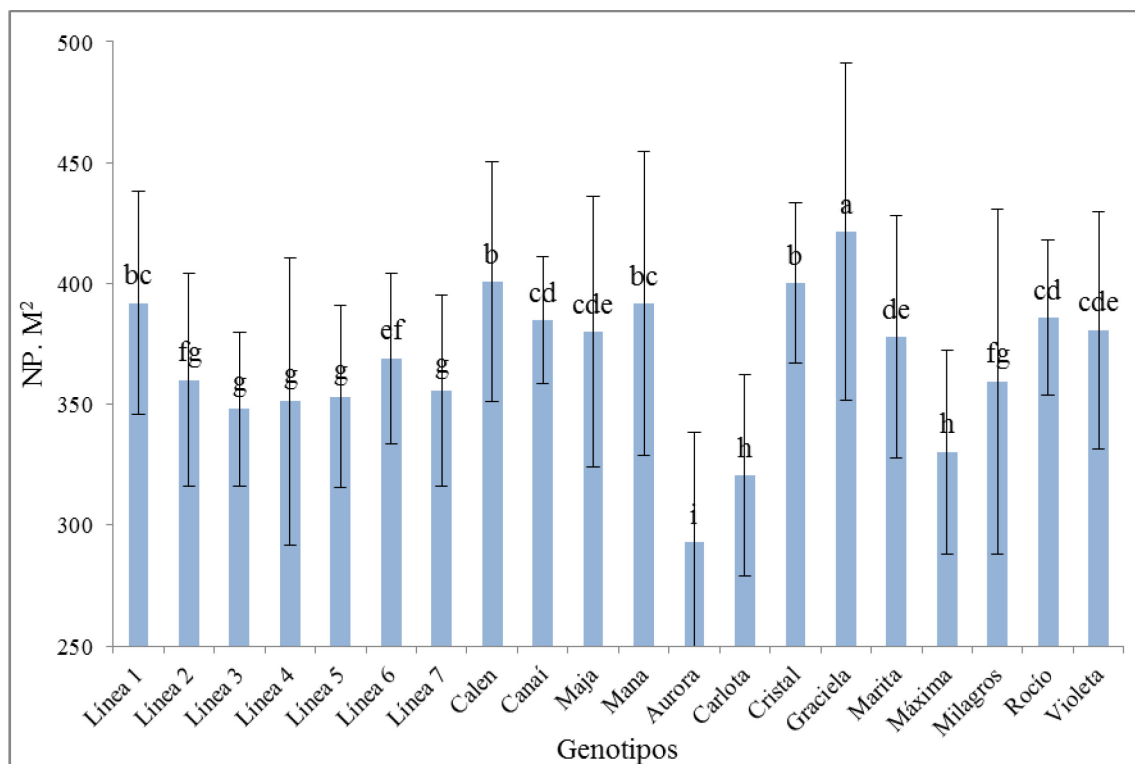
### 3.3.2-Rendimiento de grano

Se encontraron diferencias significativas en los tratamientos *Ensayos* y *Genotipos* para todas las variables estudiadas (NP, NGP, PMG y rendimiento). Además, la interacción  $A \times E$  fue significativa para PMG, en tanto que  $A \times Ge$  lo fue para NGP, PMG y rendimiento, y  $E \times Ge$  para el NGP y el PMG. La interacción triple presentó significancia para PMG (Tabla 3.2).

**Tabla 3.2:** Cuadrados medios y valor de  $p$  (ANVA) de número de panojas (NP), número de granos por panoja (NGP), peso de mil granos (PMG) y Rendimiento, en un ensayo comparativo de rendimiento con 20 genotipos de avena

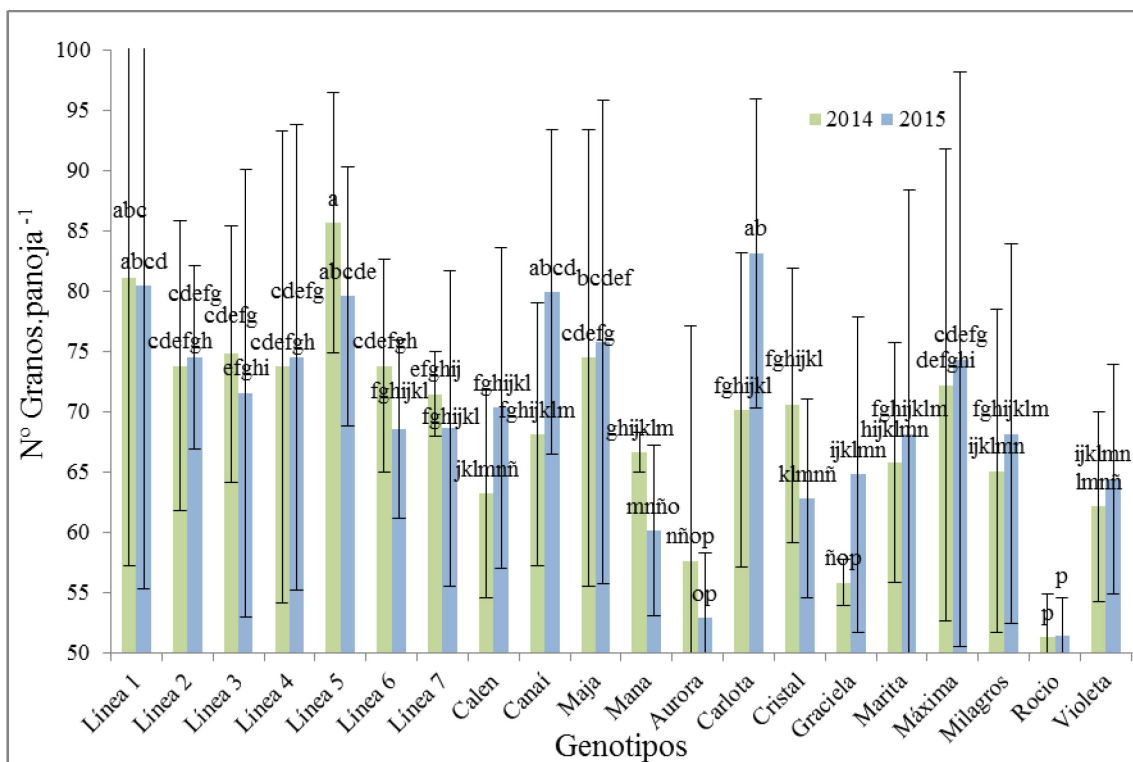
Fuente de variación	GL	NP	NGP	PMG	Rendimiento
<i>Años (A)</i>	1	6.202 (0,113)	41,1 (0,238)	574,2 (0,221)	19.377.820 <b>(0,004)</b>
<b>Error</b>	2	843	14,8	12,3	80.659
<i>Ensayos (E)</i>	1	71.811 <b>(&lt;0,001)</b>	26313 <b>(&lt;0,001)</b>	168,2 <b>(&lt;0,001)</b>	11.567.288 <b>(0,020)</b>
<i>A x E</i>	1	592 (0,261)	34,56 (0,438)	231,4 <b>(&lt;0,001)</b>	2.827.469 (0,139)
<b>Error</b>	4	346	46,7	1,3	83.0447
<i>Genotipos (Ge)</i>	19	11.107 <b>(&lt;0,001)</b>	755,1 <b>(&lt;0,001)</b>	60,5 <b>(&lt;0,001)</b>	8.679.723 <b>(&lt;0,001)</b>
<i>A x Ge</i>	19	2.192 (0,379)	104,4 <b>(0,018)</b>	19,9 <b>(&lt;0,001)</b>	145.1034 <b>(&lt;0,001)</b>
<i>E x Ge</i>	19	2.546 (0,224)	279,7 <b>(&lt;0,001)</b>	11,1 <b>(&lt;0,001)</b>	269.600 (0,658)
<i>A x E x Ge</i>	19	1.084 (0,944)	52,83 (0,515)	6,8 (0,009)	168.350 (0,949)
<b>Error</b>	152	2.033	55,21	3,3	321.274
<b>Total</b>	239				

En el NP se encontraron diferencias significativas para los tratamientos *Ensayos* y *Genotipos* (Tabla 3.2). En el primer caso las diferencias fueron por un NP mayor en el EDP (385) que en el EG (350). Los valores entre los genotipos oscilaron entre 421 a 293 panojas, en donde la variedad Graciela se diferenció del resto de los genotipos (421), seguida por Cristal (400), Calén (400), L1 (392) y Maná (392). El resto de las líneas del Criadero de la UNLP alcanzaron de 350 a 370 panojas.m<sup>-2</sup> (Figura 3.5), con excepción de Aurora, Carlota y Máxima que presentaron menos de 330 panojas.m<sup>-2</sup>.



**Figura 3.5:** Numero de panojas.m<sup>-2</sup> (NP) en dos años de ensayo con 20 genotipos de avena. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas, LSD  $p < 0,05$ . Las barras en cada media representan el desvío estándar.

La interacción  $A \times Ge$  para el NGP fue significativa (Tabla 3.2), ya que en la mayoría de los genotipos el NGP no difirió entre años, a excepción de lo ocurrido en las variedades Canai (68 en 2014 y 80 en 2015) y Carlota (70 en 2014 y 83 en 2015), que tuvieron mayor NGP en 2015 (Figura 3.6). En 2014 los genotipos con mayor NGP fueron L5 (86) y L1 (81), mientras que en 2015 Carlota (83), L1 (80), L5 (80) y Canai (80). En otro sentido, Aurora (58 en 2014 y 53 en 2015) y Rocío (51 en ambos años) fueron las dos variedades con menor NGP.

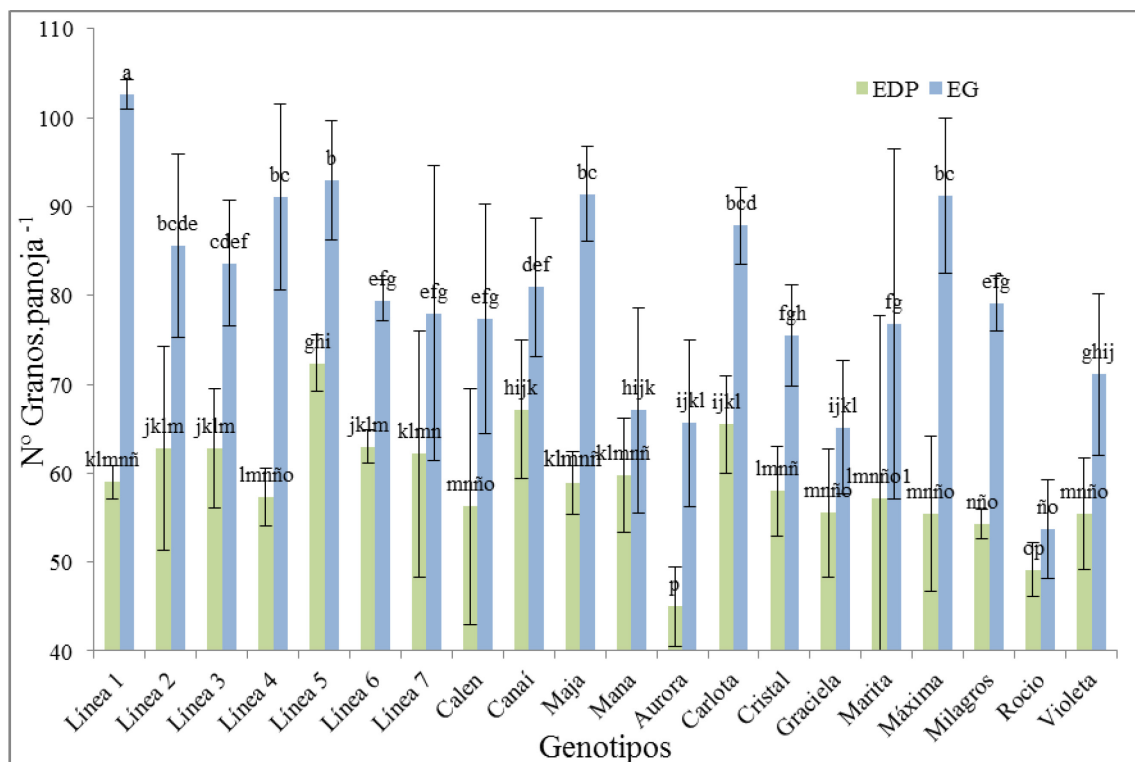


**Figura 3.6:** Numero de granos por panoja (NGP) para la interacción *Años x Genotipos*, en dos años de ensayo con 20 genotipos de avena. Letras diferentes muestran diferencias significativas a través de los tratamientos (*Años* y *Genotipos*), LSD  $p < 0,05$ . Las barras en cada media representan el desvío estándar.

Por su parte, la interacción  $E \times Ge$  (Tabla 3.2), se debió a que en la mayoría de los genotipos el NGP fue significativamente mayor en el EG, a excepción de lo ocurrido en las variedades Maná (67 EG y 60 EDP) y Rocío (54 EG y 49 EDP). La disminuciones en el NGP del EDP estuvieron entre un 16% en Graciela (65 en EG vs 55 en EDP) a 42% en L1 (102 en EG vs a 59 en EDP) (Figura 3.7).

Para el EDP los valores fluctuaron entre 72 y 45 granos.panoja<sup>-1</sup>, con un promedio de 59. Se destacaron L5 (72), Canai (67) y Carlota (65), mientras que Rocío (49) y Aurora (45) fueron las de menor NGP. En el EG los valores variaron de 102 a 54 granos.panoja<sup>-1</sup>, y el promedio en este caso fue de 80. Los genotipos con mayor NGP fueron L1 (102), L5 (93), Maja (92), L4 (91), Máxima (91), Carlota (88) y L2 (86). Por el contrario los de menor NGP fueron Maná (67), Aurora (65), Graciela (65) y Rocío (54).



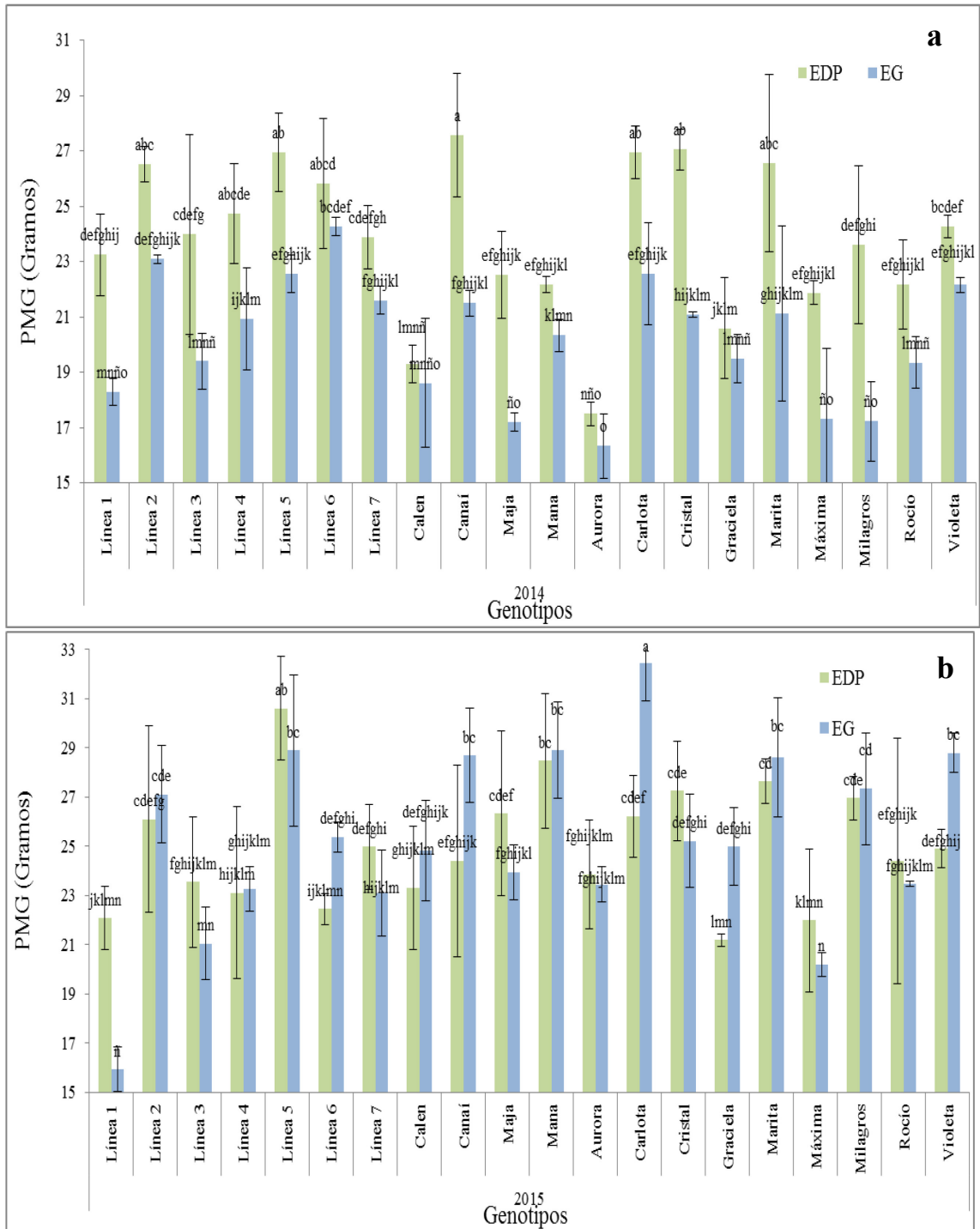


**Figura 3.7:** Numero de granos por panoja (NGP) para la interacción *Ensayos x Genotipos*, en dos años de ensayo con 20 genotipos de avena. . Letras diferentes muestran diferencias significativas a través de los tratamientos (*Ensayos* y *Genotipos*), LSD  $p < 0,05$ . Las barras en cada media representan el desvío estándar.

La interacción triple  $A \times E \times Ge$  para el PMG fue significativa (Tabla 3.2), ya que el PMG fue mayor en 2015 en ambos ensayos, aunque la diferencia fue solo significativa en el EG (20,2 g en 2014 vs 25,3 g en 2015). En 2014 el PMG del EDP (23,86 g) fue mayor que en el EG (20,22 g) (datos no mostrados), y en este sentido en 14 de los 20 genotipos se observaron diferencias significativas que fueron desde un 28,4% en Cristal (27,04 g EDP vs 21,06 g EG) a un 10,5% en L7 (23,88 g EDP vs 21,6 g EG). En los genotipos restantes si bien la tendencia fue la misma, no hubo significancia en las diferencias entre los ensayos (Figura 3.8a). Sin embargo, esta tendencia no se repitió en 2015, ya que solo en L1 el PMG del EDP fue mayor al del EG (22,1 g y 16 g). En 15 de los 20 genotipos no hubo diferencias significativas entre los ensayos EDP y EG, y finalmente en 4 genotipos el PMG del EG fue mayor al del EDP. En este grupo estuvieron Carlota 23,7 % (32,4 g EG vs 26,2 g EDP), Graciela 17,9% (25 g vs 21,18 g), Canai 17,6% (28,7 g vs 24,4 g), y Violeta 15,6% (28,8 g vs 24,9 g) (Figura 3.8b).

Dentro de los genotipos destacados en EDP, en el primer año de ensayo estuvieron Canai (27,6 g), L5, Carlota y Cristal (27 g), L2 y Marita (26,5 g). Para el año 2015 a excepción de Canai se destacaron los mismos genotipos y se sumaron Maná,

Milagros y Maja. La línea L5 se diferenció del resto (30,6 g), seguida por Maná (28,5 g), Marita (27,6 g), Cristal (27,3 g), Milagros (26,9 g) Maja (26,3 g), Carlota (26,1 g) y L2 (26,1 g). En el EG los genotipos que se destacaron por su mayor PMG en 2014 fueron L6 (24,3 g), L2 (23,1 g), L5 (22,6 g), Carlota (22,6 g) y Violeta (22,2 g). En 2015 Carlota fue quien se diferenció del resto (32,4 g), seguida por L5 (28,9 g), Maná (28,9 g), Violeta (28,8 g), Canai (28,7 g), Marita (28,6 g) Milagros (27,3 g) y L2 (27,1 g).

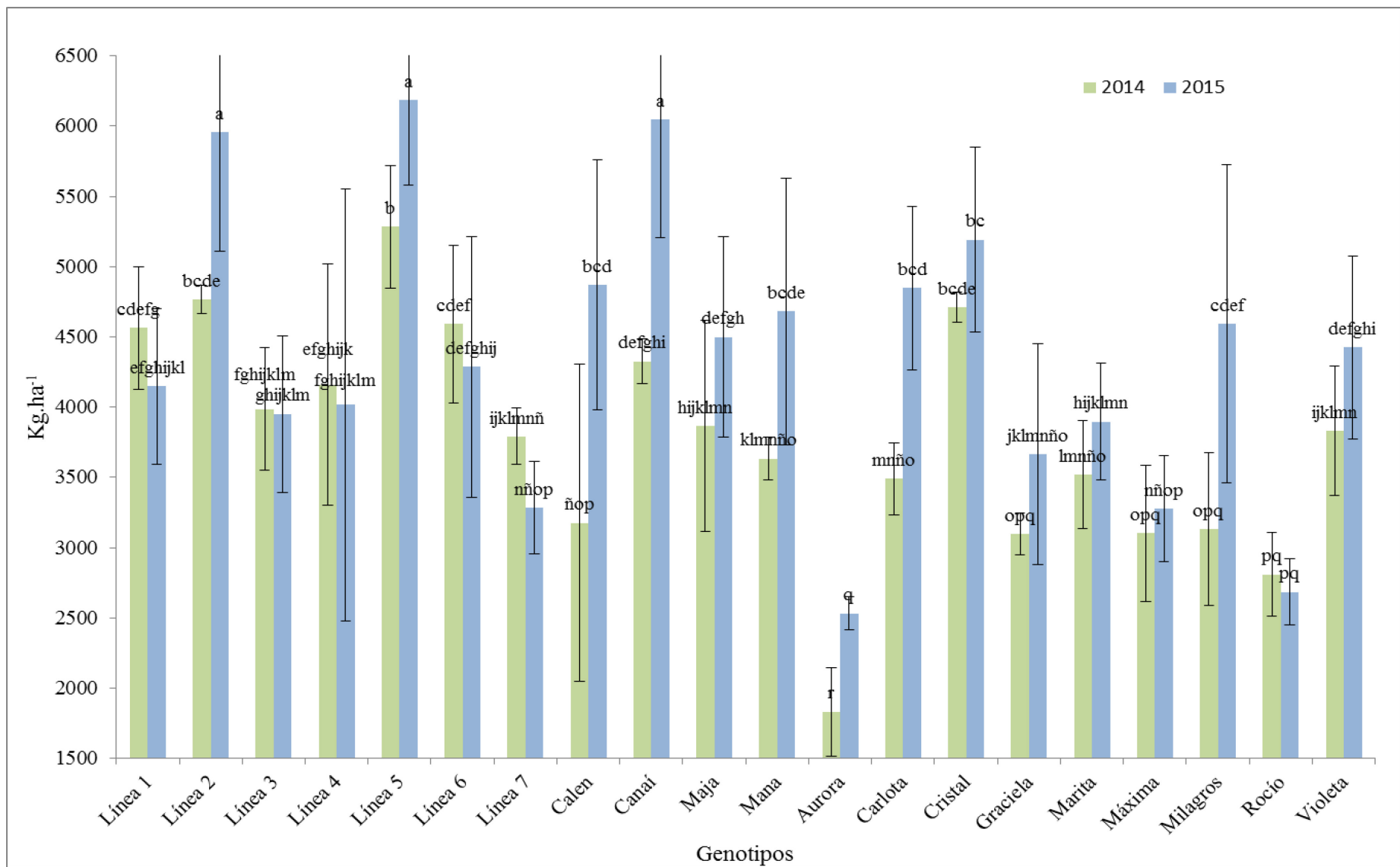


**Figura 3.8:** Peso de mil granos (PMG) para la interacción *Años x Ensayos x Genotipos*. **a)** Año

2014, **b**) Año 2015; en dos años de ensayo con 20 genotipos de avena. Letras diferentes muestran diferencias significativas a través de los tratamientos (*Ensayos* y *Genotipos*), LSD  $p < 0,05$ . Las barras en cada media representan el desvío estándar.

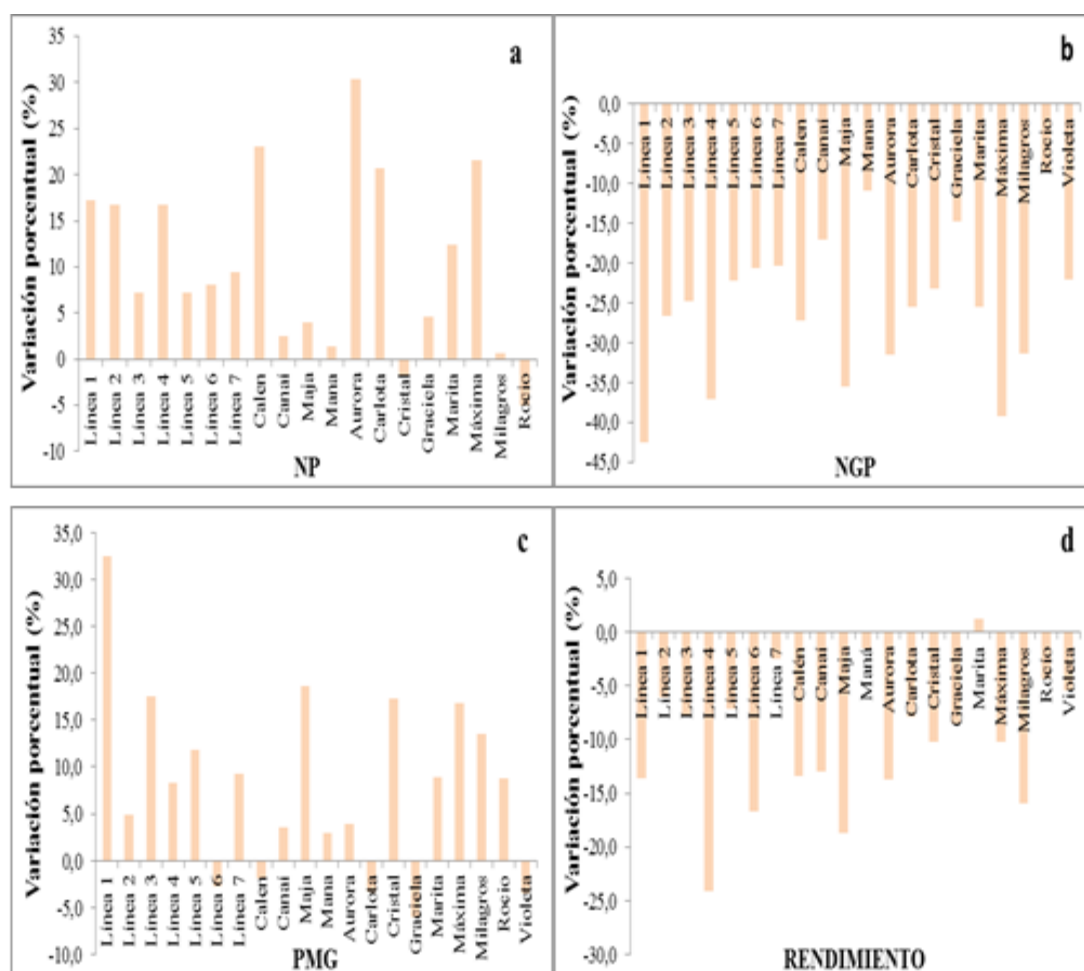
En el rendimiento de grano, se encontraron diferencias significativas para el tratamiento *Ensayos* (5%), *Años* (1%) y para la interacción  $A \times Ge$  (Tabla 3.2). En el primer caso, el rendimiento del EDP fue un 10,2% menor al del EG (3.848 kg.ha<sup>-1</sup> EDP vs 4.287 kg.ha<sup>-1</sup> EG). Por su parte, la interacción  $A \times Ge$  se debió a que el rendimiento en 2015 fue superior al del 2014 en 8 de los 20 genotipos evaluados. La mayor diferencia la tuvo Calén con un 53,3% (4.870 kg.ha<sup>-1</sup> en 2015 vs 3.176 kg.ha<sup>-1</sup> en 2014), seguido por Milagros con 46,6% (4.593 vs 3.132 kg.ha<sup>-1</sup>), Canai con 39,7% (6.046 vs 4.326 kg.ha<sup>-1</sup>), Carlota con 38,7% (4.846 vs 3.492 kg.ha<sup>-1</sup>), Aurora con 38,2% (2.532 vs 1.832 kg.ha<sup>-1</sup>), Maná con 28,8% (4.681 vs 3.633 kg.ha<sup>-1</sup>), L2 con 25% (5.955 vs 4.764 kg.ha<sup>-1</sup>) y L5 con 17% (6.185 vs 5.284 kg.ha<sup>-1</sup>) (Figura 3.9).

En el primer año de ensayo los rendimientos oscilaron entre 5.284 y 1.832 kg.ha<sup>-1</sup>, los genotipos distinguidos fueron L5 (5.284 kg.ha<sup>-1</sup>), L2 (4.764 kg.ha<sup>-1</sup>), Cristal (4.712 kg.ha<sup>-1</sup>), L6 (4.590 kg.ha<sup>-1</sup>), L1 (4.564 kg.ha<sup>-1</sup>) y Canai (4.326 kg.ha<sup>-1</sup>), mientras que los de menor rendimiento fueron Calén (3.176 g.ha<sup>-1</sup>), Milagros (3.132 kg.ha<sup>-1</sup>), Máxima (3.102 kg.ha<sup>-1</sup>), Graciela (3.098 kg.ha<sup>-1</sup>), Rocío (2.809 kg.ha<sup>-1</sup>) y Aurora (1.832 kg.ha<sup>-1</sup>). En el segundo año los rendimientos fueron mayores, y variaron de 6.185 a 2.532 kg.ha<sup>-1</sup>. L5 (6.185 kg.ha<sup>-1</sup>), Canai (6046 kg.ha<sup>-1</sup>) y L2 (5.955 kg.ha<sup>-1</sup>), se diferenciaron significativamente del resto, seguidos por Cristal (5191 kg.ha<sup>-1</sup>), Calén (4.870 kg.ha<sup>-1</sup>), Carlota (4.846 kg.ha<sup>-1</sup>) y Maná (4.681 kg.ha<sup>-1</sup>).



**Figura 3.9:** Rendimiento en ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) para la interacción *Años x Genotipos* en dos años de ensayo con 20 genotipos de avena. Letras diferentes muestran diferencias significativas a través de los tratamientos (*Años y Genotipos*), LSD  $p < 0,05$ . Las barras en cada media representan el desvío estándar.

Como pudo observarse en la Tabla 3.2 el tratamiento *Ensayos* fue significativo para todas las variables estudiadas. A modo de resumen en la figura 3.10 se presentan las variaciones (en porcentaje) del rendimiento y sus componentes del EDP comparado con el EG. El NP fue mayor en el EDP y en la figura 3.10a puede observarse que esto ocurre en la mayoría de los genotipos. En el NGP la variación en todos los genotipos en el EDP con respecto al EG presentó valores negativos, con caídas desde 8,6% (Rocío) a 42,5% (L1) (Figura 3.10b). En el PMG el comportamiento no fue tan claro como en las dos variables anteriores, presentándose caídas en el EDP de 6,1% (Graciela) hasta aumentos de 32,4% (L1) (Figura 3.10c). Por último, para rendimiento, el comportamiento fue similar al NGP, observándose una disminución de hasta el 24% (L4) en el EDP. A excepción de Marita, el resto de los genotipos presentaron la misma tendencia (Figura 3.10d).



**Figura 3.10:** variación porcentual del EDP respecto al EG para **a)** NP; **b)** NGP; **c)** PMG y **d)** Rendimiento

### 3.3- Correlación entre variables

Se realizaron correlaciones entre las variables severidad en EC3.9, EC60 y EC 82, ABCPE, el rendimiento y sus componentes, a partir de los datos evaluados en el EG (Tabla 3.3).

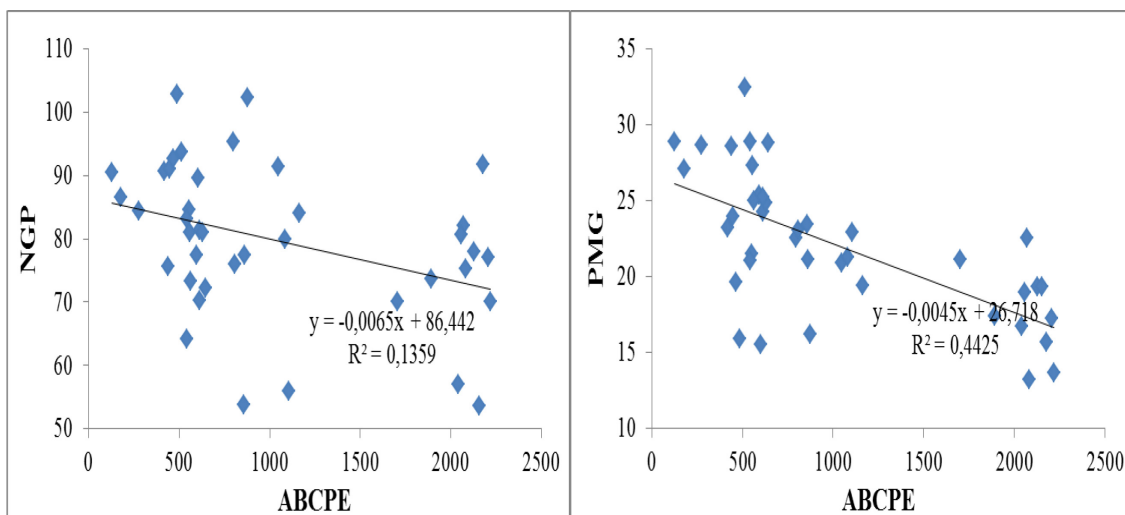
**Tabla 3.3:** Coeficiente de correlación de Pearson entre rendimiento y sanidad, en un ensayo comparativo de rendimiento con 20 genotipos de avena.

	Severidad EC39	Severidad EC60	Severidad EC82	ABCPE	NP	NGP	PMG	Rend
<b>Severidad EC39</b>								
<b>Severidad EC60</b>	0,95**							
<b>Severidad EC82</b>	0,71**	0,76**						
<b>ABCPE</b>	0,93**	0,96**	0,83**					
<b>NP</b>	-0,01	-0,10	-0,03	-0,06				
<b>NGP</b>	-0,19	-0,23	-0,42**	-0,36*	-0,26			
<b>PMG</b>	-0,66**	-0,70**	-0,59**	-0,66**	0,17	-0,03		
<b>Rend</b>	-0,47**	-0,55**	-0,72**	-0,63**	0,28	0,50**	0,60**	

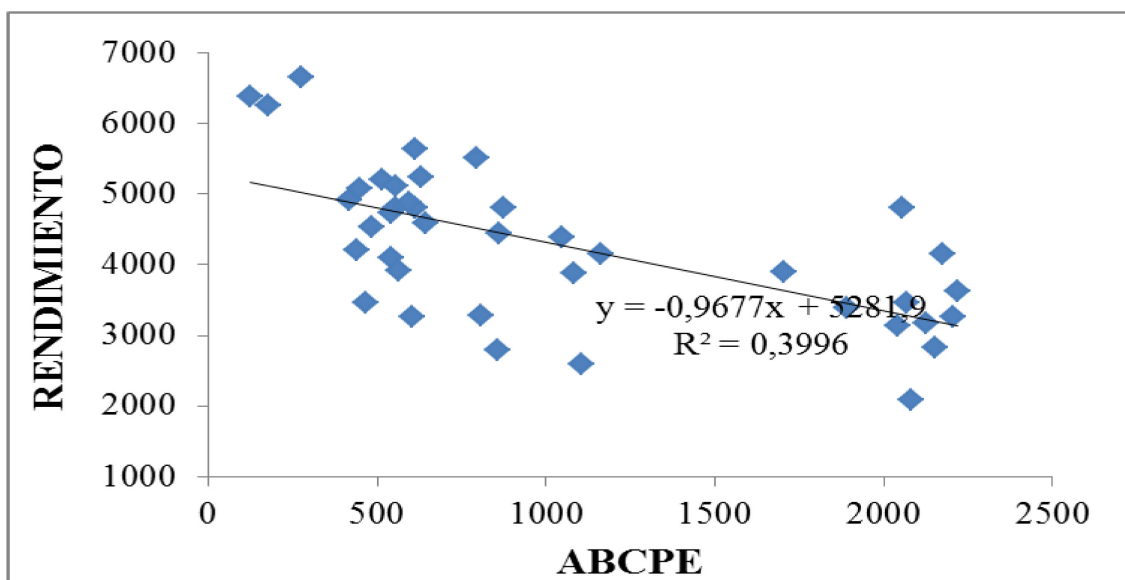
\*,  $P < 0.05$ ; \*\*,  $P < 0.01$ .

Se encontraron coeficientes de correlación negativos y significativos entre la severidad en los tres estadios y el ABCPE con el rendimiento. De la misma manera, para PMG se encontraron correlaciones negativas y significativas con la severidad y el ABCPE (-0,66). Por su parte, el componente NGP se correlacionó significativamente con la severidad en EC.82 (-0,42), y con el ABCPE (-0,36). El rendimiento se asoció positivamente con el NGP (0,50) y con el PMG (0,60). Por último, el NP no se correlacionó con ninguna de las variables estudiadas.

Las regresiones entre ABCPE y el NGP ( $P < 0,05$   $R^2 = 0,14$ ), y entre ABCPE y PMG ( $P < 0,001$   $R^2 = 0,44$ ) indican la estrecha relación entre estas variables. Se puede observar que incrementos en los valores de ABCPE provocan disminuciones en el NGP y en el PMG, siendo el PMG el componente más afectado, indicado por una mayor pendiente y mejor ajuste (mayor  $R^2$ ) (Figuras 3.11 a y b). En la figura 3.12 se puede observar que incrementos en el ABCPE provocan reducciones del rendimiento.



**Figura 3.11a:** Regresión entre NGP y ABCPE. **Figura 3.11b:** Regresión entre PMG y Rendimiento.



**Figura 3.12:** Regresión entre rendimiento y ABCPE.

### **3.4- Análisis de estabilidad**

De acuerdo con el modelo de ecovalencia de Wricke (Wi), se realizó un ranking de estabilidad entre los 20 genotipos evaluados para NP, NGP, PMG y Rendimiento (Tabla 3.4).

En lo que refiere al NP, Canai (1), Rocío (3) y Graciela (6) fueron genotipos con medias altas y estables. Las líneas del Criadero de la UNLP presentaron valores medios de NP y baja estabilidad, a excepción de L4 (2) y L6 (5) que fueron estables. L1 (2), Maja (3), L4 (4), L3 (5) y L2 (6) se destacaron por su alto NGP y por su estabilidad. Además, L5 (13) presentó alto NGP y mediana estabilidad, mientras que Rocío (1) alta estabilidad pero bajo NGP.

Las líneas L2 (4) y L5 (6) se destacaron por su PMG y por ser estables. Mientras que Cristal (1), Graciela (2) y Rocío (3) fueron estables pero con medias bajas.

Por último, del grupo de genotipos destacados por su rendimiento de grano, Cristal (2) y L5 (3) fueron estables, L2 (11) medianamente estable y Canai (20) poco estable. El genotipo más estable fue Graciela (1), aunque su rendimiento fue bajo.



**Tabla 3.4:** Valores medios, ecovalencia de Wricke ( $W_i$ ) y ranking, para NP, NGP, PMG y Rendimiento, en dos años de ensayo comparativo de rendimiento con 20 genotipos de avena.

	NP			NGP			PMG			Rendimiento		
	Media	$W_i$	Ranking	Media	$W_i$	Ranking	Media	$W_i$	Ranking	Media	$W_i$	Ranking
<b>Línea 1</b>	361	190	13	103	0,1	2	17,10	27,4	20	4674,5	552301	16
<b>Línea 2</b>	332	481	15	86	1,6	6	25,09	0,5	4	5528	219122	11
<b>Línea 3</b>	336	2093	19	84	0,4	5	20,21	5,8	14	4126,5	346945	13
<b>Línea 4</b>	324	5	2	91	0,3	4	22,08	3,7	13	4650	32258	7
<b>Línea 5</b>	341	1636	18	93	11,9	13	25,76	0,7	6	5946,5	4325	3
<b>Línea 6</b>	355	21	5	79	7,7	10	24,82	7,8	17	4844	256328	12
<b>Línea 7</b>	340	315	14	78	8,4	12	22,34	6,3	16	3581	941192	19
<b>Calén</b>	359	151	12	77	26,7	16	21,72	0,7	5	4313	563922	17
<b>Canai</b>	380	4	1	81	24,0	15	25,09	2,3	10	5546,5	1035361	20
<b>Maja</b>	373	116	11	91	0,2	3	20,57	1,4	8	4614,5	9941	5
<b>Maná</b>	389	714	16	67	17,5	14	24,61	6,2	15	4187,5	52165	9
<b>Aurora</b>	254	105	10	66	190,5	20	19,89	2,1	9	2342,5	39481	8
<b>Carlota</b>	290	741	17	88	68,2	18	27,49	11,6	18	4339	449352	15
<b>Cristal</b>	404	61	9	75	55,1	17	23,13	0,4	2	5219,5	841	2
<b>Graciela</b>	412	38	6	65	131,5	19	22,23	0,1	1	3533	8	1
<b>Marita</b>	356	2401	20	77	3,0	8	24,86	3,0	12	3686,5	32005	6
<b>Máxima</b>	298	19	4	91	4,4	9	18,76	2,4	11	3361	169362	10
<b>Milagros</b>	359	38	7	79	8,0	11	22,28	12,9	19	4197	566048	18
<b>Rocío</b>	396	9	3	54	0,0	1	21,4	0,4	3	2808,5	348613	14
<b>Violeta</b>	352	38	8	71	2,4	7	25,47	1,2	7	4241,5	5941	4
<i>Promedio</i>	<i>350</i>			<i>80</i>			<i>22,75</i>			<i>4287</i>		

### 3.4-Discusión

En el EDP llevado adelante en Los Hornos, se observaron diferencias significativas en el primer corte para los tratamientos *Años* y *Genotipos*. En 2014 la producción de biomasa seca fue 21% superior a la de 2015 ( $1.350 \text{ kg.ha}^{-1}$  vs  $1.115 \text{ kg.ha}^{-1}$ ), lo que podría asociarse a una mayor disponibilidad de agua, ya que durante el periodo marzo-abril-mayo (emergencia hasta primer corte), las precipitaciones fueron superiores en el primer año (386 mm en 2014 vs 107 mm en 2015). Además debido a un período de sequía en 2015, la emergencia del cultivo se retrasó hacia finales de abril, momento en que las temperaturas van disminuyendo, afectando la tasa de crecimiento del cultivo, aunque las fases se alargan. La fecha de siembra y emergencia son importantes, por estar relacionadas con la rapidez de aprovechamiento y el volumen de producción (Tomaso, 2009). En este sentido, Arroquy (2000) evaluando trigo doble propósito, encontró que por cada día de atraso en la siembra a partir de marzo la producción de biomasa se redujo en promedio  $19,15 \text{ kg.ha}^{-1}$  por día.

Los genotipos destacados fueron L2 ( $1.606 \text{ kg.ha}^{-1}$ ), L5 ( $1.456 \text{ kg.ha}^{-1}$ ), L6 ( $1.446 \text{ kg.ha}^{-1}$ ) y L1 ( $1.407 \text{ kg.ha}^{-1}$ ), y las variedades Milagros ( $1.397 \text{ kg.ha}^{-1}$ ) y Carlota ( $1.354 \text{ kg.ha}^{-1}$ ), en tanto que los de menor producción fueron Marita, Graciela y L4. Estos resultados coinciden parcialmente con los del ensayo realizado en 2014 en la EEA Paraná, en el que se evaluaron 9 genotipos de avena, donde Milagros y Maná con  $2.400 \text{ kg.ha}^{-1}$  y Carlota  $2.100 \text{ kg.ha}^{-1}$  fueron algunos de los genotipos que se destacaron en el primer corte, mientras que Marita al igual que en el presente ensayo fue de las de menor biomasa con  $1.600 \text{ kg.ha}^{-1}$  (Di Nucci *et al.*, 2015). En los resultados del mismo ensayo en 2015, Carlota continuó entre los genotipos que se diferenciaron por su biomasa en el primer corte, pero en este caso junto a Cristal, Marita, Graciela y Violeta (Di Nucci *et al.*, 2016).

En el segundo corte la biomasa seca fue un 39,7% superior en 2014 ( $1.407 \text{ kg.ha}^{-1}$ ) respecto a 2015 ( $1.007 \text{ kg.ha}^{-1}$ ). Al igual que en el primer corte las precipitaciones para el periodo mayo-junio, (periodo entre el 1<sup>er</sup> y 2<sup>do</sup> corte), fueron superiores en 2014 (144,6 mm) que en 2015 (69,1 mm).

En el tercer corte a diferencia de lo ocurrido en los dos primeros cortes, la producción de biomasa fue un 44% mayor en 2015 ( $1.643 \text{ kg.ha}^{-1}$ ) que en 2014 ( $1.145 \text{ kg.ha}^{-1}$ ). En este caso las precipitaciones para el periodo julio-agosto fueron levemente superiores en el 2015 (218 mm) que en 2014 (196 mm), aunque el resto de las

condiciones climáticas fueron similares. Las temperaturas medias fueron iguales (11,6 °C) y la radiación acumulada fue de 4.434 y 4.068 Watt.m<sup>-2</sup>, para 2014 y 2015 respectivamente, e igual número de heladas en el período (4). Como entre los factores climáticos no se encontraría la justificación de este resultado, puede atribuirse a una mayor producción de biomasa en los dos primeros cortes de 2014, lo que implica que la extracción de nutrientes, principalmente N fue mayor, y por lo tanto la cantidad disponible para el tercer corte fue menor. Cabe mencionar que la re-fertilización con N se produjo luego del tercer corte. Diversos estudios señalan que la producción de biomasa de los cereales de invierno se relaciona con la disponibilidad de agua y N en el suelo (Maddonni *et al.*, 1995; Quiroga & Ormeño, 1997). En cultivos doble propósito, al remover parte de la biomasa aérea se retira una importante cantidad de N (Dunphy *et al.*, 1984).

En este corte, los genotipos de mayor producción fueron Marita (1943 kg.ha<sup>-1</sup>), Cristal (1.790 kg.ha<sup>-1</sup>), L7 (1.773 kg.ha<sup>-1</sup>), Violeta (1.654 kg.ha<sup>-1</sup>), Maná (1.571 kg.ha<sup>-1</sup>) y Carlota (1.508 kg.ha<sup>-1</sup>). Estos resultados concuerdan con los de los trabajos realizados en Paraná. En 2014, a pesar de que la biomasa del tercer corte fue muy baja (700 kg.ha<sup>-1</sup> de promedio), Marita y Carlota con 800 kg.ha<sup>-1</sup> fueron los destacados (Di Nucci *et al.*, 2015). En un ensayo de 2016, los mismos autores mencionaron un rendimiento promedio de 1.800 kg.ha<sup>-1</sup> en el tercer corte, siendo Elizabet INTA (2.100 kg.ha<sup>-1</sup>) y Marita (1.900 kg.ha<sup>-1</sup>) las de mayor producción de biomasa (Di Nucci *et al.*, 2016).

Por último, en la biomasa acumulada se encontraron diferencias significativas entre los *Genotipos*, los valores oscilaron entre 4.385 y 3.153 kg.ha<sup>-1</sup>. Los de mayor biomasa acumulada en los tres cortes fueron L7 (4.385 kg.ha<sup>-1</sup>), Cristal (4.352 kg.ha<sup>-1</sup>), Carlota (4.189 kg.ha<sup>-1</sup>), Maná (4.181 kg.ha<sup>-1</sup>), L2 (4.066 kg.ha<sup>-1</sup>), Marita (4.051 kg.ha<sup>-1</sup>), Calen (3.997 kg.ha<sup>-1</sup>), L5 (3.988 kg.ha<sup>-1</sup>), L1 (3.961 kg.ha<sup>-1</sup>) y Milagros (3.924 kg.ha<sup>-1</sup>). En el ECR realizado por Di Nucci *et al.* (2015) el promedio fue de 4.200 kg.ha<sup>-1</sup>, y los cultivares destacados fueron Maná (4.900 kg.ha<sup>-1</sup>), Carlota (4.600 kg.ha<sup>-1</sup>) y Milagros (4.400 kg.ha<sup>-1</sup>). Además, en el trabajo de Di Nucci *et al.* (2016), el promedio fue 5.100 kg.ha<sup>-1</sup>, y en este caso los genotipos destacados fueron Elizabet INTA con 5.700 kg.ha<sup>-1</sup>, Carlota con 5.400 kg.ha<sup>-1</sup> y Marita con 5.300 kg.ha<sup>-1</sup>.

La distribución de la curva de producción de forraje de los genotipos durante el ciclo productivo, y el aporte de éstos en cada corte, son información valiosa para el diseño de la cadena forrajera y la ubicación estratégica de cada genotipo dentro de ésta. En el caso de las líneas L2, L5, L6 y L1 se caracterizaron por su rápido crecimiento

inicial, que les brinda un buen primer aprovechamiento, siendo un carácter de interés en los planteos productivos. Asimismo, L7 fue la que mayor biomasa acumuló luego de los tres cortes y al igual que L2, L5 y L1 formaron parte del grupo de genotipos que se diferenciaron por su mayor producción de biomasa.

Si bien la siembra para grano únicamente es poco común, por competir con cultivos de mayor importancia como el trigo y la cebada, el uso como doble propósito podría brindar varios beneficios en el actual contexto productivo. Por un lado el aporte de forraje de calidad para la alimentación de ganado en una estación desfavorable, y luego la obtención de grano. Además podría resultar interesante en situaciones con exceso de humedad ya que el cultivo utilizaría el agua disponible en los meses de otoño e invierno. Otro de los aportes podría ser los beneficios que brinda respecto al manejo de malezas. Por ello, cultivares doble propósito con buen rendimiento de grano podrían ser mejor aceptados.

En las condiciones de nuestro ensayo, se encontraron diferencias significativas para el NP en los tratamientos *Ensayos* y *Genotipos*. En el primer caso las diferencias fueron por un mayor NP en el EDP (385) comparado con el EG (350). Una explicación podría ser que al realizarse los cortes de biomasa del EDP, se posterga la encañazón del cultivo (momento en que finaliza la producción de macollos), aunque los meristemas de los macollos cortados no son removidos, ya que al encontrarse debajo del suelo están protegidos. Entonces la cantidad de macollos.m<sup>-2</sup> iniciales que habría en el EDP sería mayor al número de macollos del EG. Por consiguiente si tenemos en cuenta que a partir de cada macollo pueden formarse macollos secundarios, y de éstos terciarios, no sería extraño pensar que si se parte de un mayor número de macollos, también haya un mayor número al final de la etapa, siempre considerando la igualdad en el resto de condiciones (nutrientes, agua, etc.). Como consecuencia de que la mayoría de las especies son cultivadas sin limitantes de recursos solo por un tiempo, no solo la aparición de macollos se detiene, sino que se produce la muerte de algunos de ellos que no llegaron a diferenciarse, en forma inversa al orden de aparición. La mayor sincronía en el EDP permitiría además una mayor supervivencia. Sin embargo, estos resultados difieren a los del trabajo realizado por Royo *et al.* (1993), en donde el NP fue el factor más importante de reducción de rendimiento en el manejo doble propósito de avena. Los valores en nuestro ensayo fueron de 421 a 293 panojas.m<sup>-2</sup>, en donde la variedad Graciela se diferenció del resto de los genotipos (421), seguida por Cristal y Calén

(400), Maná y L1 (392). El resto de las líneas del Criadero oscilaron entre 350 a 370 panojas.m<sup>-2</sup>, con excepción de Aurora, Carlota y Máxima que presentaron menos de 330 panojas.m<sup>-2</sup>.

La interacción *A x Ge* para el NGP fue porque en la mayoría de los genotipos éste componente no difirió entre años, a excepción de lo ocurrido en las variedades Canai (68 en 2014 y 80 en 2015) y Carlota (70 en 2014 y 83 en 2015), que tuvieron mayor NGP en 2015. No resulta clara la explicación de esto, pero podría haber sido porque durante el cuaje de los granos en este año los genotipos tuvieron mejores condiciones climáticas o menor nivel de enfermedad, que permitieron una mayor tasa de crecimiento durante esta etapa. Las líneas L5 y L1 fueron las más destacadas en ambos años. En 2014 los genotipos con mayor NGP fueron L5 (86) y L1 (81), mientras que en 2015 Carlota (83), L1 (80), L5 (80) y Canai (80). La interacción *E x Ge* se debió a que en la mayoría de los genotipos el NGP fue significativamente mayor en el EG, a excepción de lo ocurrido en las variedades Maná (67 EG y 60 EDP) y Rocío (54 EG y 49 EDP), que si bien el NGP fue mayor, no se diferenció entre ensayos. La caídas en el NGP del EDP oscilaron entre un 16% en Graciela (65 en EG vs 55 en EDP) a 42% en L1 (102 a 59). Por lo tanto el NGP fue el componente de rendimiento más afectado, producto de los cortes de biomasa. Esto es atribuido a que los macollos principales son los de mayor rendimiento individual y al ser decapitados la producción de grano deberá basarse exclusivamente en los macollos secundarios, que tendrán un periodo relativamente corto para alcanzar un desarrollo adecuado para la formación de espigas (Morris & Gardner, 1958). En otro estudio en la región mediterránea, el NGP fue el componente del rendimiento más afectado en cultivos doble propósito como cebada y triticale, después de los cortes de biomasa (Royo *et al.*, 1997).

El peso de los granos, está controlado principalmente por el balance entre la cantidad de destinos y la cantidad de fotoasimilados para llenarlos. La dimensión de la relación fuente/destino de un cultivo está gobernada por el ambiente, las características propias del cultivar y por el manejo del cultivo. El PMG fue mayor en 2015 en ambos ensayos como resultado de un menor nivel de enfermedad, aunque la diferencia fue solo significativa en el EG (20,2 g en 2014 vs 25,3 g en 2015). El impacto de las enfermedades foliares sobre la disminución en el PMG ha sido documentada en avena (May *et al.* 2014; Dietz *et al.*, 2016). Se encontraron asociaciones negativas entre el

PMG con la severidad en los tres estadios y el ABCPE, indicando que incrementos en los niveles de enfermedad provocaron disminuciones del PMG.

En 2014 el PMG del EDP (23,86 g) fue mayor que en el EG (20,22 g) y en este sentido en 14 de los 20 genotipos se observaron diferencias significativas que oscilaron desde un 10,5% en L7 a 28,4% en Cristal. En los genotipos restantes si bien la tendencia fue la misma, no hubo significancia en las diferencias entre los ensayos. En 2014 el EG sufrió vuelco, afectando la tasa de llenado del cultivo por una menor eficiencia en la intercepción de radiación. Además fue un año propicio para *Pc* y en el EG al tener mayor biomasa probablemente la severidad durante el periodo de llenado de granos, fue mayor que en el EDP en el que no se tomaron datos. Incrementos en la biomasa favorecen el desarrollo de patógenos biotróficos como las royas. Por lo tanto el vuelco y el mayor nivel de enfermedades foliares afectaron la fuente de fotoasimilados en el EG, y sumado a que la cantidad de destinos fue mayor (NGP mayor en EG) determinaron que los granos no se llenaron adecuadamente. En 2015, en 15 de los 20 genotipos no hubo diferencias significativas entre EDP y EG, mientras que en 4 genotipos el PMG del EG fue mayor al del EDP. En este grupo estuvieron Carlota 23,7% (32,4 g EG vs 26,2 g EDP), Graciela 17,9% (25 g vs 21,18 g), Canai 17,6% (28,7 g vs 24,4 g) y Violeta 15,6% (28,8 g vs 24,9 g). En el caso de estos genotipos la explicación que se podría encontrar es que en el EDP la fuente para llenar esos destinos fue insuficiente, y en el EG la fuente ha sido mayor y le permitió un mejor llenado de esos granos. Por lo tanto, bajo las condiciones de nuestro ensayo el PMG no tuvo un comportamiento tan claro luego de los cortes de biomasa como en los otros dos componentes del rendimiento evaluados (NP, NGP), presentándose caídas de 6,1% (Graciela), hasta incrementos de 32,4% (L1). Por el contrario, Peralta *et al.* (2011) trabajando con trigo doble propósito, encontró que los tratamientos luego de los cortes de biomasa tuvieron una disminución del 20% del PMG, argumentando que este efecto se atribuiría a una baja en el IAF verde durante el llenado de los granos en los tratamientos.

Las líneas L2 y L5 al igual que las variedades comerciales Carlota, Violeta y Marita, se destacaron por el PMG en ambos años y ensayos. Otras de las variedades destacadas fueron Milagros, Canai y Maná. Los resultados de ECR desarrollados en EEA INTA Barrow, destacan a los mismos genotipos que el presente trabajo. En 2012-2013, el promedio del PMG fue de 35,1 g, siendo Violeta (39,4 g), Marita (38,5 g), Graciela (38 g) y Carlota (37,9 g) los genotipos más destacados, mientras que Aurora fue la de menor PMG (32,7 g) (Wehrhahne & Storm, 2013 ). En 2013-2014, el

promedio fue de 29,2 g, y las variedades destacadas fueron Cristal (33,9 g), Carlota (32,4 g) y Milagros 32,1 g. Los autores indicaron que las condiciones climáticas durante la etapa de llenado (caracterizadas por altas temperaturas), provocaron un acortamiento en la duración de ésta y una disminución en el PMG (Wehrhahne & Storm, 2014). Por último, en la campaña 2014-2015 el promedio fue de 23,7 g, y los genotipos destacados fueron Cristal (29,9 g) y Milagros (29,6 g). La autora señala que la severidad ocasionada por las enfermedades fue muy alta, lo que afectó significativamente el PMG (Wehrhahne, 2015 b).

Con respecto al rendimiento, se encontraron diferencias significativas para el tratamiento *Ensayos*, y para la interacción  $A \times Ge$ . En el primer caso, se encontró una disminución del 10,2% en el rendimiento de grano del EDP (3848 kg.ha<sup>-1</sup>) respecto al EG (4287 kg.ha<sup>-1</sup>), explicadas por la caída en el NGP. Martínez (2010), señaló que el rendimiento fue mayor cuando el ensayo fue sembrado para grano, respecto del grano obtenido luego de dos cortes de forraje. En su trabajo la diferencia fue mayor, ya que el EG obtuvo un rendimiento 88% superior al EDP, aunque cabe mencionar que se realizó en una región caracterizada como semiárida (Cabildo), donde la disponibilidad de agua es menor. Un ensayo realizado en la Chacra Barrow arrojó rendimientos que oscilaron entre 1.000 a 2.800 kg.ha<sup>-1</sup> para EDP y entre 2.800 a 6.050 kg.ha<sup>-1</sup> para EG (Wehrhahne, 2005). Por su parte, Francia *et al.* (2006) demostraron que la utilización de cebada y avena como doble propósito tuvo reducciones significativas en el rendimiento, comparada a la utilizada solo para grano. En su ensayo realizado en Foggia, Sur de Italia (41°23 N, 15°30 E), las disminuciones fueron de 13,5 y 28,9% para cebada, y de 2,6 y 38,5% para avena, luego de uno y dos cortes. En ese mismo trabajo, los autores encontraron que la disminución en el número de granos.m<sup>-2</sup> en avena luego de dos cortes de biomasa, fue la razón principal de la caída en el rendimiento (13.000 granos.m<sup>-2</sup> vs 8.571 granos.m<sup>-2</sup>). Sin embargo, Bonachela *et al.* (1995) señalaron que las reducciones en el rendimiento de cebada y triticale doble propósito, se explicaron por disminuciones en ambos componentes del rendimiento (granos.m<sup>-2</sup> y PMG). Los resultados del trabajo de Peralta *et al.* (2011) que evaluó trigo doble propósito muestran que los cortes de biomasa afectaron negativamente la intercepción de la radiación fotosintéticamente activa (RFA) incidente durante el período crítico para la determinación del número de granos en los tratamientos con cortes. Esos tratamientos presentaron una intercepción de la RFA incidente en promedio 50% menor a los tratamientos sin cortes de biomasa.

Bajo las condiciones de nuestro ensayo, 8 de los 20 genotipos evaluados presentaron un rendimiento superior en 2015 comparado con 2014. Las condiciones climáticas del año 2014 se caracterizaron por precipitaciones superiores a las del 2015. Por ejemplo si tomamos el periodo julio a noviembre, que comprendería la siembra hasta madurez fisiológica en el primer año, el total de precipitaciones fue de 630,6 mm mientras que en 2015 fue de 502 mm. Entre otros efectos lo que ocurrió fue un aumento en la severidad de las enfermedades (ver Capítulo 2), principalmente roya de la hoja, que ocasionó disminuciones en el rendimiento. Se encontró una asociación negativa entre rendimiento con severidad en los tres estadios evaluados y ABCPE, indicando que aumentos en el porcentaje de severidad o en los valores de ABCPE, disminuyen el rendimiento de grano. El nivel de severidad fue tan alto en 2014 que contribuyó al quebrado de panojas producto del debilitamiento de los tallos. Además el vuelco en el EG ocasionó importantes reducciones en el rendimiento y sus componentes. En coincidencia con estos argumentos, Wehrhahne (2015 b), indicó que en la campaña 2014, la aparición a partir de macollaje de *Pc* y *Puccinia graminis* (*Pg*), ocasionó una severidad que hacía años no se registraba en Barrow, resultando los materiales más susceptibles muy dañados, ocasionando en uno de ellos el quebrado y prácticamente sin producción de grano. Además la autora mencionó que algunos materiales sufrieron vuelco, por causa del debilitamiento del tallo producido por las royas.

Las líneas L5 y L2 junto a Canai se destacaron por sus rendimientos en ambos años de ensayo. En el primer año de ensayo los rendimientos oscilaron entre 5.284 y 1.832 kg.ha<sup>-1</sup>, los genotipos distinguidos fueron L5 (5.284 kg.ha<sup>-1</sup>), L2 (4.764 kg.ha<sup>-1</sup>), Cristal (4.712 kg.ha<sup>-1</sup>), L6 (4.590 kg.ha<sup>-1</sup>), L1 (4.564 kg.ha<sup>-1</sup>) y Canai (4.326kg.ha<sup>-1</sup>), mientras que los de menor rendimiento fueron Calén (3.176 kg.ha<sup>-1</sup>), Milagros (3.132 kg.ha<sup>-1</sup>), Máxima (3.102 kg.ha<sup>-1</sup>), Graciela (3.098 kg.ha<sup>-1</sup>), Rocío (2.809 kg.ha<sup>-1</sup>) y Aurora (1.832 kg.ha<sup>-1</sup>). En el segundo año los rendimientos fueron mayores, y variaron de 6.185 a 2.532 kg.ha<sup>-1</sup>. Los genotipos L5 (6.185 kg.ha<sup>-1</sup>), Canai (6.046 kg.ha<sup>-1</sup>) y L2 (5.955 kg.ha<sup>-1</sup>), se diferenciaron significativamente del resto, seguidos por Cristal (5.191 kg.ha<sup>-1</sup>), Calén (4.870 kg.ha<sup>-1</sup>), Carlota (4.846 kg.ha<sup>-1</sup>) y Maná (4.681 kg.ha<sup>-1</sup>). El rendimiento se asoció positivamente con el NGP (0,50) y con el PMG (0,60), mostrando que aumentos en el NGP y PMG ocasionan incrementos del rendimiento. Wehrhahne & Storm (2014), encontraron que Maja y Calén estuvieron entre los de mayor rendimiento en el ECR 2012-2013, con valores de 3.736 y 3.675 kg.ha<sup>-1</sup> respectivamente. En la campaña 2013-2014, los rendimientos fueron en promedio de



3.191 kg.ha<sup>-1</sup>, siendo los genotipos destacados Maná (4.225 kg.ha<sup>-1</sup>), Maja (3.889 kg.ha<sup>-1</sup>), Calén (3.825 kg.ha<sup>-1</sup>) y Milagros (3.634 kg.ha<sup>-1</sup>), en tanto que Aurora (2.506 kg.ha<sup>-1</sup>) y Violeta (2.281 kg.ha<sup>-1</sup>) fueron los de rendimiento más bajo (Wehrhahne & Storm, 2015).

En el mejoramiento de plantas, el estudio de la interacción  $G \times A$  es esencial para la eficiencia del proceso selectivo, debido a que la mayoría de los caracteres de importancia agronómica son de herencia cuantitativa. En este sentido, analizando la estabilidad de los genotipos destacados para rendimiento de grano, se observó que Cristal y L5 fueron estables, L2 medianamente estable y Canai poco estable.

# Capítulo 4

## Calidad de grano

---

### 4.1- Introducción

Con los avances en el conocimiento de la calidad nutricional, la avena ha sido reconocida como alimento saludable a mediados de la década del 80 y su uso para alimentación humana se ha revalorizado (Anderson *et al.*, 2009), aumentando la demanda de productos con avena (Anderson & Chen, 1986; Miller *et al.*, 1993). Es un grano muy completo, posee un alto contenido proteico y un buen balance de aminoácidos, carbohidratos y fibras (Peterson, 1992; Forsberg & Reeves, 1992; Rasane *et al.*, 2015). Asimismo, el contenido en proteínas digestibles es mayor que en maíz, de mayor riqueza en materia grasa que la cebada y trigo. Desde el punto de vista de la nutrición humana, la fibra soluble de la avena cuando se agrega a la dieta diaria tiende a disminuir el colesterol de baja densidad (Shinnick *et al.*, 1991; Ripsin *et al.*, 1992; Welch, 1995; Othman *et al.*, 2011), que está relacionado con mayores niveles de enfermedades coronarias (Castelli *et al.*, 1986). Los beta-glucanos han sido identificados como los componentes solubles de la fibra de avena que reducen el colesterol (Klopfenstein & Hosenev, 1987, Davidson *et al.*, 1991). También contiene sodio, potasio, calcio, fósforo, magnesio, hierro, cobre, cinc, vitaminas B1, B2, B3, B6 y E y buena cantidad de fibras, que contribuyen al buen funcionamiento intestinal y pequeñas cantidades de gluten en relación al trigo (Squella & Ormeño, 2007).

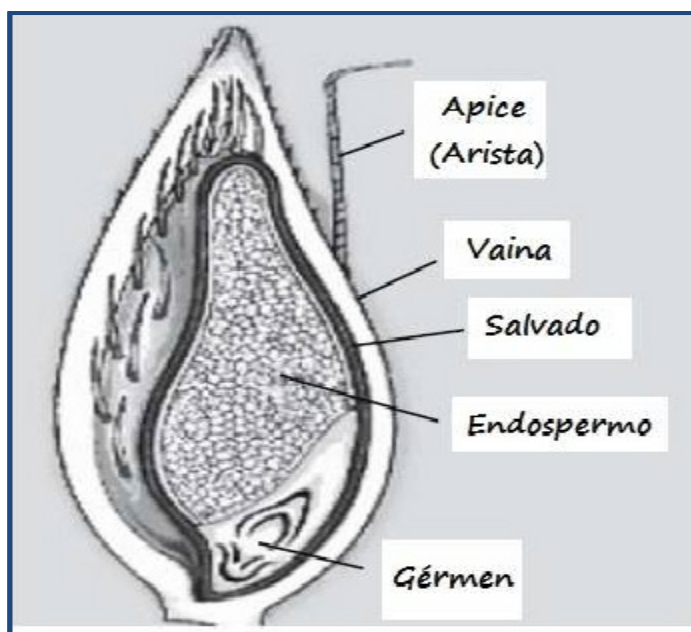
Los productos que se obtienen de su procesamiento son avenas arrolladas, harinas de avena, galletitas y cereales para el desayuno, también se mezcla con harina de otros cereales en la fabricación de pan, así como en la fabricación de alcohol y bebidas (Squella & Ormeño, 2007). Sin embargo a la fecha, no hay consenso en cuales son los requisitos de calidad de grano que requiere la avena, variando según el uso y destino que se le otorgará. La industria de procesamiento para consumo humano requiere de grano con valores altos PH, granos grandes de tamaño uniforme y alto porcentaje de cariopses (% Car) (Doehlert, 2002), además alto contenido de proteínas, beta-glucanos y bajo contenido de aceites. Sin embargo para alimentación animal se preferirá que tengan alta proteína, alto contenido de aceite y bajo en beta-glucanos. En Argentina las industrias prefieren avenas con un PH superior a 50 kg.h<sup>-1</sup>, considerando

a éste como un primer requisito de calidad. En Brasil además de ese PH mínimo consideran dos medidas cualitativas adicionales, el desarrollo de granos y el porcentaje de cariopses (Floss *et al.*, 2002). En otros países se emplea el rendimiento molinero como medida de calidad, representado por la cantidad necesaria de grano entero (con cáscara) para obtener 100 kg de avena pelada (Doehlert *et al.*, 1999).

### **Estructura y composición**

El conocimiento de la estructura y composición del grano son esenciales para el entendimiento de los parámetros que definen la calidad y la relación entre ellos. El grano entero de avena está formado por la cáscara y el cariopse. Cáscara se denomina a las dos cubiertas protectoras (glumelas) que encierran al cariopse; llamadas lemma y palea, las cuales representan entre 21 a 40,5% del peso total del grano (Doehlert *et al.*, 2004; Peltonen-Sainio *et al.*, 2004; Zute *et al.*, 2010). La cáscara está integrada principalmente de celulosa y hemicelulosa (Welch *et al.*, 1983; Welch, 1995), con menores cantidades de lignina y compuestos fenólicos (Emmons & Peterson, 1999). El cariopse está constituido por el *pericarpio*, el *endosperma* y el *germen* (Figura 4.1). La envoltura del cariopse es el *pericarpio* o también llamado salvado, término técnico para una fracción de molienda que contiene las partes exteriores del cariopse. Ganssmann & Vorwerck (1995) afirmaron que el salvado de avena de alta calidad debe contener al menos un 18-20% de fibra (de los cuales 8-10% deben ser soluble) y 6-8% beta-glucanos, y por lo tanto el rendimiento de salvado es alrededor de 30-40% del material de partida. El tejido más grande del cariopse es el *endosperma*, que puede constituir de 55 a 70% dependiendo del genotipo (Youngs, 1972). El principal componente del endosperma es el almidón, que se produce en forma de agregados formados por varios gránulos (Bechtel & Pomeranz, 1981; Doehlert *et al.*, 2013). El diámetro de éstos varía de 20 a 150 micras, y el tamaño de los gránulos individuales es 2-15 micras de diámetro (Hoover & Vasanthan, 1992). El contenido de almidón por lo general oscila entre el 43 y el 64% del cariopse (Lim *et al.*, 1992; Doehlert *et al.*, 2013) y se demostró que se correlaciona inversamente con el contenido de proteína (MacArthur & D'Appolonia, 1979). El segundo componente más abundante del endosperma es la proteína, alcanzando alrededor de 15-20% de grano descascarado (Youngs & Senturia, 1976). Típicamente la concentración de proteínas aumenta desde el interior a la periferia del cariopse, mientras la concentración de almidón aumenta de la región sub-aleurona hacia el centro del cariopse (Miller & Fulcher, 2011). Por último, el *germen* contiene altas

cantidades de proteínas y lípidos, pero muy poco almidón (Miller & Fulcher, 2011). El contenido de proteína en los tejidos germinales puede ser de 29 a 38%, en comparación con valores de 23% en el salvado y el 12% endosperma (Youngs, 1972). Los cuerpos proteicos en el germen están rodeadas por lípidos similares a los de las células de aleurona (White *et al.*, 2006). El germen tiene la más alta concentración de lípidos (15-24%) de cualquiera de los tejidos (Youngs *et al.*, 1977).



**Figura 4.1:** Estructura y composición del grano de avena

### **Parámetros de calidad.**

Los indicadores tradicionales de calidad industrial de avena incluyen al PH, el porcentaje de cariopses y el PMG. Otras características que se consideran son el desarrollo del grano y el contenido de proteína (Marshall & Kolb, 1986). El PH ha sido una determinación empleada internacionalmente para reflejar la calidad física del grano de avena (Forsberg & Reeves, 1992), utilizada como estándar en la clasificación de granos y como una primera herramienta de selección de calidad. Por definición es la masa de granos que entra en un volumen específico, por lo tanto no solo depende de la densidad media del grano sino también de la eficiencia del empaquetado (Doehlert & McMullen, 2008). Valores altos no solo determinan que una mayor cantidad de grano se pueda transportar o almacenar, sino que también es una de las características deseables para la molienda, ya que está relacionado con la mejora en la eficiencia de descascarado y una mayor producción de copos de avena (Doehlert & Wiessenborn, 2007). Si bien es muy utilizado como estimador de calidad en cereales de grano desnudo (trigo, centeno,

triticale, etc.), tiene algunos inconvenientes en avenas de grano cubierto, debido a que las cubiertas que envuelven el grano, modifican la forma, tamaño y volumen de este. Estudios realizados por Meyer & Zwingelberg (1981) concluyeron que el PH es inadecuado para predecir el rendimiento de extracción de harina en avena. Sin embargo, Wehrhahne (2009) encontró que el PH se correlacionó positivamente con la calidad molinera, en la cual, el PH es uno de los principales criterios de selección.

Es conveniente que el grano empleado para alimentación humana o animal tenga el menor contenido de cáscara, dado que ésta tiene un alto contenido de fibra y bajo contenido de proteínas (1,4 a 1,9%) (Youngs & Senturia, 1976; Youngs & Forsberg 1987). El porcentaje de cariopses es uno de los parámetros más confiables para determinar la calidad física e industrial de los granos (Souza & Sorrells, 1988; Beratto & Rivas, 2003), y ha sido considerada más importante que el PH (Bartley & Weiss, 1951). Granos llenos, de cáscara fina, y sin sobreposición entre lemma y palea dan mayores porcentajes de cariopses. La industria alimenticia utiliza el cariopse en el procesamiento de la avena, es por ello que éste parámetro proporciona una estimación más precisa del valor económico del grano, aunque a diferencia del PH es una determinación de difícil medición (Doehlert *et al.*, 1999; Hall *et al.*, 2003). Souza & Sorrells (1988) determinaron que el porcentaje de cariopses estimaba mejor el rendimiento a la molienda. Varios estudios han indicado una correlación significativa entre PH y el porcentaje de cariopses (Pomeranz *et al.*, 1979; Doehlert *et al.*, 1999). Sin embargo, Wehrhahne (2009) no halló correlación significativa para estos parámetros en genotipos argentinos. Al igual que para PH se encuentra variabilidad entre genotipos y ambientes (Doehlert & McMullen, 2000; Brunava & Alsina, 2015).

La concentración de proteína en el grano de avena es superior a la observada en otros cereales y también muestra un amplio rango de variabilidad entre los genotipos. Youngs (1972) determinó que el porcentaje de proteínas de las cáscaras fue casi constante (variando entre 1,4 y 1,9%) y mucho menor que el contenido proteico del cariopse (que varió entre 13,8 y 22,5%), por lo tanto la concentración de proteína estará influenciada por el porcentaje de cariopse. Valores entre 12,4 y 24,4% fueron hallados al analizar una colección mundial de 286 muestras de avena (Peterson, 1992). En genotipos argentinos los valores estuvieron entre 11,5 a 15,9% en la campaña 2012 (Wehrhahne & Storm, 2013) y entre 13,3% a 14,5% en la campaña 2013 (Wehrhahne & Storm, 2014).

Otras características que influyen en la aptitud industrial del grano son: el tamaño, la forma, y la uniformidad, que se conocen como desarrollo de grano, y se determina midiendo el calibre. Wehrhahne (2005) expresa que el ancho debería ser entre un 30 a 35% del largo (normalmente 8,9 mm de largo por 2,5 o 3 mm de ancho). Aquellas avenas que tienen más de 3 mm de ancho tienen dificultad para ser separadas de la cebada, por lo cual no son deseables. La uniformidad en el tamaño del grano incide en la disminución de las pérdidas durante el procesamiento. En avena los granos son provenientes de espiguillas multifloras, pudiendo contener uno, dos o tres granos por lo que el tamaño no es uniforme. Las espiguillas contienen típicamente dos granos, siendo el grano primario significativamente más grande que el secundario (Doehlert *et al.*, 2002). El grano basal o primario es el primero en formarse. Estudios realizados por Doehlert *et al.* (2005), indican que si se analiza una muestra de granos de avena tienden a formar distribuciones de tamaño bimodal, siendo ese patrón de distribución causado por la arquitectura de la espiguilla de avena. De este modo los granos primarios forman una subpoblación de granos de mayor tamaño y los secundarios una de tamaño de grano más pequeño. Las desviaciones de la perfecta distribución bimodal se han atribuido a la presencia de un solo grano y de granos triples, así como otras fuentes de variación relacionadas con la posición de la espiguilla en la panoja y la variación entre panículas (Doehlert *et al.*, 2002, 2005). Existe variabilidad genotípica para este carácter y además es muy influenciado por el ambiente, principalmente durante el llenado de granos. Youngs & Shands (1974) demostraron que los granos terciarios tuvieron un porcentaje de cariopses mayor que los primarios y secundarios. Sin embargo, Palagyi (1983) encontró que los genotipos con niveles más altos de granos terciarios tuvieron porcentajes más bajos de cariopses y sugirieron que los granos terciarios compiten con los primarios y secundarios por asimilados ocasionando que los mismos se llenen inadecuadamente. Doehlert *et al.* (2002), indicaron que la presencia de granos terciarios no estuvo asociada con mayores proporciones de granos de menor tamaño, ni con el porcentaje de cáscaras, por lo que estas asociaciones continúan siendo un tema de investigación.

Los cultivares que poseen dificultad en la separación de las cáscaras provocan inconvenientes cuando la avena debe descascararse para su empleo en la elaboración de alimentos. La facilidad de pelado de los granos mejoraría ese proceso industrial y disminuiría su costo, ya que los mismos deberán permanecer menos tiempo en el

proceso de descascarado. Se ha planteado como solución la utilización de avenas sin cáscaras, pero las mismas presentan, por el momento, algunos inconvenientes, tales como el brotado en precosecha (Fosberg & Reeves, 1992) y granos más expuestos a enfermedades, ya que las cáscaras protegen a los cariopses del ataque de patógenos (Christenson & Meronuck, 1986). Sin embargo, Biel *et al.* (2014) afirman que el interés sobre avenas desnudas (*Avena nuda*) ha crecido, debido a su mayor contenido de proteínas y lípidos que las avenas descascaradas. Un factor importante que influye en el descascarado es el tamaño de grano, justificado en que el sistema de descascarado es por impacto. Avenas de grano grande pueden ser descascaradas a velocidades de rotor más bajas que avenas de grano más pequeño (Ganssmann & Vorwerck, 1995), presumiblemente porque un grano de avena grande tendrá más energía de inercia al impactar contra las paredes, que un grano pequeño a la misma velocidad de rotor. La aplicación de energía mecánica excesiva en el descascarado causa la rotura excesiva del grano, mientras que la aplicación de la energía insuficiente resultará en una menor eficiencia de descascarado (Doehlert *et al.*, 1999; Doehlert & McMullen, 2000). Por ello, en muchas instalaciones se separa en flujos de diferentes tamaños de grano para optimizar rendimiento de la molienda (Deane & Commers, 1986; Ganssmann & Vorwerck 1995). Asimismo, resultados encontrados por Doehlert *et al.* (1999) sugieren que cáscaras más gruesas están asociadas a bajos porcentajes de cariopses y son más difíciles de remover.

El mejoramiento de la calidad del grano beneficia a los productores, así como los procesadores, ya que mejora el valor del cultivo y el valor de los productos fabricados a partir del grano (Doehlert, 2002). Los programas de mejoramiento han tenido entre sus objetivos de mejoramiento el rendimiento en forraje y grano, sanidad, comportamiento a frío, resistencia a vuelco y desgrane y en menor medida la calidad de grano. Como se mencionó en el **Capítulo 3**, tanto en la fase de selección como en la de recomendación de los genotipos, la interacción *Ge x A* es un gran problema para los mejoradores; por ello se realizan pruebas de estabilidad y de adaptación, mediante las cuales se hace posible identificar genotipos de interés.

En lo que refiere a las características del grano que hacen a su calidad, la información en los genotipos argentinos de avena es escasa, por lo tanto resulta de interés evaluar parámetros indicadores de calidad de grano en líneas provenientes del Criadero de la UNLP y compararlas con variedades de uso en nuestro país.

## **Hipótesis**

- Existen algunas líneas del Criadero de la UNLP que presentan valores superiores a los de las mejores variedades comerciales, respecto a: PMG, PH, porcentaje de cariopses y porcentaje de proteína
- Existen algunas líneas del Criadero de la UNLP que se destacan por la facilidad de pelado, estando la resistencia al descascarado asociada al tamaño de grano
- Las enfermedades foliares afectan negativamente los parámetros de calidad.
- Existen algunas líneas en filiales avanzadas del Criadero de la UNLP que presentan estabilidad para PH, porcentaje de cariopses y resistencia al descascarado.

## **Objetivo general**

Contribuir a través del mejoramiento genético a la obtención de genotipos de avena con calidad de grano

## **Objetivos específicos**

- Evaluar la calidad de grano de genotipos de avena, la relación entre los parámetros que la determinan y su asociación con las enfermedades y el rendimiento.
- Evaluar la estabilidad de las líneas del Criadero de la UNLP y variedades comerciales para la calidad de grano.

## **4.2- Materiales y métodos**

Las determinaciones de calidad de grano se hicieron a partir del material cosechado y trillado del ECR de grano en los años 2014 y 2015, en que se utilizaron 20 genotipos de avena (Tabla 2.3). Las muestras de granos fueron acondicionadas eliminando el resto de paja, o impurezas que pudieran contener y conservadas hasta su evaluación.

El PMG se realizó por conteo de mil granos y luego pesada en balanza de precisión. El PH se efectuó con balanza de Schopper, haciendo la conversión por tabla a kilogramos por hectolitro ( $\text{kg}\cdot\text{hl}^{-1}$ ). El porcentaje de cariopses se determinó por pelado manual de una muestra de 10 g de granos, calculando la relación peso de grano desnudo sobre peso de grano entero ( $\% \text{ cariopse} = (\text{peso de grano desnudo} / \text{peso grano$



entero)\*100. El porcentaje de proteína se determinó con el método microkjehdhal, en donde el grano entero fue previamente molido en un molino y se expresó en sustancia seca.

El porcentaje de granos primarios, secundarios y terciarios se evaluó sobre 10 panojas cosechadas de cada unidad experimental. Se separaron las espiguillas de cada panoja, se separaron las glumas y luego se contó el número de granos primarios, secundarios, terciarios y totales. El grano basal o primario es el primero en formarse y se encuentra unido al raquis, mientras que el secundario no presenta conexión directa con el raquis. En caso de tener un tercer grano, éste se ubicará por encima del secundario y será de tamaño significativamente menor.

$$\% \text{ de granos primarios} = (\text{N}^\circ \text{ Granos primarios} / \text{N}^\circ \text{ Granos totales}) * 100$$

$$\% \text{ de granos secundarios} = (\text{N}^\circ \text{ Granos secundarios} / \text{N}^\circ \text{ Granos totales}) * 100$$

$$\% \text{ de granos terciarios} = (\text{N}^\circ \text{ Granos terciarios} / \text{N}^\circ \text{ Granos totales}) * 100$$

El desarrollo de grano se realizó por pasaje de una muestra de 50 gramos por un juego de zarandas de 2,8 mm, 2,5 mm y 2,2 mm. El zarandeo consistió en 2 minutos por muestra, luego se pesó cada una de las 4 fracciones remanentes, y se calculó el porcentaje de cada fracción.

$$>2,8 \text{ mm} = (\text{Peso de la fracción } >2,8 \text{ mm} / \text{Peso total}) * 100$$

$$2,8-2,5 \text{ mm} = (\text{Peso de la fracción } 2,8-2,5 \text{ mm} / \text{Peso total}) * 100$$

$$2,5-2,2 \text{ mm} = (\text{Peso de la fracción } 2,5-2,2 \text{ mm} / \text{Peso total}) * 100$$

$$<2,2 \text{ mm} = (\text{Peso de la fracción } <2,2 \text{ mm} / \text{Peso total}) * 100$$

La resistencia al descascarado (RD) se evaluó en una muestra de 25 g, por pasaje durante 30 segundos en una desbarbadora. El sistema de descascarado que utiliza la desbarbadora, consiste en un rotor girando a alta velocidad. Se contaron los granos que permanecieron cubiertos con cáscaras y se calculó el % de granos sin descascarar.

$$\% \text{ de granos sin descascarar} = (\text{NG sin descascarar} / \text{NG muestra}) * 100$$

NG sin descascarar= es el número de granos con cáscara contados luego del pasaje por desbarbadora.

NG muestra= es el número de granos total que pasó por la desbarbadora, y se estimó como  $\text{NG muestra} = (\text{peso de la muestra} * 1000) / \text{PMG}$

### Análisis estadístico

Los datos se analizaron mediante ANVA conjunto de los dos años para ensayos en bloques al azar, las medias se compararon mediante el test de LSD ( $P=0,05$ ). Los porcentajes de granos terciarios y los porcentajes de cada fracción en la evaluación del desarrollo fueron transformados mediante la función  $(\arcsin \sqrt{\%})$  y logit, que fueron las que permitieron una mejor normalización de los residuos. Para estudiar las relaciones entre las variables se empleó la técnica de correlación de Pearson. Se utilizó el Software GenStat 12th Edition.

#### Análisis de estabilidad

Se realizó el análisis de estabilidad de la interacción  $Ge \times A$  para PH, porcentaje de cariopses y resistencia al descascarado. Los años (2014 y 2015) se consideraron ambientes diferentes. Se utilizó el método de ecovalencia propuesto por Wricke (1962), mencionado en el capítulo 3.



**Figura 4.2:** a) balanza de precisión; b) espiguillas con granos primarios, secundarios y

terciarios; **c)** zarandas de tajo para desarrollo de grano; **d)** desbarbadora con la que se realizó el descascarado

### 4.3- Resultados

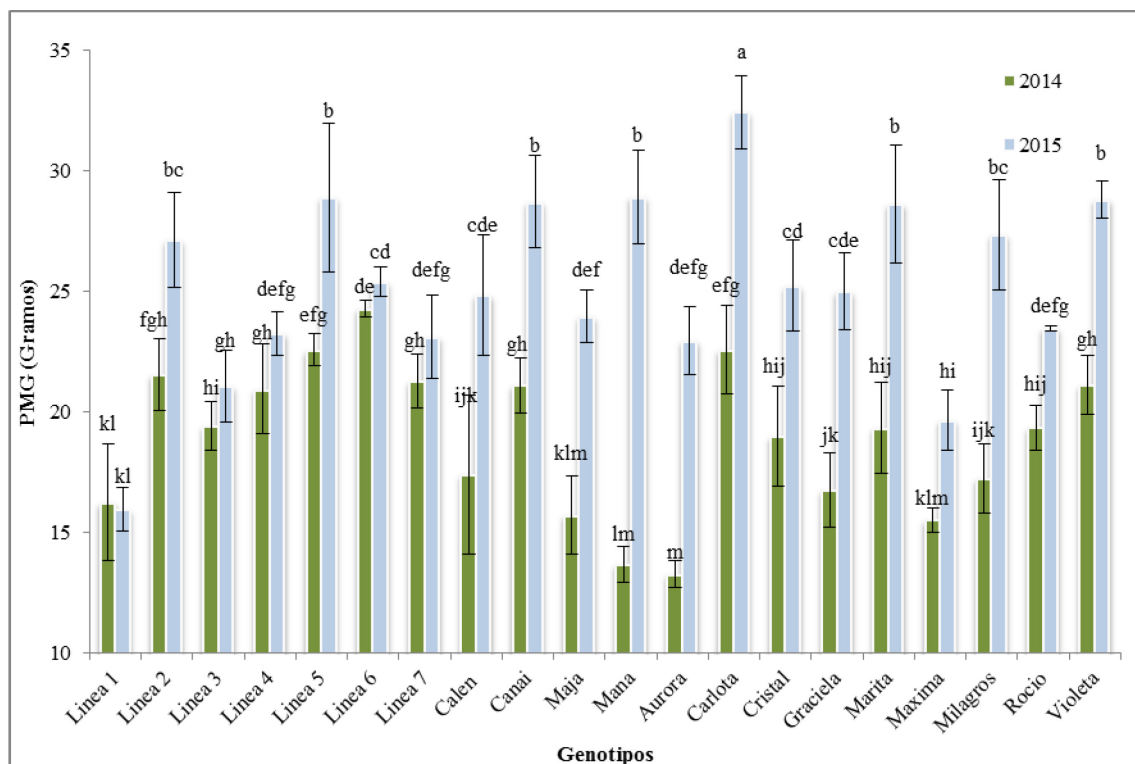
En la Tabla 4.1 se indica la significancia de las fuentes de variación para PMG, PH, % de cariopses, proteína y RD.

**Tabla 4.1:** Cuadrados medios y valor de *p* (ANVA) de PMG, PH, % de Cariopses, Proteína y resistencia al descascarado (RD), en un ensayo comparativo de rendimiento con 20 genotipos de avena.

Fuente de Variación	GL	PMG	PH	% Cariopses	Proteína	RD
<i>Años (A)</i>	1	1.198 ( <b>&lt;0,001</b> )	2.958 ( <b>&lt;0,001</b> )	3,053 (0,391)	1,1 (0,300)	22,4 ( <b>&lt;0,001</b> )
<i>Genotipos (Ge)</i>	19	50,3 ( <b>&lt;0,001</b> )	68,9 ( <b>&lt;0,001</b> )	96,2 ( <b>&lt;0,001</b> )	4,7 ( <b>&lt;0,001</b> )	4,2 ( <b>&lt;0,001</b> )
<i>A x Ge</i>	19	21,9 ( <b>&lt;0,001</b> )	46,6 ( <b>&lt;0,001</b> )	20,0 ( <b>&lt;0,001</b> )	1,0 (0,475)	1,5 ( <b>&lt;0,001</b> )
<b>Error</b>	78	2,6	4,4	4,1	1,0	0,2
<b>Total</b>	119					

#### 4.3.1- Peso de mil granos

El PMG presentó diferencias altamente significativas para los tratamientos *Años*, *Genotipos* y para la interacción *A x Ge* (Tabla 4.1). En 2015 fue un 33,4% superior a 2014 (25,22 g vs 18,90 g). Los valores fluctuaron entre 24,3 y 13,2 g para 2014, y entre 32,4 y 15,9 g para 2015. La interacción se produjo porque la mayoría de los genotipos presentaron un PMG significativamente mayor en 2015, pero las líneas L1, L3, L4, L6 y L7 mantuvieron su PMG constante en los dos años de ensayo (Figura 4.3).

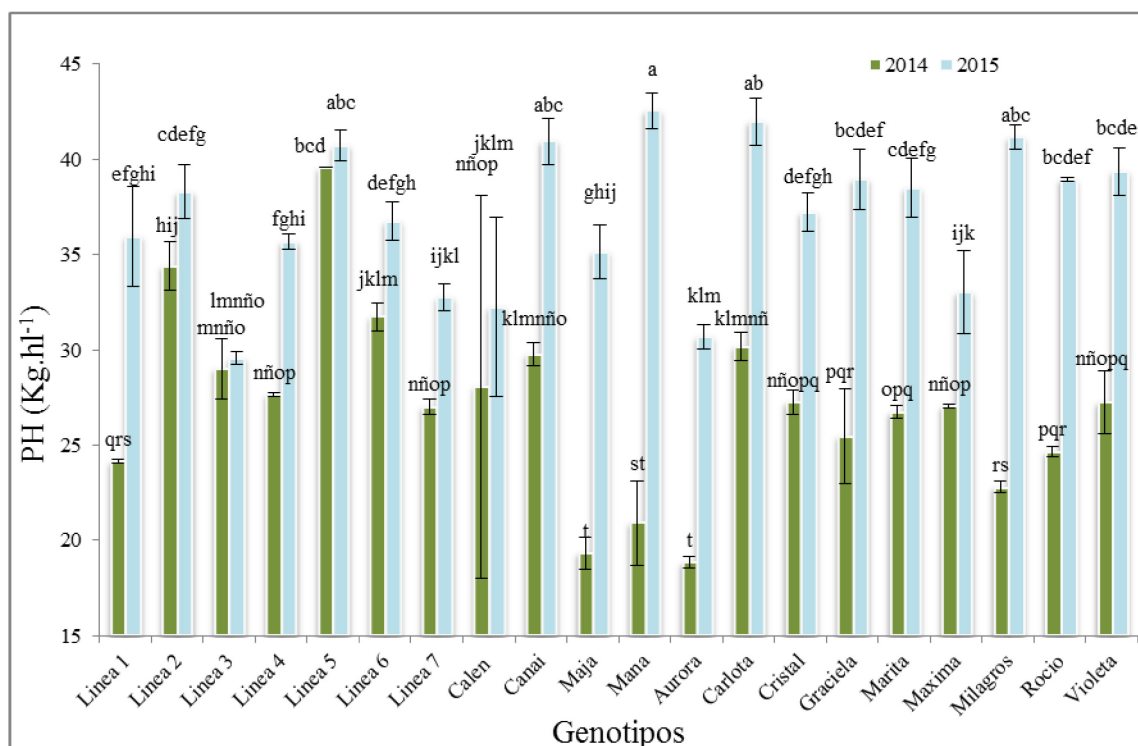


**Figura 4.3:** Medias de los valores de PMG para la interacción *Año x Genotipo* de un ensayo con 20 genotipos de avena. Letras diferentes muestran diferencias significativas a través de los tratamientos (*Años y Genotipos*), LSD  $p < 0,05$ . Las barras en cada media representan el desvío estándar.

En 2014 los genotipos con valores superiores fueron L6 (24,3 g), Carlota (22,6 g), L5 (22,6 g) y L2 (21,5 g). En 2015 Carlota y L5 se mantuvieron como los de mayor PMG, obteniendo valores de 32,4 g y 28,9 g respectivamente, otros genotipos destacados fueron Maná (28,9 g), Violeta (28,8 g), Canai (28,7 g), Marita (28,6 g), Milagros (27,3 g) y L2 (27,1 g).

#### 4.3.2- Peso hectolítrico

Se encontraron diferencias altamente significativas para los *Años*, *Genotipos* y la interacción *A x Ge* (Tabla 4.1). En 2015 los valores de PH fueron significativamente superiores a los del 2014 (37,02 kg.h<sup>-1</sup> vs 27,09 kg.h<sup>-1</sup>), esto ocurrió en todos los genotipos, aunque en L3 y L5 la diferencia entre años no fue significativa. La línea L3 obtuvo 29 kg.h<sup>-1</sup> y 29,55 kg.h<sup>-1</sup>, mientras que L5 39,55 kg.h<sup>-1</sup> y 40,72 kg.h<sup>-1</sup> en 2014 y 2015 respectivamente (Figura 4.4).

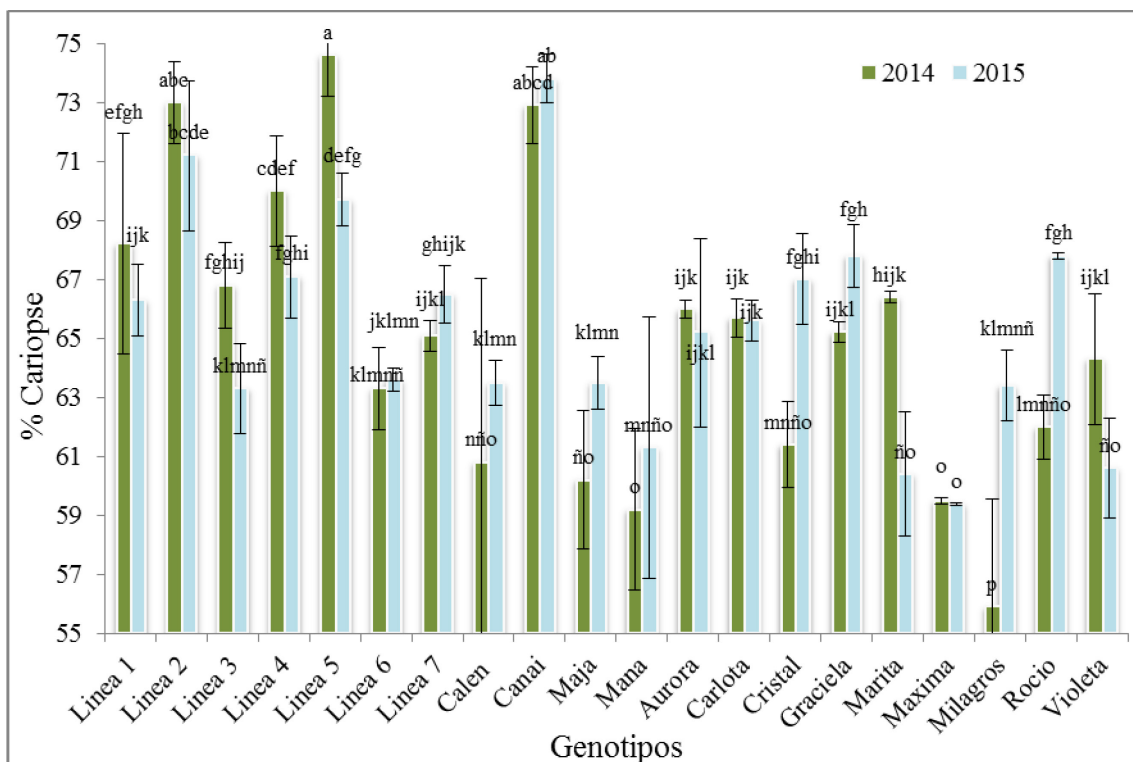


**Figura 4.4:** Medias de los valores de PH para la interacción *Año x Genotipo* de un ensayo con 20 genotipos de avena. Letras diferentes muestran diferencias significativas a través de los tratamientos (*Años y Genotipos*), LSD  $p < 0,05$ . Las barras en cada media representan el desvío estándar.

En 2014, L5 fue la de mayor PH obteniendo un valor de  $39,55 \text{ kg.hL}^{-1}$ , diferenciándose del resto. Le siguieron las líneas L2 y L6 ( $34,4 \text{ kg.hL}^{-1}$  y  $31,7 \text{ kg.hL}^{-1}$  respectivamente) y las variedades Carlota y Canai ( $30,18 \text{ kg.hL}^{-1}$  y  $29,77 \text{ kg.hL}^{-1}$  respectivamente). En 2015 los destacados fueron Maná ( $42,55 \text{ kg.hL}^{-1}$ ), Carlota ( $41,98 \text{ kg.hL}^{-1}$ ), Milagros ( $41,15 \text{ kg.hL}^{-1}$ ), Canai ( $40,95 \text{ kg.hL}^{-1}$ ) y L5 ( $40,72 \text{ kg.hL}^{-1}$ ). En el caso de Carlota, Canai y L5 fueron genotipos destacados en ambos años.

### 4.3.3- Porcentaje de Cariopses

Se encontraron diferencias significativas para *Genotipos* y para la interacción *A x Ge* (Tabla 4.1), explicadas porque 10 de los genotipos no modificaron su porcentaje de cariopses en los dos años de ensayo, mientras que los restantes si lo hicieron. Por un lado, L1, L3, L5, Marita y Violeta tuvieron mayor % de cariopses en 2014; en tanto que Maja, Cristal, Graciela, Milagros y Rocío y otros obtuvieron mayor % de cariopse en 2015 (Figura 4.5).

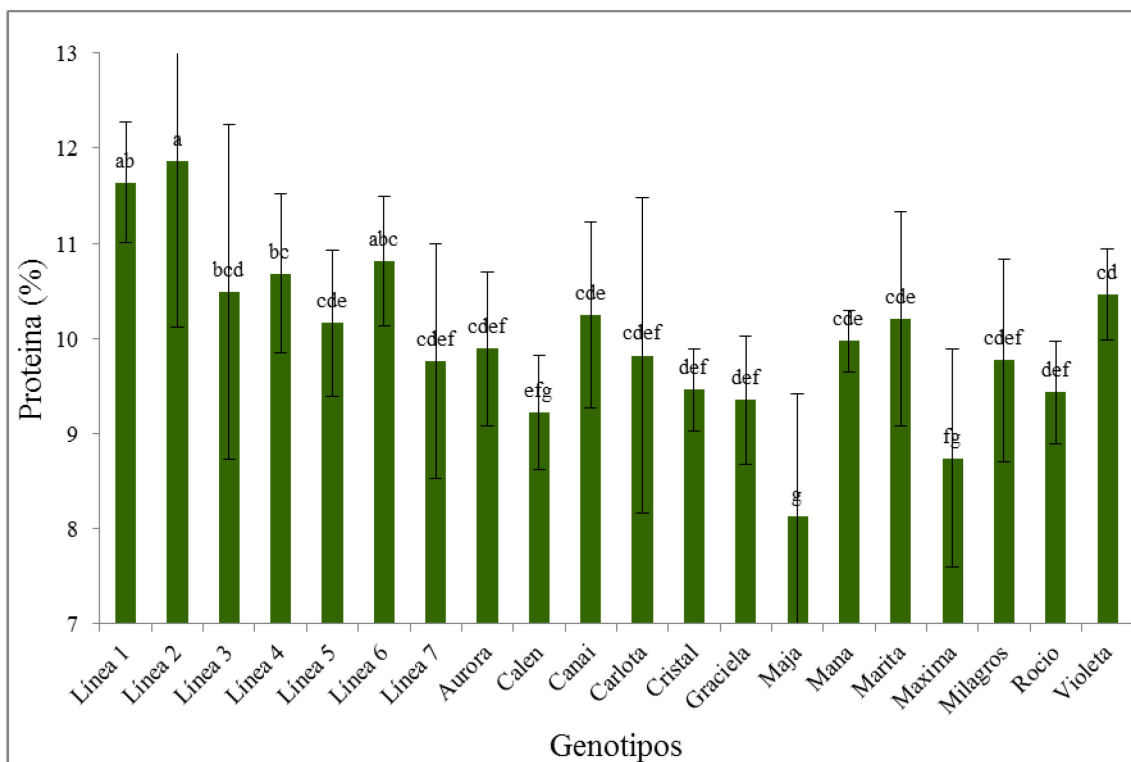


**Figura 4.5:** Medias de los valores de porcentaje de cariosomes para la interacción *Año x Genotipos*, de un ensayo con 20 genotipos de avena. Letras diferentes muestran diferencias significativas a través de los tratamientos (*Años* y *Genotipos*), LSD  $p < 0,05$ . Las barras en cada media representan el desvío estándar.

Los valores oscilaron entre 74,6 y 55,9% en 2014, y entre 73,8 y 59,4% en 2015. Se destacaron los mismos genotipos en ambos años; en 2014 L5 alcanzó 74,6%, L2 73% y Canai 71,2%, no diferenciándose entre sí, mientras en 2015, Canai con 73,8% y L2 71,2%, se diferenciaron de L5 que se ubicó en tercer lugar con 69,7%.

#### 4.3.4- Proteína

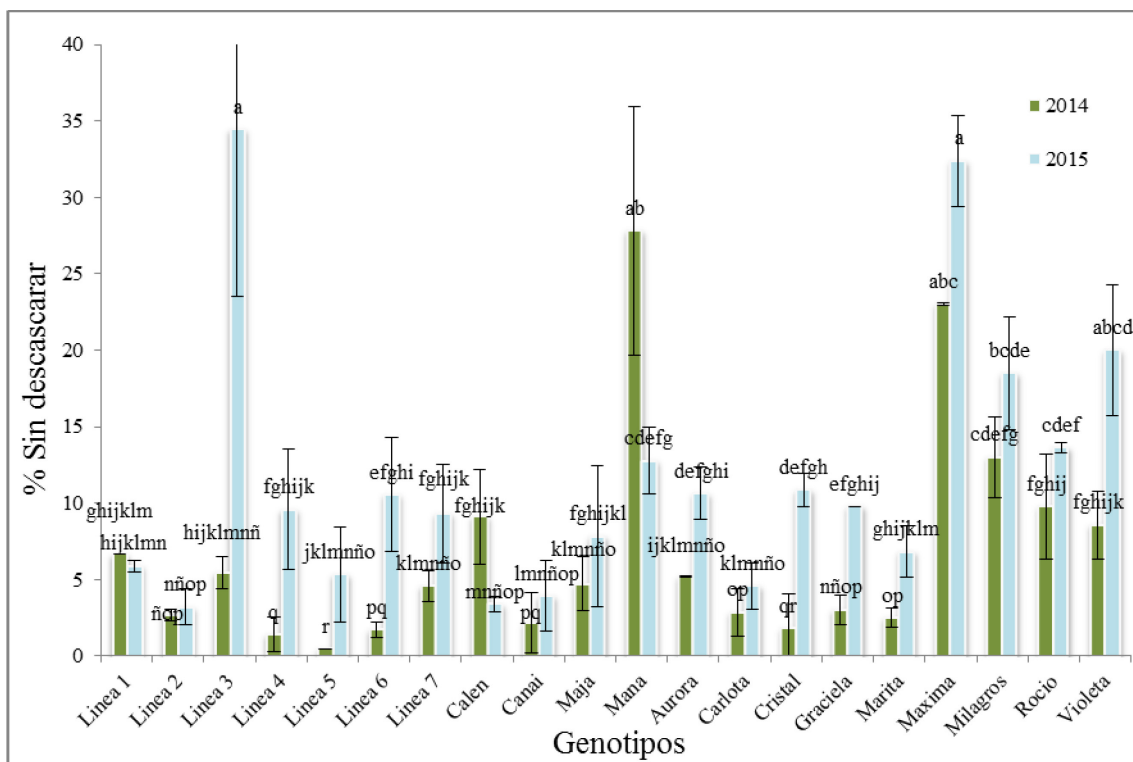
En el porcentaje de proteína se hallaron diferencias significativas para el tratamiento *Genotipos* (Tabla 4.1). Los valores estuvieron entre 11,9 y 8,1%, y entre los genotipos distinguidos se encontraron L2 (11,9%), L1 (11,6%), L6 (10,8%), L4 (10,7%), L3 (10,5%) y Violeta (10,5%) (Figura 4.6).



**Figura 4.6:** Medias de los porcentajes de proteína para el tratamiento *Genotipos* de un ensayo con 20 genotipos de avena. Letras diferentes muestran diferencias significativas a través de los tratamientos, LSD  $p < 0,05$ . Las barras en cada media representan el desvío estándar.

#### 4.3.5- Resistencia al descascarado

Se hallaron diferencias significativas para los tratamientos *Años* y *Genotipos*, y para la interacción  $A \times Ge$  (Tabla 4.1). Esta podría explicarse porque en 8 de los genotipos se observó mayores porcentajes de granos sin descascarar en el año 2015, en este grupo estarían L3, L4, L5, L6, Cristal, Graciela, Marita y Violeta. Por el contrario, las variedades Calén y Maná tuvieron mayor dificultad para ser descascaradas en 2014. El resto de los genotipos se comportó de manera similar en los dos años (Figura 4.7).



**Figura 4.7:** Medias de porcentajes sin descascarar para la interacción *Año x Genotipos*, de un ensayo con 20 genotipos de avena. Letras diferentes muestran diferencias significativas a través de los tratamientos (*Años* y *Genotipos*), LSD  $p < 0,05$ . Las barras en cada media representan el desvío estándar.

Los genotipos que presentaron mayor dificultad de descascarado en 2014 fueron Maná y Máxima (27,8 y 23%) seguidos por Milagros y Rocío (13 y 9,8%), mientras que en 2015 fueron L3 y Máxima (34,5 y 32,4%) seguidos por Violeta y Milagros (20 y 18,5%).

#### 4.3.6- Porcentaje de granos primarios, secundarios y terciarios

Los tratamientos *Años* y *Genotipos* fueron significativos para el porcentaje de granos primarios (Tabla 4.2).



**Tabla 4.2:** Cuadrados medios y valor de *p* (ANVA) de granos primarios (% de Granos primarios), granos secundarios (% Granos secundarios) y granos terciarios (% Granos terciarios), en un ensayo comparativo de rendimiento con 20 genotipos de avena.

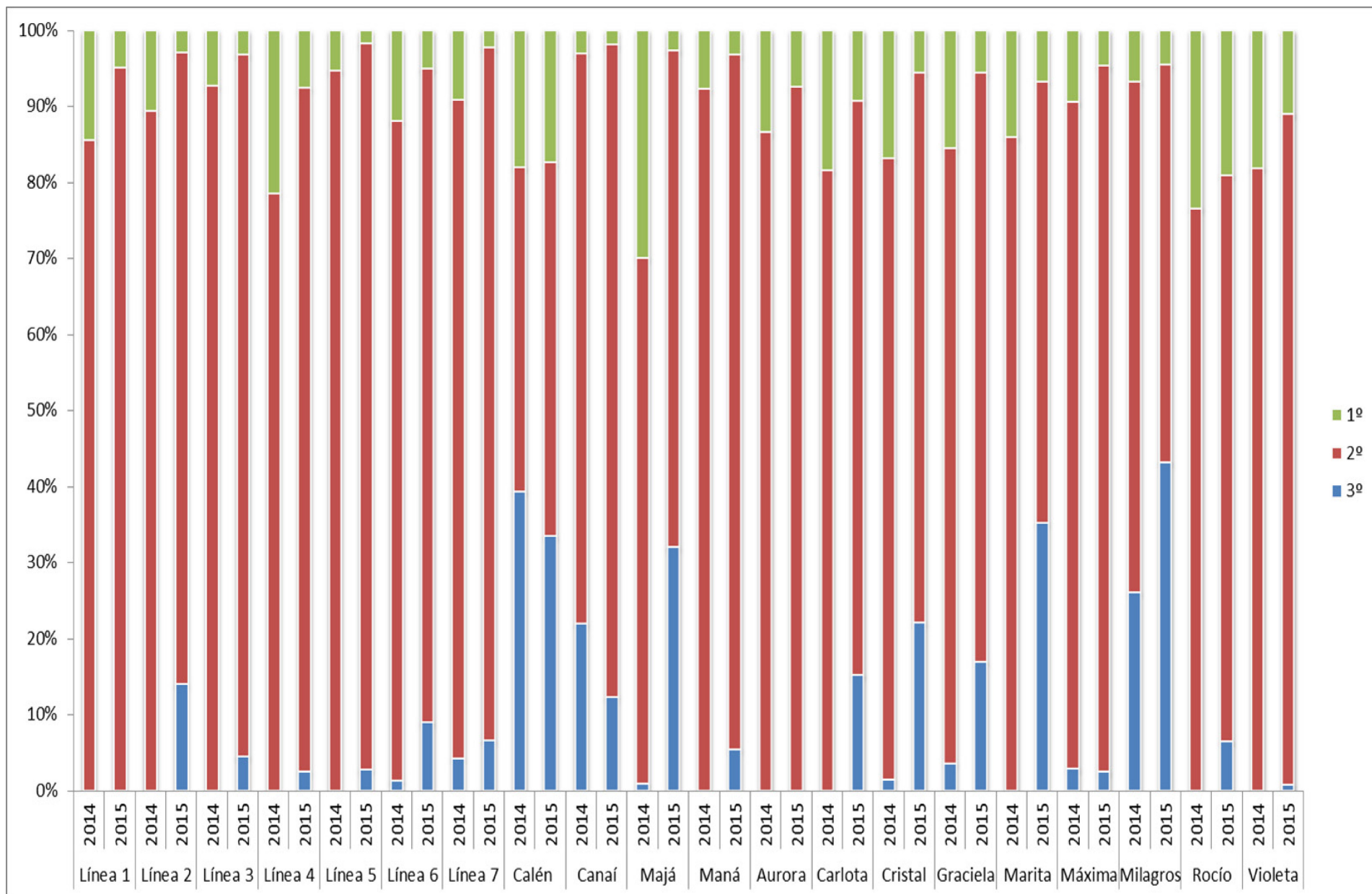
Fuente de Variación	GL	% Granos primarios	% Granos secundarios	% Granos terciarios
<i>Años (A)</i>	1	1,635 ( <b>&lt;0,001</b> )	19,1 (0,619)	1,14 ( <b>&lt;0,001</b> )
<i>Genotipos (Ge)</i>	19	152,8 ( <b>&lt;0,001</b> )	898,7 ( <b>&lt;0,001</b> )	0,19 ( <b>&lt;0,001</b> )
<i>A x Ge</i>	19	50,1 (0,146)	133,4 ( <b>0,046</b> )	0,06 ( <b>&lt;0,001</b> )
<b>Error</b>	78	35,5	76,5	0,01
<b>Total</b>	119			

En 2014, el porcentaje de granos primarios fue superior al del 2015 (13,7 vs 6,3%). Respecto a los genotipos, los de mayor porcentaje fueron Rocío (21,3%), Calén (17,7%), Maja (16,3%), L4 (14,5%) y Violeta (14,5%) (Tabla 4.3).

Para granos secundarios se encontraron diferencias significativas para *Genotipos* y para la interacción *A x Ge* (Tabla 4.2), explicada porque el porcentaje no varió significativamente entre años en la mayoría de los genotipos, a excepción de Marita (80% en 2014 y 58,1% en 2015) y Milagros (67,2% en 2014 y 52,3% en 2015) que disminuyeron sus porcentajes en 2015. En 2014 los genotipos con mayores porcentajes fueron las líneas L5 (94,3%), L3 (92,7%), L2 (89,4%), L6 (86,8%), las variedades Maná (92,3%) y Máxima (87,8%), y en 2015 L5 (95,5%), L1 (95,1%), Máxima (92,8%), Aurora (92,4%) y L3 (92,2%) entre otras (Figura 4.8 y Tabla 4.3).

Finalmente, se hallaron diferencias significativas para *Años*, *Genotipos* y para la interacción *A x Ge* (Tabla 4.2) para granos terciarios. En 2015 el porcentaje fue significativamente mayor que en 2014 (13,3% vs. 5,1%). En este sentido, algunos genotipos aumentaron significativamente su porcentaje en el año 2015 respecto a 2014, tal es el caso de Marita (0% a 35,3%), Maja (0,9% a 32,1%), Cristal (1,4% a 22,1%), Graciela (3,6% a 17%), Carlota (0% a 15,2%), y en menor medida Rocío, Maná, L2, L3 y L6. Otras variedades como Calén (39,4% y 33,5%) y Milagros (26,1% y 43,2%) mantuvieron altos porcentajes de granos terciarios en ambos años (Figura 4.8 y Tabla 4.3). En el primer año de ensayo, los genotipos que presentaron mayor número de granos terciarios fueron Calén, Milagros y Canai con 39,4%, 26,1% y 22%

respectivamente, y en el segundo Milagros (43,2%), Marita (35,3%), Calén (33,5%) y Maja (32,1%).



**Figura 4.8:** Medias de porcentajes de granos primarios, secundarios y terciarios de un ensayo de 20 genotipos de avena en dos años.

**Tabla 4.3:** Medias de porcentajes de granos primarios, secundarios y terciarios, y diferencias entre medias de un ensayo de 20 genotipos de avena en dos años.

	Granos primarios		Granos secundarios				Granos terciarios			
			2014		2015		2014		2015	
	Media	Dif medias	Media	Dif medias	Media	Dif medias	Media	Dif medias	Media	Dif medias
Línea 1	9,7	cdefg	85,6	abcdefgh	95,1	ab	14,4	k	4,9	k
Línea 2	6,7	fgh	89,4	abcdef	83,2	abcdefghi	10,6	k	2,9	def
Línea 3	5,2	fgh	92,7	abc	92,2	abc	7,3	k	3,2	fghij
Línea 4	14,5	abcd	78,6	cdefghijk	89,9	abcde	21,4	k	7,6	hijk
Línea 5	3,5	gh	94,7	ab	95,5	a	5,3	k	1,7	ghijk
Línea 6	8,5	defgh	86,8	abcdefg	85,9	abcdefgh	11,9	ijk	5	efgh
Línea 7	5,7	fgh	86,5	abcdefgh	91,1	abcd	9,2	ghijk	2,3	efghi
Calén	17,7	ab	42,6	ñ	49,1	nñ	18	ab	17,4	abc
Canaí	2,5	h	74,9	ghijk	85,8	abcdefgh	3	bcd	1,9	defg
Maja	16,3	abc	69,2	ijkl	65,4	klm	29,9	ijk	2,6	abc
Maná	5,5	fgh	92,3	abc	91,3	abcd	7,7	k	3,2	efghi
Aurora	10,4	cdef	86,6	abcdefg	92,4	abc	13,4	k	7,4	jk
Carlota	13,8	bcde	81,6	abcdefghi	75,5	fghijk	18,4	k	9,2	de
Cristal	11,2	bcdef	81,8	abcdefghi	72,3	hijkl	16,8	hijk	5,5	cd
Graciela	10,5	cdef	80,9	bcdefghij	77,4	defghijk	15,5	hijk	5,6	de
Marita	10,3	cdefg	86	abcdefgh	58,1	lmn	14	k	6,7	abc
Máxima	7	efgh	87,8	abcdefg	92,8	abc	9,4	hijk	4,7	hijk
Milagros	5,6	fgh	67,2	ijkl	52,3	mnñ	6,7	abcd	4,5	a
Rocío	21,3	a	76,6	efghijk	74,4	ghijk	23,4	k	19,1	efghi
Violeta	14,5	abcd	81,9	abcdefghi	88,2	abcdefg	18,1	k	11	ijk

Para granos primarios letras diferentes muestran diferencias significativas entre *Genotipos*, LSD  $p<0,05$ . Para granos secundarios y terciarios letras diferentes muestran diferencias significativas a través de los tratamientos (*Años* y *Genotipos*), LSD  $p<0,05$ .

#### 4.3.7- Desarrollo de grano

Se han encontrado diferencias altamente significativas para el tratamiento *Años* en las fracciones 2,8-2,5 mm, 2,5-2,2 mm e inferior a 2,2 mm; para *Genotipos* y la interacción *A x Ge* en las 4 fracciones evaluadas (Tabla 4.4).

**Tabla 4.4:** Cuadrados medios y valor de  $p$  (ANVA) de desarrollo de grano, en un ensayo comparativo de rendimiento con 20 genotipos de avena.

<b>Fuente de Variación</b>	<b>GL</b>	<b>% Superior a 2,8 mm</b>	<b>% 2,8-2,5 mm</b>	<b>% 2,5-2,2 mm</b>	<b>% Inferior a 2,2 mm</b>
<b>Años (A)</b>	1	1,05 (0,071)	0,48 <b>(0,057)</b>	1,14 <b>(&lt;0,001)</b>	0,77 <b>(&lt;0,001)</b>
<b>Genotipos (Ge)</b>	19	2,87 <b>(&lt;0,001)</b>	3,39 <b>(&lt;0,001)</b>	1,77 <b>(&lt;0,001)</b>	2,52 <b>(&lt;0,001)</b>
<b>A x Ge</b>	19	0,91 <b>(&lt;0,001)</b>	1,85 <b>(0,046)</b>	1,20 <b>(&lt;0,001)</b>	1,57 <b>(&lt;0,001)</b>
<b>Error</b>	78	0,31	0,13	0,01	0,06
<b>Total</b>	119				

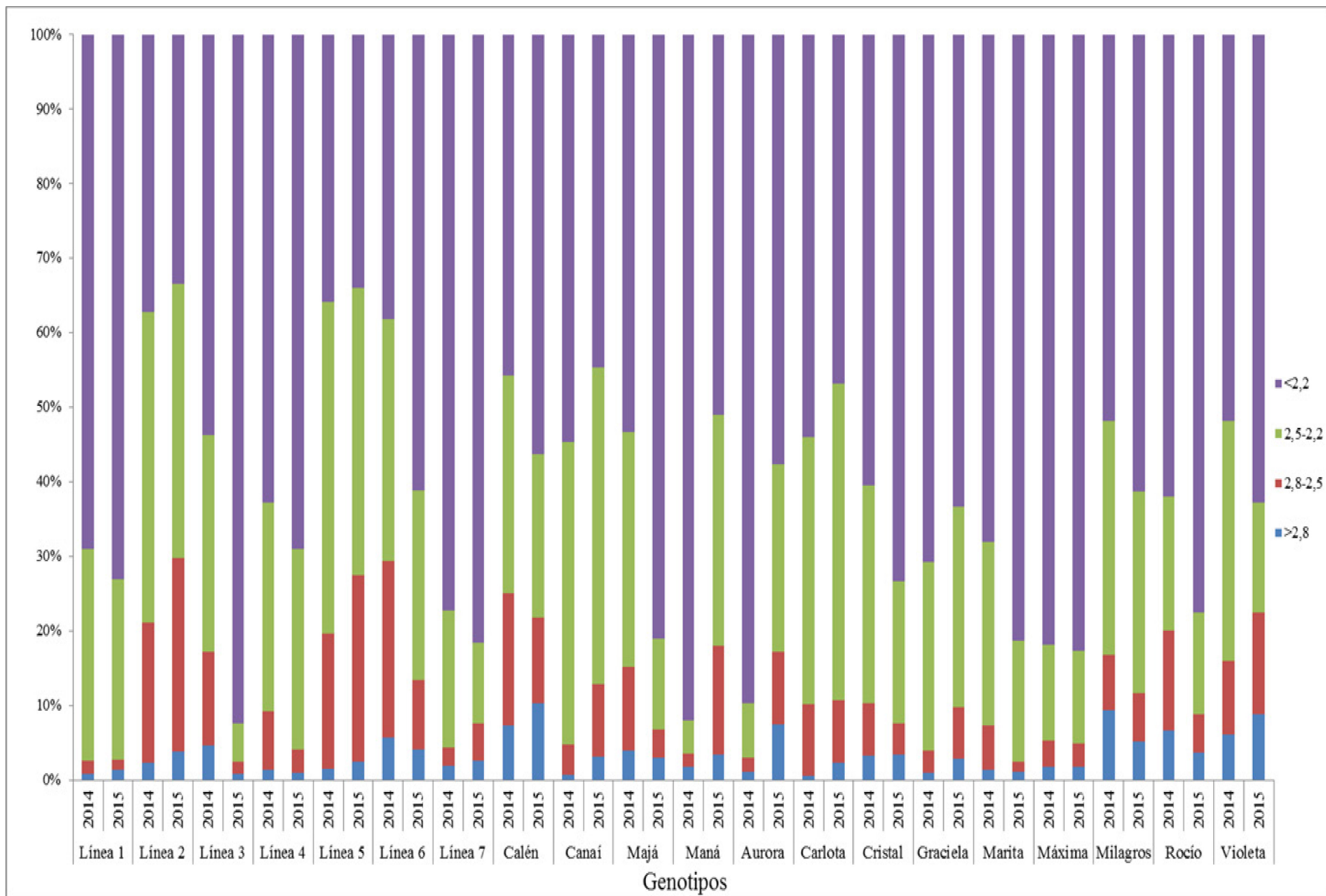
En la fracción superior a 2,8 mm, la interacción se explica porque en la mayoría de los genotipos no hubo diferencias entre años, aunque Canai, Aurora, Carlota y Graciela tuvieron una proporción mayor en el año 2015, mientras que en L3 fue mayor en 2014. En 2014 los de mayor porcentaje fueron Milagros (9,4%), Calén (7,3%) y Rocío (6,6%); y en 2015 Calén (10,3%), Violeta (8,8%) y Aurora (7,5%).

En la fracción de 2,8-2,5 mm, la interacción  $A \times Ge$  fue significativa, algunos genotipos tuvieron valores mayores en 2014, tal es el caso de L3, L4, L6, Maja, Marita y Rocío; mientras que otros en 2015, como Canai, Maná, Aurora y Graciela. Los genotipos destacados en 2014 fueron L2 (18,74%), L5 (18,23%) y Rocío (13,5); y en 2015 L2 (25,92%), L5 (24,98%) y Violeta (13,74%).

En la fracción entre 2,5-2,2 mm, 7 de los genotipos tuvieron mayores porcentajes en 2014, entre ellos L3, L7, Calén, Maja, Cristal, Marita y Violeta; y 2 tuvieron mayores en 2015 Maná y Aurora. En 2014 se destacaron por sus mayores porcentajes L5 (44,49%), L2 (41,71%) y Canai (40,68%); y en 2015 Carlota (42,37%), Canai (42,35%), L5 (38,57%) y L2 (36,88%) .

Por último, en la fracción menor a 2,2 mm, los genotipos L3, L6, Calén, Maja, Cristal, Marita, Rocío y Violeta en 2015, obtuvieron mayores porcentajes que en 2014, mientras que en Maná y Aurora ocurrió lo contrario. En ambos años fue la fracción de mayor preponderancia (60,5% en 2014 y 64,25% en 2015), encontrándose genotipos con la mayor parte de su proporción con granos menores a 2,2 mm. En 2014, Maná (92%), Aurora

(89,7%), Máxima (81,9%), y L7 (73%), mientras que en 2015 L3 (92,5%), Máxima (82,7%), L7 (81,6%), Marita (81,3%) y Maja (81%). Por el contrario, las líneas L2 y L5 se destacaron por sus bajos porcentajes en ambos años (L2 37,2% 2014 y 33,4% 2015; L5 35,8% 2014 y 34% 2015) (Figura 4.9 y Tabla 4.5).



**Figura 4.9:** Medias de porcentajes las fracciones > 2,8 mm; 2,8-2,5 mm; 2,5-2,2 mm; < 2,2 mm; de un ensayo de 20 genotipos de avena en dos años.

**Tabla 4.5:** Medias de porcentajes las fracciones > 2,8 mm; 2,8-2,5 mm; 2,5-2,2 mm; < 2,2 mm y diferencias significativas entre medias; de un ensayo de 20 genotipos de avena en dos años.

	% Superior a 2,8 mm				% 2,8-2,5 mm				% 2,5-2,2 mm				% Inferior a 2,2 mm			
	2014		2015		2014		2015		2014		2015		2014		2015	
	Media	Dif medias	Media	Dif medias	Media	Dif medias	Media	Dif medias	Media	Dif medias	Media	Dif medias	Media	Dif medias	Media	Dif medias
<b>Línea 1</b>	0,78	mnñ	1,41	Lmnñ	1,81	Nño	1,33	O	28,37	Defgh	24,18	Ghij	69,04	efg	73,08	cde
<b>Línea 2</b>	2,35	defghijk	3,77	Bcdefg	18,74	Abc	25,92	A	41,71	A	36,88	Abc	37,2	nñ	33,42	o
<b>Línea 3</b>	4,65	bcdefgh	0,87	Nñ	12,48	Cdef	1,5	Ño	29,16	Cdefg	5,2	O	53,71	hijklm	92,43	a
<b>Línea 4</b>	1,3	ijklmnñ	0,98	Klmnñ	7,89	Fghi	3,04	Mn	27,95	Defgh	26,92	Efgh	62,85	fghi	69,05	defg
<b>Línea 5</b>	1,44	ghijklmn	2,42	Defghijk	18,23	Abcd	24,98	A	44,49	A	38,57	Ab	35,85	ñ	34,04	o
<b>Línea 6</b>	5,7	abcd	4,1	Bcdef	23,6	Ab	9,33	Efgh	32,51	Bcde	25,36	Efghi	38,18	nño	61,2	ghij
<b>Línea 7</b>	1,89	efghijklm	2,6	Defghijkl	2,49	Mnñ	4,96	Jklm	18,28	Jkl	10,85	N	77,34	bcd	81,58	b
<b>Calén</b>	7,31	ab	10,32	Ab	17,71	Abcd	11,39	Cdefg	29,16	Cdefg	21,91	Hij	45,82	mn	56,38	hijkl
<b>Canai</b>	0,62	ñ	3,14	Defghijkl	4,07	Lm	9,76	Efgh	40,68	A	42,35	A	54,64	hijklm	44,74	mnñ
<b>Maja</b>	3,86	bcdefg	2,97	Cdefghi	11,31	Defg	3,78	Klm	31,42	Bcdef	12,2	Mn	53,4	ijklm	81,05	b
<b>Maná</b>	1,72	fghijklmn	3,36	Cdefghi	1,82	Nño	14,6	Bcde	4,46	O	31,03	Bcdefg	92	a	51,01	klm
<b>Aurora</b>	1,11	ijklmnñ	7,48	Ab	1,82	Nño	9,73	Efgh	7,34	Ñ	25,1	Efghi	89,73	a	57,7	hijk
<b>Carlota</b>	0,58	ñ	2,34	Efghijkl	9,59	Efgh	8,41	Fghi	35,77	Abcd	42,37	A	54,06	hijklm	46,88	lmn
<b>Cristal</b>	3,23	bcdefgh	3,4	Bcdefg	7,05	Hij	4,13	Jklm	29,26	Cdefg	19,09	Ijk	60,46	ghijk	73,38	cde
<b>Graciela</b>	0,98	klmnñ	2,81	Cdefghij	2,99	Lmn	6,92	Ghij	25,17	Efgh	26,93	Efgh	70,84	cdef	63,34	fgh
<b>Marita</b>	1,3	hijklmnñ	1,04	Klmnñ	5,98	Hijk	1,33	O	24,64	Fghi	16,31	Klm	68,06	efg	81,33	b
<b>Máxima</b>	1,8	efghijklmn	1,76	Ghijklmn	3,5	Klm	3,05	Mn	12,8	Mn	12,52	Mn	81,9	b	82,67	b
<b>Milagos</b>	9,36	a	5,19	Abcde	7,47	Ghij	6,47	Hij	31,35	Bcdef	27,01	Efgh	51,82	jklm	61,32	ghij
<b>Rocío</b>	6,56	abc	3,63	Bcdef	13,5	Cde	5,16	Ijkl	17,99	Jkl	13,64	Lmn	61,95	fghi	77,57	bc
<b>Violeta</b>	6,09	abc	8,77	Ab	9,91	Efgh	13,74	Cde	32,11	Bcde	14,72	Klmn	51,9	jklm	62,77	fghi

Para cada fracción letras diferentes muestran diferencias significativas a través de los tratamientos (*Años y Genotipos*), LSD  $p < 0,05$ .



#### 4.3.8- Correlación entre variables

Se realizaron correlaciones entre todas las variables evaluadas en el EG (Tabla 4.6).

**Tabla 4.6:** Coeficiente de correlación de Pearson entre variables de sanidad, rendimiento y calidad, en un ensayo comparativo de rendimiento con 20 genotipos de avena.

	Sev EC39	Sev EC60	Sev EC82	ABCPE	NP	NGP	PMG	Rend	% Car	PH	Prot	>2,8	2,8-2,5	2,5-2,2	<2,2	R.D	3 <sup>rios</sup>	2 <sup>rios</sup>	1 <sup>rios</sup>	
<b>Sev EC39</b>																				
<b>Sev EC60</b>	0,95**																			
<b>Sev EC82</b>	0,71**	0,76**																		
<b>ABCPE</b>	0,93**	0,96**	0,83**																	
<b>NP</b>	-0,01	-0,09	-0,03	-0,06																
<b>NGP</b>	-0,19	-0,23	-0,42**	-0,36*	-0,25															
<b>PMG</b>	-0,65**	-0,70**	-0,59**	-0,66**	0,17	-0,03														
<b>Rend</b>	-0,47**	-0,55**	-0,72**	-0,63**	0,28	0,50**	0,60**													
<b>% Car</b>	-0,26	-0,28	-0,35*	-0,37*	-0,01	0,23	0,25	0,43**												
<b>PH</b>	-0,79**	-0,82**	-0,71**	-0,80**	0,24	0,09	0,87**	0,62**	0,35*											
<b>Prot</b>	-0,09	-0,13	-0,21	-0,23	-0,07	0,20	0,10	0,25	0,43**	0,20										
<b>&gt;2,8</b>	0,01	0,04	0,18	0,12	0,14	-0,36*	0,16	-0,03	-0,39**	0,00	-0,16									
<b>2,8-2,5</b>	-0,10	-0,06	-0,29	-0,15	-0,02	0,02	0,37*	0,42**	0,25	0,29	0,27	0,40**								
<b>2,5-2,2</b>	-0,00	-0,03	-0,22	-0,12	0,09	0,27	0,33*	0,53**	0,53**	0,30*	0,40**	0,03	0,58**							
<b>&lt;2,2</b>	0,04	0,04	0,24	0,12	-0,07	-0,13	-0,39**	-0,52**	-0,39**	-0,32*	-0,35*	-0,34*	-0,85**	-0,90**						
<b>R.D</b>	-0,18	-0,19	-0,04	-0,11	-0,12	-0,12	-0,11	-0,25	-0,53**	-0,01	-0,31*	0,04	-0,34*	-0,64**	0,55**					
<b>3<sup>rios</sup></b>	-0,26	-0,30*	-0,13	-0,21	0,30*	-0,04	0,33*	0,22	-0,17	0,29	-0,26	0,33*	-0,05	0,01	-0,04	0,01				
<b>2<sup>rios</sup></b>	-0,05	-0,06	-0,15	-0,13	-0,31*	0,14	-0,11	-0,00	0,28	0,01	0,36**	-0,42**	0,03	-0,01	0,06	0,13	-0,86**			
<b>1<sup>rios</sup></b>	0,61**	0,67**	0,54**	0,65**	0,02	-0,19	-0,41**	-0,40**	-0,22	-0,56**	-0,21	0,20	0,04	-0,00	-0,04	-0,26	-0,23	-0,31*		

\*, P < 0.05; \*\*, P < 0.01.

Se hallaron correlaciones negativas significativas entre la severidad en los tres estadios evaluados y el ABCPE con el PMG, el PH y el rendimiento. Asimismo se encontraron correlaciones positivas entre PH con el PMG (0,87), con porcentaje de cariopses (0,35) y con el rendimiento (0,62); y correlaciones negativas entre porcentaje de cariopses con la severidad en EC82 (-0,35) y con ABCPE (-0,37), y positivas con el rendimiento (0,43). Además se encontró correlación positiva entre RD y la fracción <2,2 mm (0,55), y negativa entre RD y 2,5-2,2 mm (-0,64).

#### **4.3.9- Análisis de estabilidad**

De acuerdo con el modelo de ecovalencia de Wricke ( $W_i$ ), se realizó un ranking de estabilidad entre los 20 genotipos evaluados, de porcentaje de pepita, peso hectolitrico y resistencia al descascarado (Tabla 4.7).

**Tabla 4.7:** Valores medios, ecovalencia de Wricke ( $W_i$ ) y ranking, para porcentaje de pepita, peso hectolitrico y resistencia al descascarado, en dos años de ensayo comparativo de rendimiento con 20 genotipos de avena.

	Porcentaje de pepita			Peso Hectolitrico			Resistencia al descascarado		
	Media	$W_i$	Ranking	Media	$W_i$	Ranking	Media	$W_i$	Ranking
<b>Línea 1</b>	67,3	2,5	9	30,1	1,7	5	6,3	15,7	16
<b>Línea 2</b>	72,1	2,3	8	36,3	18,3	16	2,9	9,5	14
<b>Línea 3</b>	65,1	7,3	14	29,3	44,0	19	19,9	291,4	20
<b>Línea 4</b>	68,6	5,2	13	31,7	1,8	6	5,5	5,5	11
<b>Línea 5</b>	72,2	13,7	16	40,1	38,4	18	2,9	0,0	1
<b>Línea 6</b>	63,5	0,0	1	34,2	12,1	13	6,1	7,9	12
<b>Línea 7</b>	65,8	0,6	5	29,9	8,8	11	6,9	0,0	2
<b>Calen</b>	62,2	2,8	11	30,2	16,5	14	6,2	55,7	18
<b>Canai</b>	73,4	0,2	4	35,4	0,8	2	3,1	4,7	9
<b>Maja</b>	61,9	4,4	12	27,2	17,3	15	6,3	1,5	7
<b>Maná</b>	60,3	1,6	7	31,7	68,4	20	20,3	197,6	19
<b>Aurora</b>	65,6	0,6	6	24,8	1,8	7	7,9	0,2	4
<b>Carlota</b>	65,7	0,1	2	36,1	1,7	4	3,7	4,9	10
<b>Cristal</b>	64,2	13,9	17	32,2	0,0	1	6,3	8,9	13
<b>Graciela</b>	66,5	2,6	10	32,2	6,4	9	6,4	1,9	8
<b>Marita</b>	63,4	20,0	19	32,6	1,7	3	4,7	0,1	3
<b>Máxima</b>	59,5	0,1	3	30,0	7,8	10	27,7	10,2	15
<b>Milagros</b>	59,7	25,7	20	32,0	35,6	17	15,8	0,2	5
<b>Rocío</b>	64,9	15,0	18	31,8	9,5	12	11,7	0,5	6
<b>Violeta</b>	62,5	8,1	15	33,3	2,4	8	14,3	21,6	17
<i>Promedio</i>	65,2			32,1			9,2		

En el parámetro porcentaje de pepita, de los genotipos destacados, Canai (4) fue estable, L2 (8) medianamente estable y L5 (16) poco estable. Por su parte, L6 (1) y Carlota (2) fueron los más estables aunque exhibieron valores medios, seguidos por Máxima (3) que mostró valor bajo. Respecto a PH de los genotipos destacados, Canai (2) y Carlota (4) presentaron alta estabilidad, mientras que L2 (16) y L5 (18) fueron de los menos estables. Además Cristal (1) y Marita (3) obtuvieron valores medios y fueron estables.

Por último, de los genotipos distinguidos por sus bajos porcentajes sin descascarar L5 (1), L7 (2), y Marita (3) fueron estables, Canai (9) medianamente estable y L2 (14) poco estable. Además, Milagros (5) presentó estabilidad pero su porcentaje de granos sin descascarar fue alto.

#### **4.4- Discusión**

Los programas de mejoramiento han tenido entre sus objetivos la mejora en el rendimiento de forraje y grano, sanidad, resistencia a vuelco y desgane, comportamiento a frío, y en menor medida la calidad de grano. La calidad abarca aspectos morfológicos, físicos, bioquímicos e industriales, muchos de los cuales se encuentran muy relacionados. Los resultados de nuestro ensayo indican que el PMG fue un 33,4% mayor en 2015, incrementándose en la mayoría de los genotipos aunque las líneas L1, L3, L4, L6 y L7, mantuvieron su PMG constante en los dos años de ensayo. La diferencia entre años podría haber ocurrido porque 2014 fue un año propicio para enfermedades, principalmente *Pc* y los altos niveles de enfermedad alcanzados antes de EC60, con valores de severidad próximos a 100%, provocaron una disminución en el PMG. Se encontraron asociaciones negativas entre el PMG con la severidad en los tres estadios evaluados, y el ABCPE (-0,66), indicando que incrementos en los niveles de enfermedad provocaron disminuciones del PMG. El impacto de las enfermedades foliares sobre la disminución en el PMG ha sido documentada en avena (May *et al.*, 2014; Dietz *et al.*, 2016). Un factor adicional es que el ensayo sufrió vuelco en 2014, lo que habría afectado la tasa de crecimiento del cultivo por una menor eficiencia en la intercepción de radiación. En 2014 los genotipos destacados fueron L6 (24,3 g), Carlota (22,6 g), L5 (22,6 g) y L2 (21,5 g). En 2015 Carlota y L5 se mantuvieron como los de mayor PMG, obteniendo valores de 32,4 g y 28,9 g respectivamente, otros genotipos

destacados fueron Maná (28,9 g), Violeta (28,8 g), Canai (28,7 g), Marita (28,6 g), Milagros (27,3 g) y L2 (27,1 g).

Con respecto al PH, en 2015 los valores fueron significativamente superiores a los del 2014 (37,02 kg.h<sup>-1</sup> vs 27,09 kg.h<sup>-1</sup>), y sucedió en todos los genotipos, aunque en L3 y L5 la diferencia entre años no fue significativa. El PH es afectado por condiciones ambientales y culturales (Forsberg & Reeves, 1992; Doehlert & McMullen, 2000). Se encontraron correlaciones positivas de éste con el PMG (0,87) y con el rendimiento (0,62), y negativas con los parámetros de enfermedad evaluados (Sev EC39 (-0,79), Sev EC60 (-0,82), Sev EC82 (-0,71) y ABCPE (-0,80)). Bajo las condiciones de nuestro ensayo, ninguno de los genotipos alcanzó los 50 kg.h<sup>-1</sup> requeridos por la industria para el procesamiento. Doehlert *et al.* (2006) indicaron que el PH de una muestra de grano puede incrementarse 20 a 45% por despunte y pulido del grano. Esta mejora se podría dar en avenas con aristas, ya que la presencia de éstas o fragmentos de ellas incide negativamente en el PH. Por su parte, Wehrhahne (2009) señala que en condiciones de cosecha en gran escala, la regulación de la máquina cosechadora permite despuntar los granos en la trilla pudiendo aumentar el PH. Al igual que para PMG, los valores de PH obtenidos en Los Hornos fueron muy bajos. En 2014, L5 fue la de mayor PH obteniendo un valor de 39,55 kg.h<sup>-1</sup>, diferenciándose del resto de los genotipos. Le siguieron las líneas L2 y L6 (34,4 kg.h<sup>-1</sup> y 31,7 kg.h<sup>-1</sup> respectivamente) y las variedades Carlota y Canai (30,18 kg.h<sup>-1</sup> y 29,77 kg.h<sup>-1</sup> respectivamente). En 2015 los cultivares destacados fueron Maná (42,55 kg.h<sup>-1</sup>), Carlota (41,98 kg.h<sup>-1</sup>), Milagros (41,15 kg.h<sup>-1</sup>), Canai (40,95 kg.h<sup>-1</sup>) y L5 (40,72 kg.h<sup>-1</sup>). En el caso de Carlota, Canai y L5 se destacaron en ambos años. Martínez *et al.* (2010) evaluando 16 genotipos disponibles en el mercado argentino en la localidad de Cabildo, encontró interacción *A x Ge*, con valores promedios de 46,44 kg.h<sup>-1</sup> para 2004 y 44,67 kg.h<sup>-1</sup> para 2005. En el primer año, Calén y Cristal obtuvieron valores de 48,40 kg.h<sup>-1</sup> y 48,23 kg.h<sup>-1</sup> respectivamente, y junto a otros genotipos de antigua difusión se diferenciaron del resto de los genotipos, en tanto que en el segundo año, Canai y Milagros fueron las variedades que se diferenciaron del resto de los genotipos con 50,48 kg.h<sup>-1</sup> y 49,73 kg.h<sup>-1</sup>. Wehrhahne (2009), en un ensayo sembrado en Barrow con 10 genotipos de difusión en el mercado argentino encontró interacción *A x Ge*. El promedio fue 51,28 kg.h<sup>-1</sup> (2004) y 51,24 kg.h<sup>-1</sup> (2005), siendo Milagros el genotipo destacado en ambos años (53,45 kg.h<sup>-1</sup> y 53,75 kg.h<sup>-1</sup>), seguido por Cristal (52,07 kg.h<sup>-1</sup>) y Calén (52,75

kg.h<sup>-1</sup>) en 2004, y en 2005 por Cristal (52,53 kg.h<sup>-1</sup>) y Canai (51,58 kg.h<sup>-1</sup>). En los resultados del ECR en Barrow en la campaña 2012-2013 se destacaron Carlota con 55 kg.h<sup>-1</sup>, Calén 54,55 kg.h<sup>-1</sup> y Violeta 54,35 kg.h<sup>-1</sup> (Wehrhahne & Storm, 2013). En el ECR de 2013-2014 Carlota (52,70 kg.h<sup>-1</sup>) y Calén (52,25 kg.h<sup>-1</sup>) fueron las dos variedades con mayor PH, seguidas por Milagros, Cristal y Violeta, todas con valores superiores a 50 kg.h<sup>-1</sup> (Wehrhahne & Storm, 2014).

La industria alimenticia utiliza el cariopse en el procesamiento de la avena, es por ello que la relación cariopse/grano entero, proporciona una estimación más precisa del valor económico del grano, aunque a diferencia del PH es una determinación de difícil medición (Doehlert *et al.*, 1999; Hall *et al.*, 2003). Se hallaron correlaciones negativas del porcentaje de cariopses con la severidad en EC82 (-0,35) y con ABCPE (-0,37), y positivas con el rendimiento (0,43). Además se correlacionó con el PH (0,35) y con el desarrollo de grano. Varios estudios han indicado una correlación significativa entre PH y el porcentaje de cariopses (Pomeranz *et al.*, 1979; Doehlert *et al.*, 1999). Sin embargo, Wehrhahne (2009) no halló correlación significativa para estos parámetros en genotipos argentinos. La correlación entre el porcentaje de cariopses y la fracción menor a 2,2 mm negativa (-0,39), mientras que con la fracción de 2,5-2,2 mm fue positiva (0,53). Estos resultados sugieren que granos de mayor tamaño presentan mayor porcentaje de cariopses. Por esta razón se explicaría la interacción *A x Ge*. L1, L3, L5, Marita y Violeta presentaron mayores valores en 2014 respecto a 2015, lo cual se asoció con una mayor proporción de la fracción 2,5-2,2 mm en ese año que en 2015. Otros genotipos como Maja, Cristal, Graciela, Milagros y Rocío, obtuvieron mayor porcentaje de cariopses en 2015, debido a un mejor llenado de granos como resultado de un menor nivel de severidad. Sin embargo, la mejora en el llenado de grano no fue suficiente para aumentar la proporción de la fracción 2,5-2,2 mm. No obstante, es probable que en 2014 por el gran nivel de enfermedad la fracción menor a 2,2 mm haya incluido granos con un tamaño claramente menor a 2,2 mm, y que a pesar del mejor llenado de 2015 los granos de dicha fracción no aumentaron su tamaño significativamente como para cambiar a la fracción de mayor tamaño, pero el efecto sería el mismo (un incremento en el tamaño de los granos se ve asociado con un mayor porcentaje de cariopses). Brunava & Alsina (2015) sugieren que granos pequeños tienen alto porcentaje de cáscara. Sin embargo, Doehlert *et al.*, 2004 mencionan que granos pequeños tienen menores porcentajes de cáscara que granos grandes. Asimismo, la cantidad de granos terciarios

puede influir sobre el porcentaje de cariopse, ya que éstos compiten con los secundarios durante el llenado, tal es el caso de Marita (35,3% en 2015 vs 0% en 2014). En coincidencia con este resultado, Palagyi (1983) encontró que los genotipos con niveles más altos de granos terciarios tuvieron porcentajes más bajos de cariopses, sugiriendo que los granos terciarios compiten con los primarios y secundarios por asimilados ocasionando que los mismos se llenen inadecuadamente. Sin embargo, Doehlert *et al.* (2002), indicaron que la presencia de granos terciarios no estuvo asociada con mayores proporciones de granos de menor tamaño, ni con el porcentaje de cáscaras, por lo que estas asociaciones continúan siendo un tema de investigación. En 2014, los porcentajes de cariopses oscilaron entre 74,6 y 55,9%, y en 2015 entre 73,8 y 59,4%. Se destacaron los mismos genotipos en ambos años, en el primer año L5 alcanzó 74,6%, L2 73% y Canai 71,2%, no diferenciándose entre sí, mientras en 2015, Canai con 73,8% y L2 71,2%, se diferenciaron de L5 que se ubicó en tercer lugar con 69,7%. El contenido de cáscara mencionado en la literatura varía de 40,5 a 21% (Doehlert *et al.*, 2004; Peltonen-Sainio *et al.*, 2004; Zute *et al.*, 2010). Brunava & Alsina (2015) indicaron que el contenido de cáscara varía de 33 a 21,7%, dependiendo del genotipo, el año y el tamaño de grano. Valores de 74% de cariopse son sugeridos por Ganssmann & Vorwerck (1995) y entre 76,6 y 65,1% son citados para avenas argentinas por Fusé & Chidichimo (2001). Wehrhahne (2009), encontró diferencias entre genotipos utilizados en Argentina, con valores promedios de 76,5 a 70,5%, y los genotipos destacados fueron Bonaerense INTA Payé, Cristal y U16.

En el porcentaje de proteína se hallaron diferencias significativas para el tratamiento *Ge*, con valores de entre 11,9 y 8,1%. Los genotipos distinguidos fueron L2 (11,9%), L1 (11,6%), L6 (10,8%), L4 (10,7%), L3 (10,5%) y Violeta (10,5%). Zhou *et al.* (1998) señalaron porcentajes de entre 12 y 10% de proteína en avena. Biel *et al.* (2014) mencionaron valores de 10,9 a 9,95% en avenas con cáscara, y de 14,8 a 12,97% en los mismos genotipos descascarados. Wehrhahne (2009) en un trabajo con 10 genotipos de avena y una fertilización a la siembra con 200 kg.ha<sup>-1</sup> de fosfato diamónico reportó valores de entre 15,3 y 11,8%. La misma autora en el ECR en 2012 obtuvo valores de entre 15,9 a 11,5% (Wehrhahne & Storm, 2013) y en el ECR 2013 de entre 14,5 a 13,3% (Wehrhahne & Storm, 2014). Martínez (2010) encontró valores algo menores desde 13,6 a 8,4%. Los valores de proteínas encontrados pueden resultar bajos al compararlos con otros trabajos, y esto podría explicarse por la suma de varios

factores. En primer lugar, el aporte de nitrógeno fue de ( $50 \text{ KgN.ha}^{-1}$ ) realizándose a la siembra. Es probable que las altas precipitaciones durante el periodo de cultivo causaran el lavado de nutrientes, dejando menor disponibilidad de N para el cultivo. Sumado a ello, el agregado de N en estadios tempranos tiene mayor efecto sobre la biomasa y el rendimiento diluyendo el contenido de proteína del grano. En este sentido, Welch & Young (1980) encontraron que la aplicación temprana (EC23) de N tuvo efectos significativos sobre el rendimiento pero no sobre la proteína, mientras que las aplicaciones tardías (EC50) tuvieron efecto sobre la proteína pero no sobre el rendimiento. Correlaciones negativas entre rendimiento y concentración de proteína han sido documentadas en trigo (Oury & Godin, 2007). Un mayor contenido proteico está relacionado con un menor rendimiento (Welch, 2011; Redaelli *et al.*, 2015). Por último, el alto nivel de severidad ocasionada por roya de la hoja podría haber tenido efectos negativos sobre la proteína. La retención de asimilados en pústulas y hojas infectadas ante infecciones de patógenos biotróficos ha sido ampliamente documentada en trigo y cebada (Crowdy & Manners, 1971; Ahmad *et al.*, 1982). Sumado a esto, Lucas (1998) reportó que roya de la hoja en trigo provoca disturbios en el balance de nutrientes de la planta mediante el daño fisiológico que produce en las hojas, pudiendo generar reducciones tanto en la fotosíntesis como en removilización de asimilados como azúcares y aminoácidos. Singleton *et al.* (1979) investigando 12 genotipos con diferente resistencia a roya de la hoja, encontró en promedio una disminución de 1,1% de proteína en un año de severa infección y 0,4% en uno de moderada infección, siendo significativamente mayor en los cultivares más susceptibles. Además, se encontró asociación positiva entre porcentaje de proteína y % Car (0,43), indicando que aumentos en el porcentaje de cariopses incrementan la cantidad de proteína. Youngs (1972) determinó que el porcentaje de proteínas de las cáscaras fue casi constante (variando entre 1,4 y 1,9%) y mucho menor que el contenido proteico del cariopse (que varió entre 13,8 y 22,5%), por lo tanto la concentración de proteína estará influenciada por el porcentaje de cariopses.

En avena los granos son provenientes de espiguillas multifloras, pudiendo contener uno, dos o tres granos, por lo cual el tamaño no es uniforme. Las espiguillas contienen típicamente dos granos, siendo el primario significativamente más grande que el secundario (Doehlert *et al.*, 2002, 2005). En 2014, el porcentaje de granos primarios fue superior al del 2015 (13,7 vs 6,3%), asociado a las condiciones adversas durante el

cultivo (enfermedad, vuelco, etc.) que provocaron el aborto de muchos granos. En este sentido se encontró asociación positiva entre el porcentaje de granos primarios y el ABCPE (0,65) y negativa con el rendimiento (-0,40). Para granos secundarios el porcentaje no varió significativamente entre años en la mayoría de los genotipos, a excepción de Marita y Milagros que disminuyeron sus porcentajes en 2015, debido al aumento en el porcentaje de granos terciarios ocurrido ese mismo año. En 2014 los genotipos destacados fueron las líneas L5 (94,3%), L3 (92,7%), L2 (89,4%), L6 (86,8%), y las variedades Maná (92,3%) y Máxima (87,8%). En 2015 los mayores porcentajes fueron para L5 (95,5%), L1 (95,1%), Máxima (92,8%), Aurora (92,4%) y L3 (92,2%) entre otras. Estos genotipos presentaron cierta estabilidad para este carácter lo que resulta interesante por asociarse directamente con la uniformidad. Por último, el porcentaje de granos terciarios fue mayor en 2015 (13,3% vs. 5,1%), aunque la interacción se da porque algunos genotipos incrementaron su porcentaje respecto a 2014, mientras que otros no lo hicieron. Además, las variedades Calén y Milagros tuvieron altos porcentajes de granos terciarios en ambos años, lo que indicaría que se trata de una característica de estos cultivares. Trabajos previos han identificado genotipos con tendencia a formar espiguillas con granos terciarios (Doehlert *et al.*, 2004; Doehlert *et al.*, 2008; Brunava & Alsina, 2015). En el primer año de ensayo, los genotipos que presentaron mayor número de granos terciarios fueron Calén, Milagros y Canai con 39,4%, 26,1% y 22% respectivamente, y en el segundo año Milagros (43,2%), Marita (35,3%), Calén (33,5%) y Maja (32,1%). Las mejores condiciones en este año permitieron que en las espiguillas cuaje un tercer grano, lo que manifiesta que este carácter se encuentra fuertemente influenciado por el ambiente.

El desarrollo del grano es un importante parámetro para la industria del procesamiento, ya que generalmente previo al descascarado se produce la separación por tamaño. Se han documentado variaciones genotípicas y ambientales en el tamaño del grano (Doehlert *et al.*, 2002, 2004; Brunava & Alsina, 2015). El tamaño, largo y uniformidad del grano depende de si proviene de un grano primario, secundario o terciario, de la posición en la panoja, de factores ambientales y de manejo (condiciones durante el llenado, rendimiento, adversidades, etc). En nuestro ensayo la fracción de muestra mayor a 2,8 mm es baja, y la interacción se explica porque en la mayoría de los genotipos no hubo diferencias entre años, sin embargo en Canai, Aurora, Carlota y Graciela se encontró una proporción mayor en el año 2015 comparado con 2014,



mientras que en L3 el % fue mayor en 2014. En 2014 los de mayor porcentaje fueron Milagros (9,4%), Calén (7,3%) y Rocío (6,6%), y en 2015 Calén (10,3%), Violeta (8,8%) y Aurora (7,5%). También en la fracción 2,8-2,5 mm la interacción  $A \times Ge$  fue significativa. Algunos genotipos tuvieron valores mayores en 2014, tal es el caso de L3, L4, L6, Maja, Marita y Rocío; mientras que otros en 2015, como Canai, Maná, Aurora y Graciela. Los genotipos destacados en 2014 fueron L2 (18,74%), L5 (18,23%) y Rocío (13,5); y en 2015 L2 (25,92%), L5 (24,98%) y Violeta (13,74%). En la fracción 2,5-2,2 mm, 7 de los genotipos tuvieron mayores porcentajes en 2014, entre ellos L3, L7, Calén, Maja, Cristal, Marita y Violeta; y 2 tuvieron mayores en 2015 Maná y Aurora. En 2014 se destacaron por sus mayores porcentajes L5 (44,49%), L2 (41,71%) y Canai (40,68%); y en 2015 Carlota (42,37%), Canai (42,35%), L5 (38,57%) y L2 (36,88%). El grado de asociación entre esta fracción y parámetros como el PMG (0,33), PH (0,30) y porcentaje de cariopse (0,53) fue significativo. Finalmente en la fracción menor a 2,2 mm, los genotipos L3, L6, Calén, Maja, Cristal, Marita, Rocío y Violeta en 2015 obtuvieron mayores porcentajes que en 2014, mientras que en Maná y Aurora ocurrió lo contrario. En ambos años fue la fracción de mayor preponderancia (60,5% en 2014 y 64,2% en 2015), encontrándose genotipos con la mayor parte de su proporción con granos menores a 2,2 mm. En 2014, Maná (92%), Aurora (89,7%), Máxima (81,9%), y L7 (73%), mientras que en 2015 L3 (92,5%), Máxima (82,7%), L7 (81,6%), Marita (81,3%) y Maja (81%). Por el contrario, las líneas L2 y L5 se destacaron por sus bajos porcentajes en ambos años (L2 37,2% 2014 y 33,4% 2015; L5 35,8% 2014 y 34% 2015).

Los cultivares que poseen dificultad en la separación de las cáscaras provocan inconvenientes cuando la avena debe descascararse para su empleo en la elaboración de alimentos. La facilidad de pelado de los granos mejoraría ese proceso industrial y disminuiría su costo, ya que los mismos deberán permanecer menos tiempo en el proceso de descascarado. Se encontró correlación positiva entre RD y la fracción <2,2 mm (0,55), y negativa entre RD y 2,5-2,2 mm (-0,64). Por lo tanto, el tamaño de grano es un factor importante, ya que el sistema de descascarado es por impacto. Granos pequeños requieren mayor velocidad de impacto para obtener la misma eficiencia de descascarado que granos grandes (Ganssmann & Vorwerck, 1995; Doehlert *et al.*, 2004). Las variaciones en el porcentaje sin descascarar de algunos genotipos de año a año, fue resultado de las variaciones en el tamaño de los granos de los mismos,

situación que explicaría la interacción  $A \times Ge$ . Por ejemplo, aquellos genotipos en los que el porcentaje sin descascarar se incrementó en 2015, presentaron mayor proporción de granos menores a 2,2 mm que en 2014, y viceversa.

Los genotipos que presentaron mayor dificultad de descascarado fueron Maná y Máxima (27,8 y 23%) seguidos por Milagros y Rocío (13 y 9,8%) en 2014, mientras que en 2015 fueron L3 y Máxima (34,5 y 32,4%) seguidos por Violeta y Milagros (20 y 18,5%). Wehrhahne (2009) observó que Milagros tenía una cáscara fuerte que dificultaba su descascarado. En este sentido, resultados encontrados por Doehlert *et al.* (1999) sugieren que cáscaras más gruesas están asociadas a bajos porcentajes de cariopses y son más difíciles de remover.

# Capítulo 5

## Discusión general

---

### 5.1- Discusión general

La avena debido a sus múltiples usos ha sido técnica y económicamente una alternativa viable en los sistemas de producción de nuestro país. A nivel nacional el cultivo abarca una superficie aproximadamente de 1,3 millones de ha, la gran mayoría para uso forrajero (Ministerio de Agroindustria, 2017).

Tal como fue descrito en el *Capítulo 2*, la roya de la hoja ocasionada por *Pc*, es la enfermedad más diseminada y perjudicial a nivel mundial (Simons, 1985; Ohm & Shaner, 1992; Carson, 2008a). En nuestro país, se encuentra distribuida en la mayor parte de la zona cerealera y aparece todos los años. Numerosos trabajos documentan su aparición en Paraná, Entre Ríos (Di Nucci & Formento, 2008, 2009; Di Nucci *et al.*, 2012, 2013, 2015), y en Barrow, Buenos Aires (Wehrhahne, 2010; Storm & Wehrhahne, 2013; Wehrhahne & Storm, 2014). Las pérdidas provocadas pueden llegar al 32% de la materia seca y a un 26% en producción de grano (Pérez Fernández & Molas, 2000). Es una enfermedad foliar que se observa durante el otoño, coincidiendo con el período de aprovechamiento como forraje y durante la primavera afectando las avenas destinadas a la producción de grano. El uso de variedades resistentes es el método más económico y efectivo para el manejo de la enfermedad. En Argentina, se ha trabajado intensamente en la creación de cultivares resistentes. La base de la resistencia de los cultivares difundidos, es aportada básicamente por genes de resistencia vertical, en virtud de su fácil incorporación y selección de las progenies segregantes. Los genes *Pc38*, *Pc39*, *Pc50* y *Pc51* se encuentran presentes en el germoplasma actualmente difundido e individualmente o en conjunto pueden brindar resistencia a los cultivares que los posean (Antonelli, 1995; Campos *et al.*, 2008). Sin embargo, la principal limitante que presenta este tipo de resistencia es su baja durabilidad (Chong & Kolmer, 1993). En general, la resistencia determinada por uno o pocos genes puede ser superada por nuevas razas patógenas que surgen por mutación o que emigran de otras localidades, y luego aumentan en frecuencia debido a la fuerte presión de selección por el uso de genotipos con estos genes en grandes áreas (Harder & Haber, 1992). Nuevas fuentes de

resistencia llegan a ser inefectivas rápidamente debido a los cambios de virulencia en el patógeno (Leonard, 2003; Chong & Zegeye, 2004).

Por eso el primer objetivo fue caracterizar la población del patógeno y conocer el grado de virulencia sobre los genes de resistencia disponibles. La caracterización de una población de Pc brinda información acerca del tamaño y variabilidad de ésta, la virulencia sobre los genes de resistencia, la aparición de nuevos biotipos, etc., lo cual resulta fundamental para orientar los programas de mejoramiento en búsqueda de cultivares resistentes y/o establecer pautas de manejo que tiendan a disminuir las pérdidas que esta enfermedad ocasiona. La población de Pc en Los Hornos presentó una alta variabilidad para virulencia en ambos años, y la mayoría de los aislamientos recolectados fue una raza diferente. Asimismo, las razas demostraron virulencia sobre varios genes Pc. Esto concuerda con los trabajos de Martinelli *et al.* (1998); Leonard & Martinelli, (2005); Vieira *et al.* (2007); Campos *et al.* (2008), que afirman que las poblaciones de Pc son altamente complejas y especializadas, presentando una alta variabilidad genética para virulencia. En nuestro trabajo, la frecuencia de razas virulentas sobre los genes citados en los genotipos argentinos fue del 97% para *Pc51*, 66% para *Pc39*, 52% para *Pc50* y 48% para *Pc38* para el año 2015, y estos resultados revelan que se han incrementado significativamente respecto a los trabajos previos de Campos (2001); Campos *et al.* (2008). Además se observó que si bien la combinación de dos genes amplió la resistencia frente a la población de razas, la frecuencia de razas virulentas en la mayoría de las combinaciones continuó siendo alta. Esto coincide con Campos *et al.* (2008), que afirman que ninguna de las combinaciones entre los genes disponibles en el mercado sería efectiva buscando una estrategia de piramidización. Por último, se pudo observar que las frecuencias de virulencia sobre éstos cambiaron de año a año, lo que coincide con lo expresado por diversos autores que afirman que es un patógeno dinámico (Leonard, 2003; Campos *et al.*, 2008).

En nuestro país, el escaso número de genes de resistencia que se utilizan hace ya más de 25 años, ocasionó un cambio en la población de Pc, con la aparición de razas virulentas e incremento en las frecuencias de virulencia sobre éstos, haciendo que en la actualidad sean casi inefectivos. Los resultados encontrados en el presente trabajo permiten aceptar la hipótesis: **“La población de Pc de Los Hornos presenta una alta variabilidad para virulencia”**, y la hipótesis: **“Los genes Pc disponibles en el germoplasma argentino han sido quebrados, y la frecuencia de razas virulentas sobre éstos es alta”**.

El segundo objetivo fue postular la presencia de genes Pc en líneas de filiales avanzadas del plan de mejoramiento del Criadero de la UNLP y variedades comerciales de avena. Los resultados de la postulación de genes en los 20 genotipos de avena estudiados, indican la presencia de *Pc38*, *Pc39* y *Pc51*. Sin embargo, a diferencia de lo expresado por otros autores (Antonelli, 1995; Campos *et al.*, 2008) no se encontró el *Pc50*. Se postularon genotipos con dos genes, con genes individuales, y sin ninguno de estos genes. Los resultados del ensayo de postulación permiten aceptar la hipótesis: ***“Existen algunas líneas en filiales avanzadas del Criadero de la UNLP que tienen genes de resistencia en su germoplasma”***.

Por último, el tercer objetivo de este capítulo fue evaluar el comportamiento a campo de 20 genotipos de avena frente a Pc. Las líneas L1, L2, L5, L6 y las variedades Canai y Máxima fueron los genotipos que demostraron una mayor resistencia a campo, consistente a través de los dos años de ensayo en las dos localidades.

Las condiciones climáticas registradas en Los Hornos en 2014, fueron mas propicias para el desarrollo de la enfermedad que en el año 2015. Por ello, los valores de severidad en EC39 fueron 23,6% vs 1,0%, en EC60 de 68,9% vs 8,7%, en EC82 de 90,2% vs 59,1% y el ABCPE fue de 1.516 vs 540, en 2014 y 2015 respectivamente.

La resistencia de los genotipos destacados en Los Hornos durante 2014 y 2015 no podría asociarse exclusivamente a la presencia de genes Pc en su germoplasma, porque en la población recolectada en Los Hornos, las frecuencias de aislamientos virulentos encontrados sobre los genes Pc ha sido alta. Igualmente la presencia de algún gen Pc (principalmente *Pc38* que tiene menor frecuencia de aislamientos virulentos) disminuiría la cantidad de razas que pueden enfermar a los genotipos que los tienen. Por lo tanto, el buen comportamiento podría explicarse por la suma de los genes Pc postulados, de genes verticales que se expresen en planta adulta y de genes de resistencia horizontal. Lo descripto anteriormente permite aceptar la hipótesis: ***“Existen algunas líneas en filiales avanzadas del Criadero de la UNLP que presentan valores similares o menores de severidad a los de las mejores variedades comerciales”***, y rechazar la hipótesis: ***“La resistencia de los genotipos argentinos en planta adulta, está relacionado a la cantidad de genes Pc que tengan”***.

En el **Capítulo 3** se evaluó como primer objetivo la productividad de pasto y grano de las líneas del Criadero de la UNLP y de variedades comerciales. El segundo objetivo fue comparar los componentes y el rendimiento en grano de avena para doble

propósito y exclusivamente para grano. Los resultados obtenidos de los ECR, indican que las líneas L2, L5, L6 y L1 se diferenciaron en el primer corte, destacándose por su rápido crecimiento inicial, que les brinda un buen primer aprovechamiento. Además, la línea L7 fue la de mayor biomasa acumulada y al igual que L2, L5 y L1, formaron parte del grupo de genotipos que se distinguieron por su mayor producción de biomasa. La distribución de la curva de producción de forraje de los genotipos durante el ciclo productivo, y el aporte de éstos en cada corte, son información valiosa para el diseño de la cadena forrajera, y la ubicación estratégica de cada genotipo en la cadena. Los resultados mencionados permiten aceptar la hipótesis: ***“Existen algunas líneas en filiales avanzadas del Criadero de la UNLP presentan valores superiores a los de las mejores variedades comerciales, respecto a biomasa en los diferentes cortes y en el acumulado”***.

En el rendimiento de grano, las líneas L5 y L2 junto a Canai se destacaron en ambos años de ensayo. Las líneas presentaron una panoja grande que le permitió destacarse por el NGP y además con granos de buen peso. El rendimiento se asoció positivamente con el NGP (0,50) y con el PMG (0,60), mostrando que aumentos en el NGP y PMG ocasionaron incrementos del rendimiento.

El rendimiento de los cultivos doble propósito, tanto en producción de forraje como de grano, está limitado por las condiciones ambientales, fundamentalmente precipitación pluvial, temperatura y disponibilidad de nutrientes en el suelo. Diversos trabajos (Redmon *et al.*, 1995; Royo *et al.*, 1993, 1997; Francia *et al.*, 2006; Harrison *et al.*, 2012) mencionan reducciones en la producción de grano luego de cortes de biomasa, siendo de diferente magnitud según el cultivo, las condiciones climáticas, la fecha de siembra, el momento de pastoreo, entre otros. En nuestro país, Wehrhahne (2005), encontró rendimientos de entre 2.800 a 6.050 kg.ha<sup>-1</sup> en genotipos sembrados para grano y entre 1.000 a 2.800 kg.ha<sup>-1</sup> cuando los mismos fueron sembrados para EDP. Asimismo, Martínez (2010) halló que el rendimiento en grano resultó significativamente mayor cuando fue sembrado para grano solamente, respecto del grano obtenido en el EDP luego de dos cortes de forraje. Por su parte, Francia *et al.* (2006) demuestran que la utilización de cebada y avena como doble propósito ha tenido reducciones significativas en el rendimiento, comparados con los cultivos utilizados solo para grano. En un ensayo realizado en Foggia, Sur de Italia (41°23 N, 15°30 E), las disminuciones fueron de 13,5 y 28,9% para cebada, y de 2,6 y 38,5% para avena, luego de uno y dos cortes. En ese trabajo, los autores encontraron que la disminución en

el número de granos.m<sup>-2</sup> en avena luego de dos cortes de biomasa, fue la razón principal de la caída en el rendimiento (13.000 granos.m<sup>-2</sup> vs 8.571 granos.m<sup>-2</sup>). Royo *et al.* (1997) expresaron que el NGP fue el componente del rendimiento más afectado en otros cultivos doble propósito como cebada y triticale, después de los cortes de biomasa. Sin embargo, Bonachela *et al.* (1995) señalaron que las reducciones en el rendimiento de cebada y triticale doble propósito, se explicaron por disminuciones en ambos componentes del rendimiento (granos.m<sup>-2</sup> y PMG).

Bajo las condiciones de nuestro ensayo, se encontró una disminución del 10,2% en el rendimiento de grano del EDP (3.848 kg.ha<sup>-1</sup>) respecto al EG (4.287 kg.ha<sup>-1</sup>), explicadas por la caída en el NGP. La caída en el NGP del EDP de los diferentes genotipos varió desde un 16% en Graciela a 42% en L1. Esto es atribuido a que los macollos principales son los de mayor rendimiento individual y al ser decapitados la producción de grano deberá basarse exclusivamente en los macollos secundarios, que tendrán un periodo relativamente corto para alcanzar un desarrollo adecuado para la formación de espigas (Morris & Gardner, 1958). Los resultados del trabajo de Peralta *et al.* (2011) que evaluó trigo doble propósito muestran que los cortes afectaron negativamente la intercepción de la RFA incidente durante el período crítico para la determinación del número de granos en los tratamientos defoliados. Esos tratamientos presentaron una intercepción de la RFA incidente en promedio 50% menor a los tratamientos sin cortes de biomasa.

Como se mencionó en el capítulo 3, la generación de biomasa en avena está determinada por la cantidad de radiación incidente durante el periodo de crecimiento (Rinc), la eficiencia con que esa radiación es interceptada (determinada por el IAF y el coeficiente k) y la eficiencia del cultivo en convertir esa radiación interceptada en materia seca –EUR- (Evans *et al.*, 1978; Gardner, 1985; Johnson, 1987; Sinclair & Muchow, 1999; Salvagiotti & Miralles, 2008). Por otro lado, las enfermedades causadas por patógenos biotróficos (como Pc) producen profundos cambios en la fisiología de los hospedantes, ya que alteran el metabolismo de las plantas al parasitar células vivas utilizando como principal herramienta los haustorios que actúan en la movilización, adquisición y metabolismo de los nutrientes necesarios para el desarrollo del patógeno, jugando además un rol importante en la supresión de las defensas del hospedante (Voegelé & Magden, 2011). Su presencia en el cultivo puede producir reducciones en la acumulación de biomasa debido a una disminución del área y de la capacidad fotosintética de las hojas, un aumento de la tasa respiratoria, la transpiración, consumo

de asimilados y retención de nitrógeno por parte del patógeno, reducción en la turgencia celular y en la tasa de translocación de asimilados de los órganos afectados (McNew, 1960; Boote *et al.*, 1983; Robert *et al.*, 2004; Agrios, 2005b; Robert *et al.*, 2005; Serrago *et al.*, 2009). En nuestro ensayo se encontró una asociación negativa entre el rendimiento y severidad en los tres estadios evaluados, y entre rendimiento y ABCPE (-0,63), indicando que aumentos en el porcentaje de severidad o en los valores de ABCPE, disminuyen el rendimiento de grano. Coincidiendo con Pérez Fernández & Molas (2000), Dietz *et al.* (2016), en el capítulo 3 de la presente tesis se encontró que las enfermedades foliares redujeron el rendimiento de grano y sus componentes. El impacto de la enfermedad sobre el rendimiento fue mayor en el año 2014, siendo las pérdidas superiores en genotipos susceptibles. Dietz *et al.* (2016), indican que las enfermedades foliares en avena causadas por patógenos fúngicos (principalmente Pc) afectan la producción de biomasa explicadas principalmente por reducciones en el IAF (aumentos en la severidad debido a necrosis foliar o por muerte acelerada de macollos), afectando la tasa de crecimiento del cultivo y generando reducciones en los componentes del rendimiento. Lo anteriormente descripto permite aceptar la hipótesis: ***“Existen algunas líneas en filiales avanzadas del Criadero de la UNLP presentan valores superiores a los de las mejores variedades comerciales, respecto al rendimiento de grano”***, y la hipótesis: ***“Existen diferencias en el rendimiento y sus componentes cuando se utilizan como doble propósito o como grano exclusivamente”***.

En el análisis de estabilidad realizado para la interacción  $Ge \times A$ , se observó que de los genotipos destacados para rendimiento, Cristal y L5 fueron estables, L2 medianamente estable y Canai poco estable, lo que permite aceptar la hipótesis: ***“Existen algunas líneas en filiales avanzadas del Criadero de la UNLP que presentan estabilidad en el rendimiento”***

En el **Capítulo 4** se evaluó la calidad de genotipos de avena, la relación entre los parámetros que la determinan, la asociación con las enfermedades y el rendimiento.

Se hallaron correlaciones significativas entre el PMG, el PH, el % de Cariopses y el tamaño de grano. Las líneas L2 y L5 junto a Canai se destacaron en ambos años en PMG, PH, % de Cariopses y tamaño de grano, reafirmando la estrecha relación entre estas variables. En 2014, la mayoría de los parámetros evaluados, resultaron afectados por el alto nivel de enfermedad ocasionado por Pc. En este sentido, se encontraron asociaciones negativas entre ABCPE y PMG, ABCPE y PH, ABCPE y % Cariopses. En 2015, año en el que el nivel de enfermedad fue menor, las variedades Maná, Violeta y



Milagros, se sumaron al grupo de los genotipos destacados. Coincidiendo con estos resultados, Doehlert *et al.* (2001), encontraron que el principal factor que contribuyó a que la interacción ambiente  $\times$  genotipo sea significativa para rendimiento, PMG y porcentaje de cariopses, fue la diferencia en los niveles de infección por roya de la hoja entre los cultivares.

El peso de los granos está controlado principalmente por el balance entre la cantidad de destinos y la cantidad de fotoasimilados para llenarlos. La dimensión de la relación fuente/destino de un cultivo está gobernada por el ambiente, las características propias del cultivar y por el manejo del cultivo. Se encontraron asociaciones negativas entre el PMG y las tres severidades evaluadas, y entre el PMG y el ABCPE (-0,66), indicando que incrementos en los niveles de enfermedad provocaron disminuciones del PMG. El impacto de las enfermedades foliares sobre la disminución en el PMG ha sido documentada en avena (May *et al.* 2014; Dietz *et al.*, 2016). En este sentido May *et al.* (2014), indicaron que la roya de la hoja disminuye el PMG, el PH y el porcentaje de cariopses, siendo más importante en los cultivares susceptibles. Dietz *et al.* (2017) encontraron que el mayor nivel de enfermedades provocó disminuciones significativas en la duración del área foliar verde (DAFV), mostrando además efectos diferenciales según el genotipo evaluado. Pepler *et al.* (2006) señalan que las disminuciones del PMG se asocian a infecciones en pos-floración que provocan reducciones en la radiación absorbida por el cultivo y DAFV durante el llenado de los granos, afectando principalmente la tasa del llenado de granos y la duración en el llenado de los mismos en menor proporción.

En el porcentaje de proteína hubo diferencias significativas entre genotipos, con valores de entre 11,9 y 8,1%, siendo L2, L1, L6, L4, L3 y Violeta los genotipos distinguidos. Los resultados descriptos anteriormente permiten aceptar la hipótesis: ***“Algunas líneas en filiales avanzadas del Criadero de la UNLP presentan valores superiores a los de las mejores variedades comerciales, respecto a: PMG, PH, Porcentaje de cariopses y Porcentaje de proteína”***

La cantidad de granos por espiguilla es una característica morfológica, que tiene incidencia sobre los parámetros de calidad. En nuestro ensayo, se encontró asociación positiva entre el porcentaje de granos primarios y el ABCPE (0,65), indicando que incrementos en el nivel de enfermedad se correspondieron con aumentos en la cantidad de espiguillas unifloras, como consecuencia de un mayor aborto de granos. Las líneas L2, L3, L5 y L6 presentaron la mayoría de sus espiguillas con dos granos, lo que resulta

interesante por asociarse con la uniformidad. Además, se identificaron dos genotipos (Calén y Milagros) con tendencia a formar espiguillas triples. Trabajos realizados por Doehlert *et al.* (2004), Doehlert *et al.* (2008), y Brunava & Alsina (2015), mencionan genotipos con esta característica. Por último, este carácter se encuentra influenciado por el ambiente, ya que la mejora en las condiciones de llenado en 2015, permitieron el cuaje de un tercer grano en ciertos genotipos.

El desarrollo del grano es un importante parámetro para la industria del procesamiento, ya que generalmente previo al descascarado se separa por tamaño. Variaciones genotípicas y ambientales en el tamaño del grano han sido documentadas (Doehlert *et al.*, 2002, 2004; Brunava & Alsina, 2015). En nuestro ensayo, las fracciones mayores a 2,5 mm presentaron porcentajes muy bajos, por lo cual no han sido discutidas. Los genotipos con mayor proporción de granos entre 2,5-2,2 mm fueron L2, L5 y Canai. El grado de asociación encontrado entre esta fracción y parámetros como el PMG (0,33), PH (0,30) y porcentaje de cariopses (0,53) fue significativo, mostrando la íntima relación entre ellos. Finalmente, la fracción <2,2 mm fue la de mayor preponderancia en ambos años (60,5% en 2014 y 64,2% en 2015), encontrándose genotipos con la mayor parte de su proporción con granos menores a 2,2 mm.

La facilidad de pelado de los granos mejora el proceso industrial, porque los mismos deberán permanecer menos tiempo en el proceso de descascarado, y por lo tanto, disminuye los costos. Se encontró correlación positiva entre RD y la fracción <2,2 mm (0,55), y negativa entre RD y 2,5-2,2 mm (-0,64), indicando una estrecha relación entre la RD y el tamaño de grano, ya que el sistema de descascarado es por impacto. Un aumento en la fracción 2,5-2,2 mm disminuye el porcentaje de granos sin descascarar. Granos pequeños requieren mayor velocidad de impacto para obtener la misma eficiencia de descascarado que granos grandes (Ganssmann & Vorwerck, 1995; Doehlert *et al.*, 2004). No obstante, se halló un genotipo en el que la dureza de la cáscara ocasiono resistencia al descascarado. Doehlert *et al.* (1999) sugieren que cáscaras más gruesas están asociadas a bajos porcentajes de cariopses y son más difíciles de remover. Las líneas se destacaron por su facilidad de pelado. Éstos resultados permiten aceptar la hipótesis ***“Las líneas del Criadero de la UNLP (excepto la L3) se destacan por la facilidad de pelado, estando la resistencia al descascarado asociada al tamaño de grano”***, y la hipótesis: ***“Las enfermedades foliares afectan negativamente los parámetros de calidad”***.

Por último se acepta parcialmente la hipótesis “*Existen algunas líneas en filiales avanzadas del Criadero de la UNLP que presentan estabilidad para PH, porcentaje de cariopses y resistencia al descascarado*”, ya que esto se cumple en el caso de porcentaje de pepita (L6 fue estable pero no se destacó por su valor) y para resistencia al descascarado (L5 y L6 se destacaron por su facilidad de pelado y por su estabilidad), pero no para PH (L2 y L5 se destacaron por sus valores pero fueron poco estables).

## 5.2- Conclusiones

- Se detectó alta variabilidad para virulencia en ambos años de estudio.
- Los genes de resistencia a roya de la hoja citados en el germoplasma argentino han sido quebrados y la frecuencia de razas virulentas sobre ellos es alta, por lo cual resultan inefectivos frente a la mayoría de las razas.
- Las líneas del Criadero de la UNLP tienen en su germoplasma los genes *Pc39* y *Pc51*. La línea L6 tiene un gen *Pc* que no se pudo identificar, pero resultaría de interés por ser efectivo frente a una alta proporción de las razas identificadas. Los resultados demuestran la posible presencia de genes *Pc38*, *Pc39* y *Pc51* en los 20 genotipos de avena estudiados, pero no se encontró el *Pc50*.
- Las líneas L1, L2, L5, L6, y las variedades Canai y Máxima presentan una mayor resistencia a roya de la hoja, consistente a través de los dos años de ensayo en las dos localidades.
- La resistencia de los genotipos destacados en planta adulta es el resultado de genes horizontales o de genes verticales que se expresan en planta adulta.
- Las líneas L2, L5, L6 y L1 junto a Milagros y Carlota superan en producción de biomasa en el primer corte al resto de las variedades. La L7 es la que mayor biomasa acumula luego de los tres cortes y al igual que L2, L5 y L1 forman parte del grupo de genotipos con mayor producción de biomasa.
- Las líneas L5 y L2 junto a Canai se destacan por sus rendimientos en ambos años de ensayo.
- El rendimiento del ensayo doble propósito resulta menor al del ensayo de grano, fundamentado principalmente por una disminución en el NGP.
- La línea L5 mostró alta estabilidad para rendimiento.

- Las líneas L2 y L5 junto a Canai se destacan en ambos años de ensayo en PMG, PH, porcentaje de cariopses y tamaño de grano.
- En el porcentaje de proteína los genotipos distinguidos fueron L2, L1, L6, L4, L3 y Violeta.
- Las líneas L2, L3, L5 y L6 presentan mayoría de sus espiguillas con dos granos, lo que resulta interesante por asociarse con la uniformidad.
- La resistencia al descascarado es afectada por el tamaño de grano. Las líneas se destacan por su facilidad de pelado (excepto la L3).
- Existen asociaciones negativas entre ABCPE y PMG, ABCPE y PH, ABCPE y porcentaje de cariopses, que indican que aumentos en los niveles de enfermedad disminuyen los valores de PMG, PH y porcentaje de cariopses.
- Existen algunas líneas en filiales avanzadas del Criadero de la UNLP que presentan estabilidad para porcentaje de cariopses (L6) y resistencia al descascarado (L5 y L6).

### **5.3- Significancia de esta investigación y nuevos interrogantes**

El significado de este trabajo es que reúne varios aspectos que en su conjunto no habían sido abordados, de un cultivo que reviste gran importancia por su diversidad de usos y del que se dispone de escasa información a nivel regional y mundial. Históricamente, los esfuerzos dedicados al estudio de avena han sido significativamente menores a los dedicados a trigo y cebada. Además, la mayoría de la bibliografía disponible ha estudiado individualmente la resistencia frente a Pc, el rendimiento de pasto y grano, y la calidad de grano, y por lo tanto la información brindada por esta tesis resulta novedosa.

Este trabajo se realizó en el marco de un programa de mejoramiento, evaluándose líneas en filiales avanzadas según la resistencia a enfermedades (principalmente roya de la hoja), el rendimiento de forraje y grano, y calidad de grano, comparándolas con genotipos disponibles en el mercado nacional. La información obtenida de estos ECR permitió la inscripción de dos líneas (L2 y L5) en el Instituto Nacional de Semillas (INASE), ya que las mismas superan a las mejores variedades comerciales en varias características de importancia agronómica como rendimiento, sanidad y calidad. Los trámites de inscripción de estas líneas comenzaron en enero de 2017, y actualmente se encuentran en proceso de multiplicación.

Uno de los interrogantes que surgen a partir de los resultados de esta tesis, es corroborar si el buen comportamiento en las Líneas se debió a genes verticales que se expresan en planta adulta o genes de resistencia horizontal, pudiendo establecerse como el objetivo de un trabajo futuro. Otro aspecto a considerar sería la purificación de la línea L6, ya que presenta buena resistencia frente a la población de razas evaluadas, y posteriormente identificar esa resistencia (por postulación de genes o con la ayuda de marcadores moleculares). Para ello se podría cruzar a esta línea con materiales susceptibles y realizar el mapeo molecular de la F2. A este trabajo se lo podría complementar con marcadores genéticos para la identificación de genes Pc o QTLs. Considerando la importancia de la enfermedad, es prioritario avanzar en la obtención de cultivares que presenten resistencia a Pc. Para ello es necesaria la búsqueda de nuevas fuentes de resistencia, que brinden un adecuado comportamiento.

Si bien en este trabajo, se han detectado pérdidas de biomasa, rendimiento y calidad por Pc, los mecanismos ecofisiológicos por los cuales el patógeno ocasiona tales pérdidas no han sido suficientemente estudiados. En este último, capítulo se plantean posibles argumentos pero sin dudas resultaría interesante como futuro tema de investigación.

Por último, en lo que refiere a la calidad la determinación de beta-glucanos en genotipos argentinos podría resultar interesante, por sus reconocidos beneficios sobre la salud.

**Tabla anexo N° 1:** Reacciones en plántula de los cultivares difundidos frente a las diferentes razas identificadas en el año 2014. Reacciones superiores a 2+ se consideran susceptibles

	Pc 15-20-5	Pc 15-21-6	Pc 15-26-2	Pc 15-26-1	Pc 15-27-2	Pc 15-27-1	Pc 15-28-3	Pc 15-20-6	Pc 15-23-2	Pc 15-22-3	Pc 15-24-4
Suregrain	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Cristal	4	1++2N	1++2	1++2N	2	0;	2	4	4	4	4
Millauquen	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Pilar	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Máxima	0;	0	0	0	0;	;1	0	4	0	0;	0
Aurora	;	4	4	4	;	;	4	4	4	4	4
Rocío	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Majá	;	4	1N	2	0	33+	2	4	4	4	4
Calén	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Payé	;N	4	1+N	2	2	;N	1++2(1°h) 4 (2h)	4	4	33+	4
Canái	0	1++2N	2	0;	2	;	1++2N	2	2+	4	4
Boyera FA	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Tambera FA	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Pionera FA	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
INIA Tucana	0	0	0	0;	0	0	0;	4	0	0	0
INIA Polaris	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0
U-16	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0
Milagros	0	0	0	0;	0	0	0	4	0	0	0
Violeta	4	4	4	4	4	4	0	4	4	4	4
Graciela	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Marita	0	1++2N	2(1°h) 4 (2°h)	2(1°h) 4 (2°h)	2-	4	2	0;	0	4	4
Carlota	0	2	1+N (1°h) 3+4(2°h)	1+N (1°h) 3+4(2°h)	;1	0	2	0;	4	0	4
Maná	0;	0	0;	0	4	0	0	0	0	0	0
Yapa	0;	0	0;	0;	0;	0	0	0	0	0	0
Sureña	0	0	0	;1N	0	0	;N	0	0	4	4
Aiken	0	4	4	4	4	0	4	4	4	0	4
Julieta	0;	1++2N	2(1°h) 4 (2°h)	2(1°h) 4 (2°h)	0	0;	3+	0	4	0	33+

**Tabla anexo N° 2:** Respuesta de las líneas isogénicas portadoras de genes de resistencia frente a aislamientos de *Puccinia coronata* recolectados en Los Hornos, LP en 2015.

	Pc 16-59-4	Pc 16-66-5	Pc 16-61-3	Pc 16-74-1	Pc 16-73-2	Pc 16-60-2	Pc 16-63-1	Pc 16-60-1	Pc 16-71-1	Pc 16-64-4	Pc 16-58-1	Pc 16-61-6	Pc 16-62-4	Pc 16-67-5	PC 16-65-1	Pc 16-57-2
Pc35	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3+4	4	4	4	3
Pc38	4	4	4	3	3	3	3+4	33+	33+	4	4	33-	;N	2	11+	;N
Pc39	3	3+	33+	3	33-	3	3	3-	4	3+4	3	3+	4	3	4	3-
Pc48	;	;1	0;	0;	;N	;	;N	;N	;1	;1	;	0;	0;	;1	0;	;N1
Pc50	4	;	;	0;N	;N	;N	;	;N	;	;1	;	;	4	33+	4	2+3-
Pc51	4	3+4	4	4	3	33+	4	2++3	4	4	4	3	4	33+	4	4
Pc52	0;	;1	0;	;N1	;N	0;	;N	;N	;1	;	;	0	0	0;	0	;N
Pc64	;N1	;	0;	0;	;	;N	;N	;N	;N1	;1	1+	0;N	0;	;	;N	;N
Pc67	3+4	4	3	33+	3	3+	1++	1++2N	;	1++2N	1N	22+	4	3+4	2++	3-
	Pc 16-73-5	Pc 16-74-3	Pc 16-72-1	Pc 16-70-2	Pc 16-71-3	Pc 16-57-1	Pc 16-65-3	Pc 16-67-3	Pc 16-70-1	Pc 16-66-1	Pc 16-68-2	Pc 16-55-1	Pc 16-62-1	Pc 16-55-2	Pc 16-69-2	Pc 16-62-6
Pc35	33+	4	4	4	4	4	3	4	4	2++3	2	4	4	4	4	4
Pc38	;N	;1	1+1++	;N1	;N	;1	;	;N1	1+2	;N	;1	4	4	4	33+	4
Pc39	33+	2+	33+	3	3+4	;	;N	22+	4	22+	22+	3	;N	2	;	22+
Pc48	;N	;	;	;	;N	;1	;	;N	;	;N	;	4	2-	4	;N	0;
Pc50	3	33-	4	33+	4	3+4	33+	4	4	;N	;1	4	;N	4	4	4
Pc51	3+4	33+	4	3+4	4	4	33+	4	4	33+	3	3	4	4	4	3+4
Pc52	;	0;	0;	;N1	;N	;1	;	0	;	;N	;	3	2	2++N	;N	0;
Pc64	;	0;N	0;	;N1	;N	;1	33-	;N	;1	;N	;	4	1++	2	2-	0;
Pc67	22+	1+1++	2N	1++	22-	4	11++	1+2	1++	1+1++	1N	;N	4	2++N	4	33-

**Tabla Anexo N° 3:** Reacciones en plántula de los cultivares difundidos frente a las diferentes razas identificadas en el año 2015. Reacciones superiores a 2+ se consideran susceptibles

	Pc 16-59-4	Pc 16-66-5	Pc 16-61-3	Pc 16-74-1	Pc 16-73-2	Pc 16-60-2	Pc 16-63-1	Pc 16-60-1	Pc 16-71-1	Pc 16-64-4	Pc 16-58-1	Pc 16-61-6	Pc 16-62-4	Pc 16-67-5	PC 16-65-1	Pc 16-57-2
Lucía INTA	4	;	0;	;N	;N	;N	;N	;N	;	0;	4	3 3+	2	;N	;N	;1N
Cristal	4	4	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4	3	4	1N	3+
Millauquen	4	4	4	4	3 3+	3+4	3+4	3	4	4	4	4	3	3 3+	4	3 3+
Pilar	4	4	3 3+	3+	4	3+	3+	3	4	3 3+	4	4	3	3 3+	4	3
Máxima	4	4	4	3+	3+	3+4	4	4	4	4	3 3+	4	4	3	;N	;N
Aurora	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	1++	;N	1N	4	4	4
Rocío	4	4	4	4	3 3+	3	4	4	4	4	;1 N	4	3 3+	4	4	3+4
Majá	4	4	4	4	3	3+4	4	3 3+	4	4	;	;	0	3	1N	3-
Calén	3+4	4	4	3	4	3 3+	3 3+	3 3-	4	4	3 3+	;N	2	3 3+	4	3-
Payé	4	4	4	4	4	4	3 3+	3 3+	4	4	4	;N	1N	3 3+	1N	3+4
Canái	4	3 3+	4	3+	3 3+	3+	3 3+	3 3+	3 3+	4	4	4	2	3	;1N	X
Bv 52-04	4	;	0;	0;	0;	;	;N	;N	;	0;	;N1	;N	;N	0;	0;	;N
Florencia INTA	4	4	4	4	4	4	3+	3	4	4	4	;1N	1N	3 3+	4	3+4
Elizabet INTA	;N	1 1+N	;N	;N	;N	;	;N	;N	1 1+N	;N	;1N	2N	1N	;N	1+N	;N
INIA Tucana	4	4	4	4	3	4	3+4	4	4	4	3 3+	4	4	4	;1N	;N
INIA Polaris	4	4	4	4	4	3 3+	3	3-	4	4	3 3+	3+4	2	3	;N	1++2N
U-16	4	4	4	4	3 3+	4	3+4	3+4	4	4	3+4	4	4	3 3+	;N	;N
Milagros	4	4	4	4	3 3+	4	3 3+	3+	4	4	4	4	4	4	;N	;N
Violeta	4	4	4	4	3 3+	4	3+	4	4	4	2N +	4	1N	3	4	4
Graciela	3 3+	4	3	3	3 3+	4	3	3 3-	4	3	4	;N	;N	3 3-	4	4
Marita	3+	4	3+4	3	3+	4	3 3-	2+	4	3+4	1+	;N	;N	3	1	3
Carlota	3+4	3 3+	3+4	3	3 3+	3 3+	3 3+	3-	3 3+	3+4	4	;N	;N	3 3-	;N	3
Maná	4	3	3+4	4	3 3+	3+4	2N	4	3	3+4	3	3	2	3 3+	;N1	0;
Yapa	;N1	3	4	3+	4	3 3+	3 3+	4	3	4	3+	;1N	4	2	;N1	;N
Sureña	4	3 3+	4	3 3+	4	4	3 3-	3	3 3+	4	4	3 3+	2 2+	3 3-	;N1	1++
Aiken	4	3 3+	4	4	4	4	3	3-	3 3+	4	4	3+	3	4	4	3 3+
Julieta	4	3 3+	4	4	4	4	3	4	3 3+	4	;	;	0	3 3+	1+N	3 3+



	Pc 16-73-5	Pc 16-74-3	Pc 16-72-1	Pc 16-70-2	Pc 16-71-3	Pc 16-57-1	Pc 16-65-3	Pc 16-67-3	Pc 16-70-1	Pc 16-66-1	Pc 16-68-2	Pc 16-55-1	Pc 16-62-1	Pc 16-55-2	Pc 16-69-2	Pc 16-62-6
Lucía INTA	;1	22-	1	;N1	0;	;	;	;N	3	4	1+	;	;	;	;N1	;
Cristal	3+4	4	4	3+	;	4	3	33+	4	4	4	33+	4	4	4	4
Millauquen	4	3	4	3+4	33+	33+	33+	33+	4	4	4	3+	4	4	4	4
Pilar	4	3	4	3+	3+4	3	33-	4	4	4	33+	4	4	4	4	4
Máxima	;N	;	;N1	;N	;N	;	;	;N	1N	;N	;N	4	;1N	0	;1N	3+4
Aurora	4	4	4	4	4	;N	;N	4	33+	4	4	4	;N	4	4	4
Rocío	4	33+	4	4	33+	4	;N	33+	4	4	3+	4	4	3	4	4
Majá	33-	33+	4	33+	;N	33-	;N	3+	4	2N	3	4	;	0	2	3
Calén	33+	2+	4	3	3+	3	1	3+	4	2++N	33+	4	22+	4	4	3-
Payé	33+	33+	4	4	;N	3+4	3+	3+4	4	2++3	4	4	3	4	3	3+
Canai	33+	3-	4	4	;N	;	;	X	4	2++2	33+	4	;	4	;1	33+
Bv 52-04	;	0;	0;	0;	;N	;	;N	0;	;	;N	;	;	2+	;N	1N	0;
Florencia INTA	3+4	3	4	33-	4	4	1N	3+	4	3	33+	4	3	1N	;N	33+
Elizabet INTA	;	1	;	;1N	;N	33+	;	3	;	1N	2-	;N	22+	1N	2	;N
INIA Tucana	;N	;N	;N1	;N1	;N	;	;	;N	1+2	;1N	;N	4	;	0;	1+	3+4
INIA Polaris	;N	;N1	;N1	;N	;N	;	;	;N	1N	;1N	;N	4	33-	;	33-	4
U-16	;	0;	0;N	;N	;N	;	;	;N	1N	;N	;N	4	;	0;	2	4
Milagros	;	;N	;N1	;N	;N	;	;N	;N	;N	;1N	;N	4	;	0;	2-	4
Violeta	4	3+	4	4	4	4	2+	4	4	3+4	33+	4	2N+	4	4	4
Graciela	3+4	3+	3+4	4	4	;	;	4	4	3+4	4	4	;	4	4	33+
Marita	3+4	3+4	4	3+4	;N	;	0;	33+	4	3+4	4	4	;	3	2	3
Carlota	4	3+	4	3	;N	;	;N	4	4	33+	4	4	;	1N	2N	2++3
Maná	;N	;N	;N1	;N1	;N	;	;	;N	1+2	;1N	;N	4	4	4	4	33+
Yapa	;N	;N	;N	;N	;N	;N	;N	;N	;N	;N	;	4	;N	0;	2-	33+
Sureña	1N	33+	4	4	;N	22+	3+4	3+4	4	33+	3	4	3	4	3	3+4
Aiken	3+4	3+4	4	4	4	0;	0	3	4	3	4	4	;	4	4	33+
Julieta	3+	33+	4	4	;N	33-	0;	4	3+	3+4	3	4	;N	4	2	4

**Tabla anexo N°4:** Respuesta de las líneas isogénicas frente a una combinación de aislamientos de *Puccinia coronata*.

	Pc 16-66-5	Pc 16-60-1	Pc 16-58-1	Pc 16-62-4	Pc 16-73-5	Pc 16-74-3	Pc 16-72-1	Pc 16-65-3	Pc 16-68-2	Pc 16-62-1	Pc 16-4-2	Pc 16-19-1	Pc 14-19-5	Pc 14-17-2
Pc35	4	4	4	4	3 3+	4	4	3	2	4	3+ 4	4	4	4
Pc38	4	3 3+	4	;N	;N	;1	1+ 1++	;	;1	4	3+ 4	;N	;N	4
Pc39	3+	3-	3	4	3 3+	2+	3 3+	;N	2 2+	;N	2+	;	4	4
Pc48	;1	;N	;	0;	;N	;	;	;	;	2-	;	;N	0;	0
Pc50	;	;N	;	4	3	3 3-	4	3 3+	;1	;N	4	3 3+	4	4
Pc51	3+ 4	2++ 3	4	4	3+ 4	3 3+	4	3 3+	3	4	4	3+ 4	1++N	1N
Pc52	;1	;N	;	0	;	0;	0;	;	;	2	0	0;	0	0
Pc64	;	;N	1+	0;	;	0; N	0;	3 3-	;	1++	;N	0;	1N	0
Pc67	4	1++ 2N	1N	4	2 2+	1+ 1++	2N	1 1++	1N	4	1++ 2N	1++	4	4

**Tabla anexo N° 5:** Respuesta de los 20 genotipos frente a las razas inoculadas

	Genes postulados	Pc 16-66-5	Pc 16-60-1	Pc 16-58-1	Pc 16-62-4	Pc 16-73-5	Pc 16-74-3	Pc 16-72-1	Pc 16-65-3	Pc 16-68-2	Pc 16-62-1	Pc 16-4-2	Pc 16-19-1	Pc 14-19-5	Pc 14-17-2
Cristal		4	3	3	4	3+ 4	4	4	3	4	4	4	;N	4	;N
Rocío		4	4	3 3+	3+ 4	4	3 3+	4	;N	3+	4	4	4	3	4
Calén		4	3 3-	2	4	3 3+	2+	4	1	3 3+	2 2+	4	3 3+	3 3+	4
Violeta		4	4	1N	4	4	3+	4	2+	3 3+	2N+	4	4	4	4
Línea 3		3 3+	4	4	4	4	3+ 4	4	;N	3 3+	4	4	4	4	4
Maja	Pc 39	4	3 3+	0	4	3 3-	3 3+	4	;N	3	;	3+ 4	0;	3+ 4	;N
Aurora	Pc 39	4	4	1N	4	4	4	4	;N	4	;N	4	;N	;N	4
Graciela	Pc 39	4	3 3-	;N	4	3+ 4	3+	3+ 4	;	4	;	4	0;	;N	4
Línea 2	Pc 39	4	3	1N	4	3 3+	3 3+	3	0;	3	0;	3	0	0;	4
Línea 5	Pc 39	4	3+ 4	1++N	4	3	3 3+	3	;N	3-	;	4	0	;	4
Caná	Pc 39 + Pc 51	3 3+	3 3+	2	4	3 3+	3-	4	;	3 3+	;	3 3+	0;	;	;
Marita	Pc 39 + Pc 51	4	2+	;N	4	3+ 4	3+ 4	4	0;	4	;	3	0	0;	1
Carlota	Pc 39 + Pc 51	3 3+	3-	;N	4	4	3+	4	;N	4	;	3	;	0;	;N
Línea 1	Pc 39 + Pc 51	4	4	0	4	2 2-	2 2++	3 3-	0;	3	0;	4	X	1N	0
Línea 4	Pc 39 + Pc 51	3	4	;1N	4	3+	4	3	;N	2+ 3	;	4	0	0;	0;
Línea 7	Pc 39 + Pc 51	4	4	;	4	3+ 4	4	4	;N	3 3+	;	4	0	0;	0
Maná	Pc 38 + Pc 51	3	4	2	1N+	;N	;N	;N1	;	;N	4	3 3+	0;	;N	0
Milagros	Pc 38 + Pc 39	4	3+	4	1N+	;	;N	;N1	;N	;N	;	4	0	0;	4
Máxima	Pc 38 + Pc 39	4	4	4	2-	;N	;	;N1	;	;N	;1N	3+	0;	0;	4
Línea 6	¿?	3+(4p);1(5p)	4	;N	4	3 3+;	;/4	;/22+(1P)	;N	3/ 0;	2-	;/4	0;	0;	0/4 (1P)

## **Bibliografía.**

- Agrios, G. 2005a. Parasitism and disease development. In: G. Agrios (Ed.). Plant Pathology. Fifth Edition. Elsevier Academic Press. pp. 77-102.
- Agrios, G. 2005b. Effects of pathogens on plant physiological functions. In: G. Agrios (Ed.). Plant Pathology. Fifth Edition. Elsevier Academic Press. pp. 106-123.
- Ahmad, I., Owera, S.A., Farrar, J.F. & Whitbread, R. 1982. The distribution of five major nutrients in barley plants infected with brown rust. *Physiological Plant Pathology*, 21:335-346.
- Alam, S.M. & Adams, W.A. 1979. Effects of aluminum on nutrient composition and yield of oats. *Journal of Plant Nutrition*, 1:365-375.
- Anderson, J.W. & Chen, W.F. 1986. Cholesterol lowering properties of oats products. Chapter 11. In: F.H. Webster (Ed). *Oats: Chemistry and Technology*. American Association of cereals Chemists. pp. 309-333.
- Anderson, J.W., Baird, P., Davis, R.H., Ferreri, S., Knudtson, M., Koraym, A., Walters, V. & Williams, C.L. 2009. Health benefits of dietary fiber. *Nutrition reviews*, 67:188-205.
- Antonelli, E. 1995. Interacción hospedante patógeno en hongos biótrofos. Informe año 1993. Instituto de Genética INTA Castelar
- Arroquy, J.I. 2000. Producción de forraje y grano de trigo (*Triticum aestivum* L.): efecto de la fecha de siembra, la intensidad de defoliación y la variedad. Tesis de Magister en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, Argentina, 120 p.
- Barbera, P., Borrajo, C. I., Maidana, C. E., Zapata, P. J., & Ramirez, R. R. 2010. Comportamiento de cultivares de raigrás y avena en el departamento de Sauce, Corrientes, Argentina 2009. Engormix. com. 10 marzo de 2010.
- Barbosa Prestes, M.M., Federizzi, L.C., Milach, S.C., Martinelli, J.A. & Thome, G.H. 2006. Molecular mapping and identification of QTL's associated to oat crown rust partial resistance. *Euphytica*, 150:257-269.
- Bartley, B.G. & Weiss, M.G. 1951. Evaluation of physical factors affecting quality of oat varieties from Bond parentage. *Agronomy Journal*, 43:22-25.
- Bechtel, D.B. & Pomeranz, Y. 1981. Ultrastructure and cytochemistry of mature oat (*Avena sativa* L.) endosperm. The aleurone layer and starchy endosperm. *Cereal Chemistry*, 58:61-69.
- Beratto, M.E. & Rivas, P.R. 2003. Calidad del grano de avena: Características y Parámetros de Comercialización. Chile. pp. 9.

- Biel, W., Jacyno, E. & Kawecka, M. 2014. Chemical composition of hulled, dehulled and naked oat grains. *South African Journal of Animal Science*, 44:189-197.
- Boote, K.J., Jones, J.W., Mishoe, J.W. & Berger, R.D. 1983. Coupling pests to crop growth simulators to predict yield reductions. *Phytopathology*, 73:1581-1587.
- Bonachela, S., Orgaz, F. & Fereres, E., 1995. Winter cereals grown for grain and for the dual-purpose of forage plus grain. *Field Crop Research*, 44:1-11.
- Browning, J.A. 1980. Genetic protective mechanism of plant-pathogen populations: their coevolution and use in breeding for resistance. In: M.K. Harris (Ed.). *Biology and Breeding for resistance to arthropods and pathogens in agricultural plants*. pp. 52-75.
- Brunava, L., & Alsiņa, I. 2015. Common oat (*Avena sativa* L.) husk content depending on genotype and grain size. In Annual 21st International Scientific Conference: "Research for Rural Development" Volume 1, Jelgava, Latvia, 13-15 May 2015. pp. 13-18.
- Cabral, A. & Park, R. 2014. Seedling resistance to *Puccinia coronata* f. sp. *avenae* in *Avena strigosa*, *A. barbata* and *A. sativa*. *Euphytica*, 196:385-395.
- Campos, P. 2001. Caracterización de aislamientos de roya de la hoja (*Puccinia coronata avenae*) y del tallo de avena (*Puccinia graminis avenae*) en el SO de Bs. As. V Congreso Nacional de trigo y III Simposio nacional de cereales de siembra otoño-invernal. Carlos Paz. pp. 3-4.
- Campos, P., Gimenes, F., Tomaso, J. & Brach, A. 2008. Caracterización de la población patógena de *Puccinia coronata* (Roya de la hoja de la avena), en las campañas 2004-05-06 y comportamiento de cultivares frente al patógeno. VII Congreso Nacional de Trigo. V Simposio Nacional de Cereales de Siembra Otoño-Invernal. I Encuentro del MERCOSUR. Santa Rosa, La Pampa. 2,3 y 4 de Julio. pp. SO4.
- Carmona, M., Reis Melo, E & Cortese, P. 2000. Royas del trigo: síntomas, epidemiología y estrategias de control. 21pp.
- Carson, M.L. 2008a. Oat Crown Rust. Disponible en: <https://www.ars.usda.gov/midwest-area/stpaul/cereal-disease-lab/docs/cereal-rusts/oat-crown-rust/>. Última visita: 14/09/2017.
- Carson, M.L. 2008b. Virulence frequencies in oat crown rust in the United States from 2001 through 2005. *Plant Disease*, 92:379-384.
- Carson, M.L. 2009. Broad-spectrum resistance to crown rust, *Puccinia coronata* f. sp. *avenae*, in accessions of the tetraploid slender oat, *Avena barbata*. *Plant Disease*, 93:363-366.
- Carson, M.L. 2011. Virulence in oat crown rust (*Puccinia coronata* f. sp. *avenae*) in the United States from 2006 through 2009. *Plant Disease*, 95:1528-1534.

- Castelli, W.P., Garrison, R.J., Wilson, P.W.F., Abbott, R.D., Kalousdian, S. & Kannel, W.B. 1986. Incidence of coronary heart disease and lipoprotein cholesterol levels. *JAMA, the journal of the American Medical Association*, 256:2835-2838.
- Chaves, M.S., Martinelli, J.A. & Federizzi, L.C. 2004a. Resistência quantitativa à ferrugem da folha em genótipos de aveia branca: I – Caracterização da reação em condições de campo. *Fitopatologia Brasileira*, 29:39-46.
- Chaves, M.S., Martinelli, J.A. & Federizzi, L.C. 2004b. Resistência quantitativa à ferrugem da folha em genótipos de aveia branca: II – Avaliação de Componentes de Resistência. *Fitopatologia Brasileira*, 29:47-55.
- Chong, J. 1996. Virulence and pathotypic diversity of *Puccinia coronata* on oat and Buckthorn in Manitoba, Canada, during 1986-1995. *Proc. of the IX Europ. and Medit. Cereal Rust and Powdery Mildew Conf., Netherlands*. pp. 98-100.
- Chong, J. 2000. Inheritance of resistance to two *Puccinia coronata* isolates in a partial resistant oat line MN841801. *Acta Phytopathology Entomology Hung*, 35:37-40.
- Chong, J. & Aung, T. 1996. Interaction of the crown rust resistance gene *Pc94* with several *Pc* genes. *Proc. of the IX Europ. and Medit. Cereal Rust and Powdery Mildew Conference, Netherlands*. pp. 172-175.
- Chong, J. & Kolmer, J.A. 1993. Distribution and virulence of *Puccinia coronata* f. sp. *avenae* in Canada in 1992. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 16:64-67.
- Chong, J. & Seaman, W.L. 1994. Incidence and virulence of *Puccinia coronata* f. sp. *avenae* in Canada in 1993. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 16:335-340.
- Chong, J. & Zegeye, T. 2004. Physiologic specialization of *Puccinia coronata* f.sp. *avenae*, the cause of oat crown rust, in Canada from 1999 to 2001. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 26:97-108.
- Chong, J., Gruenke, J., Dueck, R., Mayert, W., Fetch, J. & McCartney, C. 2011. Virulence of *Puccinia coronata* f. sp. *avenae* in the Eastern Prairie Region of Canada during 2007-2009. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 33:77-87.
- Christenson, C.M. & Meronuck, R.A. 1986. Quality maintenance in stored grains and seeds. Univ. of Minnesota Press, Minneapolis. pp. 138.
- Cotrisa, 2017. Disponible en: <https://www.cotrisa.cl/mercado/avena/internacional/> . Última visita: 05/06/2017.
- Crowdy, S.H. & Manners, J.G. 1971. Microbial disease and plant productivity. In *Soc For Gen Microbiol 21st Symp Microbes And Biol Prod*.
- Cummins, G. & Hiratsuka, Y. 2003. Illustrated genera of rust fungi. American Phytopathological Society.

- Davidson, M.H., Dugan, L.D., Burns, J.H., Bova, J., Story, K. & Drennan, K.S. 1991. The hypocholesterolemic effects of  $\beta$ -D-glucan in oat meal and oat bran. *JAMA, the journal of the American Medical Association*, 265:1833-1839.
- Deane, D. & Commers. E. 1986. Oat cleaning and processing. Chapter 13. In: F.H. Webster (Ed.). *Oats: Chemistry and technology*. American Association of cereals Chemists. pp. 371-412.
- Di Nucci, E., Formento, N. & Díaz, M. 2002. Avena: Qué cultivares sembrar? Disponible en: <http://parana.inta.gov.ar/publicar/forrajes/manejo/avena.htm>. Última visita: 11/09/2017
- Di Nucci, E. & Formento, N. 2008. Avena: producción de forraje y comportamiento a la roya de la hoja. Disponible en: <http://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-avena-produccion-de-forraje-y-comportamiento-a-l.pdf> . Última visita: 11/09/2017.
- Di Nucci, E. & Formento, N. 2009. Comportamiento productivo y sanitario de la avena. Año 2008. Disponible en: <http://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-comportamiento-productivo-y-sanitario-de-la-avena.pdf> . Última visita: 11/09/2017.
- Di Nucci, E., Formento, N. & Velázquez, J. 2012. Producción de forraje y comportamiento a la Roya de la Hoja de cultivares de avena en Entre Ríos. Año 2011. Disponible en: [http://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-informe\\_avena.pdf](http://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-informe_avena.pdf) Última visita: 11/09/2017.
- Di Nucci, E., Formento, N. & Velázquez, J. 2013. Producción de forraje y comportamiento a la Roya de la Hoja de cultivares de avena en Entre Ríos. Año 2012. Disponible en: [http://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-avena\\_produccion\\_de\\_forraje\\_y\\_roya\\_de\\_hoja\\_2012.pdf](http://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-avena_produccion_de_forraje_y_roya_de_hoja_2012.pdf) . Última visita: 11/09/2017.
- Di Nucci, E., Formento, N. & Velázquez, J. 2015. Producción de forraje y comportamiento a la roya de la hoja de cultivares de avena en Entre Ríos. Año 2013. Disponible en: [http://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-avena\\_produccion\\_de\\_forraje\\_y\\_roya\\_de\\_hoja\\_2014.pdf](http://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-avena_produccion_de_forraje_y_roya_de_hoja_2014.pdf) . Última visita: 11/09/2017.
- Di Nucci, E., Formento, N. & Velázquez, J. 2016. Avena: producción de forraje y comportamiento a la roya de la hoja en el oeste de Entre Ríos. Año 2015. Disponible en: [https://inta.gov.ar/sites/default/files/inta\\_parana\\_serie\\_extension\\_78\\_di\\_nucci\\_43-49.pdf](https://inta.gov.ar/sites/default/files/inta_parana_serie_extension_78_di_nucci_43-49.pdf) . Última visita: 11/09/2017.
- Diaz Lago, J.E., Stuthman, D.D. & Abadie, T.E. 2002. Recurrent selection for partial resistance to crown rust in oat. *Crop science*, 42:1475-1482.
- Dietz, J.I., Schierenbeck, M., Martinez, N. & Simon, M.R. 2016. Aplicación de fungicidas y fertilización nitrogenada en avena: efectos sobre la generación de biomasa aérea y rendimiento. *Revista FAVE Sección Agrarias*. Disponible en:

[http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1666-77192016000200002](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1666-77192016000200002) . Última visita: 20/11/2017.

Dietz, J.I., Schierenbeck, M., Martinez, N. & Simon, M.R. 2017. Enfermedades foliares y fertilización nitrogenada en avena: efecto sobre la duración del área foliar verde, el rendimiento y sus componentes. En: Actas del III Workshop internacional de Ecofisiología de cultivos, Mar del Plata, Argentina, 28 y 29 de septiembre de 2017. Disponible en: [http://www.ecofisiovegetal.com.ar/sema\\_papers\\_ecofis/4.15%20RESDietz%20-%202.pdf](http://www.ecofisiovegetal.com.ar/sema_papers_ecofis/4.15%20RESDietz%20-%202.pdf). Última visita: 20/11/2017.

Doehlert, D.C. 2002. Quality improvement in oat. *Journal of Crop Production*, 5:165-189.

Doehlert, D.C., McMullen, M.S. & Baumann, R.R. 1999. Factors affecting groat percentage in oat. *Crop Science*, 39:1858-1865.

Doehlert, D.C. & McMullen, M.S. 2000. Genotypic and environmental effects on oat milling characteristics and groat hardness. *Cereal Chemistry*, 77:148-154.

Doehlert, D.C., McMullen, M.S. & Hammond, J.J. 2001. Genotypic and environment effects on grain yield and quality of oat grown in North Dakota. *Crop Science*, 41:1066-1072.

Doehlert, D.C., McMullen, M.S. & Riveland, N.R. 2002. Sources of variation in kernel size in oats. *Cereal Chemistry*, 79:528-534.

Doehlert, D.C., McMullen, M.S., Jannink, J.L., Panigrahi, S., Gu, H., & Riveland, N.R. 2004. Evaluation of oat kernel size uniformity. *Crop science*, 44:1178-1186.

Doehlert, D.C., McMullen, M.S., Jannink, J.L., Panigrahi, S., Gu, H. & Riveland, N.R. 2005. A bimodal model for oat kernel size distributions. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 85:317-326.

Doehlert, D.C., McMullen, M.S. & Jannink, J.L. 2006. Oat grain/groat size ratios: A physical basis for test weight. *Cereal Chemistry*, 83:114-118.

Doehlert, D.C. & Wiessenborn, D.P. 2007. Influence of physical grain characteristics on optimal rotor speed during impact dehulling. *Cereal Chemistry*, 84:294-300.

Doehlert, D.C. & McMullen, M.S. 2008. Oat grain density measurement by sand displacement and analysis of physical components of test weight. *Cereal chemistry*, 85:654-659.

Doehlert, D. C., Simsek, S., Thavarajah, D., Thavarajah, P. & Ohm, J. B. 2013. Detailed composition analyses of diverse oat genotype kernels grown in different environments in North Dakota. *Cereal Chemistry*, 90: 572-578.

Dunphy D.J., Holt, E.C. & McDaniel, M. E. 1984. Leaf área an dry matter accumulation of wheat following forage removal. *Agronomy Journal*, 76:871-872.

- Emmons, C.L., Peterson, D.M. & Paul, G.L. 1999. Antioxidant capacity of oat (*Avena sativa* L.) extracts. 2. In vitro antioxidant activity and contents of phenolic and tocol antioxidants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47:4894-4898.
- Eshed, N., Dinnor, A. 1980. Genetics of pathogenicity in *Puccinia coronata*: Pathogenic specialization at the host genus level. *Phytopathology*, 70:1042-1046.
- Evans L.T., Wardlaw I.F. & Fischer R.A. 1978. Wheat. In: L.T. Evans (Ed.). *Crop Physiology*. Cambridge University Press, GB. pp. 101-149
- Federizzi, L., Milach, S., Pacheco, M., Barbosa Neto, J. & Sereno, M. 1999. Melhoramento da Aveia. In: A. Borem (Ed). *Melhoramento das espécies cultivadas*. pp. 131-157.
- Fetch, J., Duguid, S., Brown, P., Chong, J., Fetch, T., Haber, S., Menzies, J., Ames, N., Noll, J., Aung, T. & Stadnyk, K. 2007. Leggett oat. *Canadian Journal of Plant Science*, 87:509-512.
- Fischer R.A. 2008. The importance of grain or kernel number in wheat: a reply to Sinclair and Jamieson. *Field Crops Research*, 105:15-21.
- Flor, H. 1956. The complementary genic systems in flax and flax rust. *Advances in Genetics*, 8:29-54.
- Floss, E.L., Haubert, S.A. & Zanatta, F.S. 2002. Rendimento corrigido pela qualidade industrial de grãos de aveia. En: *Resumen 22 Reuniao da Comissao Brasileira de Pesquisa de Aveia*. Passo Fundo (Brasil). pp. 553-558.
- Forjan, H. & Manso, L. 2015. El área ocupada por los cultivos de cosecha fina en la región. En *Actualización técnica en cultivos de cosecha fina 2014-2015*. Ed. INTA. pp. 6-8. Disponible en [http://www.maa.gba.gov.ar/2010/agricultura\\_ganaderia/archivos/INTA-MAA%20Barrow-CARPETA\\_COSECHA\\_FINA\\_2014-15](http://www.maa.gba.gov.ar/2010/agricultura_ganaderia/archivos/INTA-MAA%20Barrow-CARPETA_COSECHA_FINA_2014-15). Última visita: 10/05/2017.
- Forsberg, R.A. & Shands, H.L. 1989. Oat breeding. In J. Janick (Ed.). *Plant breeding reviews*, 6:167-207.
- Forsberg, R.A. & Reeves, D.L. 1992. Breeding oat cultivars for improved grain quality. In H.G. Marshall & M.E. Sorrells (Eds.). *Oat science and technology*. American Society of Agronomy and Crop Science Society of America, Madison, WI, USA. pp. 751-770.
- Forsberg, R.A., & Reeves, D.L. 1995. Agronomy of oats. In: R.W. Welch, (Ed). *The oat crop: production and utilization*. Chapman and Hall, London, UK. pp. 223-251.
- Francia, E., Pecchioni, N., Nicosia, O., Paoletta, G., Taibi, L., Franco, V. & Delogu, G. 2006. Dual-purpose barley and oat in a Mediterranean environment. *Field Crops Research*, 99:158-166.



- Fusé, C.B. & Chidichimo, H.O. 2001. Caracterización de cultivares de avena por su calidad. Actas V Congreso Nacional de Trigo y Tercer Simposio Nacional de Cereales de Siembra Otoño Invernal (Trabajo N° 7). Córdoba.
- Ganssmann, W. & Vorwerck, K. 1995. Oat milling, processing and storage. In: R.W. Welch, (Ed.). The Oat Crop: Production and Utilization. pp. 369-408.
- Gardner, F.P., Pearce, R.B. & Mitchel, R.L. 1985. Physiology of crop plants. Iowa State University Press. USA. pp. 327.
- Gifford, R.M., Thorne, J.H., Hitz, W.D. & Giaquinta, R.T. 1984. Crop productivity and photoassimilate partitioning. Science, 225:801-808.
- Gnanesh, B.N., McCartney, C.A., Eckstein, P.E., MitchellFetch, J.W., Menzies, J. & Beattie, A.D. 2015. Genetic analysis and molecular mapping of a Seedling Crown rust resistance gene in oat. Theoretical and Applied Genetics, 128:247-258.
- González Torres, F & Rojo Hernández, C. 2005. Prontuario de Agricultura. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación de España. pp.67.
- Hahn, M. 2000. The Rust Fungi. Cytology, Physiology and Molecular Biology of Infection. In: J.W. Kronstad (Ed.). Fungal Pathology. pp. 267-306.
- Hall, M.B., Tarr, A.W. & Karopoulos, M. 2003. Using digital imaging to estimate groat percent and milling yield in oats. Journal of Cereal Science, 37:343-348.
- Harder, D. & Haber, S. 1992. Oat diseases and pathologic techniques. In: H.G. Marshall & M.E. Sorrells (Eds). Oat Science and Technology. American Society of Agronomy Inc. and Crop Science Society of America Inc., Madison, WI. pp. 307-425
- Harder, D.E. 1975. Crown rust of oats in Canada in 1974. Canadian Plant Disease Survey, 55:63-65.
- Harrison, M.T., Evans, J.R., Dove, H. & Moore, A.D. 2012. Dual-purpose cereals: can the relative influences of Manágement and environment on crop recovery and grain yield be dissected?. Crop and Pasture Science, 62:930-946.
- Holland, J.B. & Munkvold, G.P. 2001. Genetic relationships of crown rust resistance, grain yield, test weight and seed weight in oat. Crop Science, 41:1041-1050.
- Hoover, R. & Vasanthan, T. 1992. Studies on isolation and characterization of starch from oat (*Avena Nuda*) grains. Carbohydrate Polymers, 19:285-297.
- INASE, 2017. Disponible en: <https://www.inase.gov.ar/consultaGestion/gestiones>. Última visita: 17/08/2017.
- Johnson, R. 1981. Durable resistance: Definition of genetic control, and attainment in plant breeding. Phytopathology, 71:567-568.
- Johnson, K.B. 1987. Defoliation, disease and growth: a reply. Phytopathology, 77: 1495-1497.

- Klopfenstein, C.F. & Hosney, R.C. 1987. Cholesterol-lowering effect of  $\beta$ -D-glucan enriched bread. *Nutrition reports international*, 36:1091-1098.
- Leonard, K.J. 2002. Oat lines with effective adult plant resistance to crown rust. *Plant Disease*, 86:593-598.
- Leonard, K.J. 2003. Regional frequencies of virulence in oat crown rust in the United States from 1990 through 2000. *Plant Disease*, 87:1301-1310.
- Leonard, K.J. 2007. Persistent virulence associations in sexual populations of *Puccinia coronata*. *Plant Pathology*, 56:35-45.
- Leonard, K.J., Anikster, Y. & Manisterski, J. 2004. Patterns of virulence in natural populations of *Puccinia coronata* on wild oat in Israel and in agricultural populations on cultivated oat in the United States. *Phytopathology*, 94:505-514.
- Leonard, K.J. & Martinelli, J.A. 2005. Virulence of oat crown rust in Brasil and Uruguay. *Plant Disease*, 89:802-808.
- Lim, W.J., Liang, Y.T., Seib, P.A. & Rao, C.S. 1992. Isolation of oat starch from oat flour. *Cereal Chemistry*, 69:233-236.
- Lucas, J.A. 1998. *Plant Pathology and Plant Pathogens*, 3rd edition. Oxford: Blackwell Science.
- MacArthur, L.A. & D'Appolonia, B.L. 1979. Comparison of oat and wheat carbohydrates. II. Starch. *Cereal Chemistry*, 56:458-461.
- Maddonni, G.A., Marban, L., Montaner, J.G., Quintero, C.E., Boschetti, N.G., Benavidez, R.A. & Conti, M.E. 1995. Mineralización del nitrógeno del suelo en el cultivo de trigo: comparaciones entre métodos de campo, laboratorio e invernáculo. *Ciencia del suelo, Revista de la Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo*, 13:52-59.
- Manisterski, J.A. & Wahl, I. 1995. Studies on oat crown rust in Israel. *Petria*, 5:50-54.
- Marshall, H.G. & Kolb, F.L. 1986. Relationships among grain quality indicators in oats. *Crop science*, 26:800-804.
- Martinelli, J. 2000. Major diseases on oats in South America. In: Proc.VI International Oat Conference, Canterbury, New Zealand, 2000. pp. 277-283.
- Martinelli, J., Chaves, M., Federizzi, L., Milach, S. & Almeida, J. 1998. Análise da virulência de alguns isolados de *Puccinia coronata avenae* no Sul do Brasil. In: Reunião da comissão brasileira de pesquisa de aveia. Instituto Agrônômico do Paraná, Londrina, Brazil.
- Martínez, M. 2010. Efecto del genotipo sobre la productividad y composición química de la biomasa forrajera y grano en avena (*Avena sativa* L.). Tesis presentada para optar al grado de Doctor en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina. pp 169.

- May, W.E., Ames, N., Irvine, R.B., Kutcher, H.R., Lafond, G.P. & Shirtliffe, S.J. 2014. Are fungicide applications to control Crown rust of oat beneficial? *Canadian Journal of Plant Science*, 94:911-922.
- McCallum, B., Fetch, T. & Chong, J. 2007. Cereal rust control in Canada. *Australian Journal of Agricultural Research*, 58:639-647.
- McDaniel, M.E. 1997. A look back at 20 years of oat research conducted in the Quaker Oats International oat improvement programme - a North American viewpoint. In M. Rebuffo & T. Abadie (Eds). *Third South American Oats Congress*, Colonia, Uruguay, 11 - 12 November 1997. pp. 1-2.
- McMullen, M., Doehlert, D. & Miller, J. 2005. Registration of 'HiFi' oat. *Crop Science*, 45: 1664.
- McNew, G. 1960. The nature, origin and evolution of parasitism. In: J.G. Horsfall & A.E. Dimond. *Plant pathology: An Advanced Treatise*. Madison, WI: Univ. Wisconsin Press. pp. 19-69.
- Mendgen, K. & Hahn, M. 2002. Plant infection and the establishment of fungal biotrophy. *Trends in plant science*, 7:352-356.
- Meyer, D. & Zwingelberg, H. 1981. Untersuchungen zur Verwendung von landischem Hafer in der Schalmullerei. *Getreide Mehl Brot*, 35:230-234.
- Miller, S.S., Wood, P.J., Pietrzak, L.N. & Fulcher, R.G. 1993. Mixed linkage betaglucan, protein content and kernel weight in *Avena* spp. *Cereal Chemistry*, 70:231-233.
- Miller, S.S. & Fulcher, R.G. 2011. Microstructure and chemistry of the oat kernel. In: F.H. Webster & P.J. Wood (Eds.). *Oats Chemistry and Technology*. 2nd ed. AACC International, Inc. St. Paul, MN, USA, pp. 77-94.
- Ministerio de Agroindustria 2017. Dirección de Estimaciones Agrícolas y Delegaciones. Disponible en <https://datos.magyp.gob.ar/reportes.php?reporte=Estimaciones>. Última visita: 10/07/2017.
- Monteith, J.L. 1977. Climate and the efficiency of crop production in Britain. *Philosophical Transactions of Royal Society of London B*. pp. 277-294.
- Morris H.D. & Gardner F.P. 1958. The effect of nitrogen fertilization and duration of clipping period on forage and grain yields of oats, wheat and rye. *Agronomy Journal*, 50:554-557.
- Murphy, H. 1935. Physiologic specialization in *Puccinia coronata avenae*. U.S. Dep. Agric. Tech. Bull. 433.
- Ohm, H.W. & Shaner, G. Breeding oat for resistance to diseases. In: H.G. Marshal & M.E. Sorrells (Eds.). *Oat science and technology*. Madison: American Society of Agronomy/Crop Science Society of America, 1992. pp. 657-698.

- Othman, R.A., Mogh Adasian, M.H. & Jones, P.J. 2011. Cholesterol-lowering effects of oat beta-glucan. *Nutrition Reviews*, 69, 299-309.
- Oury, F.X. & Godin, C. 2007. Yield and grain protein concentration in bread wheat: how to use the negative relationship between the two characters to identify favourable genotypes?. *Euphytica*, 157: 45-57.
- Palagyi, A. 1983. Tertiary seed proportions in the grain yield of several oat varieties. *Cereal Research Communications*, 269-274.
- Parlevliet, J.E. 1979. Components of resistance that reduce the rate of epidemic development. *Annual Review of Phytopathology*, 17:203-222.
- Parlevliet, J.E. 1985 Resistance of the nonrace-specific type. In: W.R. Bushnell & A.P. Roelfs (Eds.) *The Cereal Rusts vol II: Diseases, distribution, epidemiology and control*. Academic Press, New York. pp. 501-525.
- Pepler, S., Gooding, M.J. & Ellis, R.H. 2006. Modelling simultaneously water content and dry matter dynamics of wheat grains. *Field Crops Research*, 96:46-93.
- Peltonen-Sainio, P., Kontturi, M. & Rajala, A. 2004. Impact degulling oat grain to improve quality of on-farm produced feed I. Hullability and associated changes in nutritive value and energy content. *Agricultural and Food Science*, 13:18-28.
- Peltonen-Sainio, P., Kangas, A., Salo, Y. & Jauhiainen, L. 2007. Grain number dominates grain weight in temperate cereal yield determination: evidence based on 30 years of multi-location trials. *Field Crops Research*, 100:179-188.
- Peralta, N., Abbate, P. & Marino, A. 2011. Efecto del régimen de defoliación sobre la producción de grano de un trigo doble propósito. *Agriscientia*, 28:1-11.
- Pérez Fernández, J. & Molas, A.C. 2000. Roya de la avena: control químico e incidencia sobre la calidad forrajera en la región semiárida pampeana. *Boletín de divulgación técnica* N° 69. pp. 24.
- Peterson, D.M. 1992. Composition and nutritional characteristics of oat grain and products. In: H.G. Marshall & M.E. Sorrells (Eds.) *Oat science and technology*. American Society of Agronomy and Crop Science Society of America, Madison, WI, USA. pp. 265-292.
- Pomeranz, Y., Davis, G.D., Stoops, J.L. & Lai, F.S. 1979. Test weight and groat to hull ratio in oats. *Cereal Foods World*, 24:600-602.
- Portyanko, V.A., Chen, G., Rines, H.W., Phillips, R.L., Leonard, K.J., Ochocki, G.E. & Stuthman, D.D. 2005. Quantitative trait loci for partial resistance to crown rust, *Puccinia coronata*, in cultivated oat (*Avena sativa* L.) *Theoretical and Applied Genetics*, 111:313-324.
- Quiroga, A. & Ormeño, O. 1997. Fertilización en verdeos de invierno. *Revista Crea*, 197:66-69.

- Rasane, P., Jha, A., Sabikhi, L., Kumar, A. & Unnikrishnan, V.S. 2015. Nutritional advantages of oats and opportunities for its processing as value added foods-a review. *Journal of food science and technology*, 52:662-675.
- Redaelli, R., Scalfati, G., Ciccoritti, R., Cacciatori, P., De Stefanis, E. & Sgrulletta, D. 2015. Effects of genetic and agronomic factors on grain composition in oats. *Cereal research communications*, 43:144-154.
- Redmon, L.A., Krenzer, E.G., Bernardo, D.J. & Horn, G.W. 1996. Effect of wheat morphological stage at grazing termination on economic return. *Agronomy Journal*, 88:94-97.
- Rines, H., Porter, H., Carson, M. & Ochocki, G. 2007. Introgression of crown rust resistance from diploid oat *Avena strigosa* into hexaploid cultivated oat *A. sativa* by two methods: direct crosses and through an initial 2x· 4x synthetic hexaploid. *Euphytica*, 158: 67-79.
- Ripsin, C.M., Keenan, J.M., Jacobs, D.R., Elmer, P.J., Welch, R.R., Van Horn, L., Liu, K., Turnbull, W.H., Thye, F.W., Kestin, M., Hegsted, M., Davidson, D.M., Dugan, L.D., Demark, W. & Beling, S. 1992. Oat products and lipid lowering. *JAMA, the journal of the American Medical Association*, 267:3317-3325.
- Rizvi, S & Buchenau, G. 1994 Tentative identification and verification of genes for leaf rust resistance in wheat cultivars of South Dakota. *Plant disease*, 78:674-679.
- Robert, C., Bancal, M.O. & Lannou, C. 2004. Wheat leaf rust uredospore production on adult plants: influence of leaf nitrogen content and *Septoria tritici* blotch. *Journal of Phytopathology*, 94:712-721.
- Robert, C., Bancal, M.O., Ney, B. & Lannou, C. 2005. Wheat leaf photosynthesis loss due to leaf rust, with respect to lesion development and leaf nitrogen status. *New Phytologist*, 165:227- 241.
- Roelfs, A., Singh, R. & Saari, E. 1992. Las royas del trigo: Conceptos y métodos para el manejo de esas enfermedades. México, D.F.: CIMMYT. 81 pp.
- Royo, C., Montesinos, E., Molina-Cano, J.L. & Serra, J., 1993. Triticale and other small grain cereals for forage and grain in Mediterranean conditions. *Grass and forage science*, 48:11-17.
- Royo, C., Lopez, A., Serra, J. & Tribo`, F. 1997. Effect of sowing date and cutting stage on yield and quality of irrigated barley and triticale used for forage and grain. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 179:227-234.
- Schafer, J.F. & Roelfs, A.P. 1985. Estimated relation between numbers of urediniospores of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* and rates of occurrence of virulence. *Phytopathology* 75,749-750.
- Salvagiotti, F. & Miralles, D.J. 2008. Radiation interception, biomass production and grain yield as affected by the interaction of nitrogen and sulfur fertilization in wheat. *European Journal of Agronomy*, 28:282-290

- Sebesta, J., Zwatz, B., Roderick, H., Corazza, L., Manisterski, J. & Stojanovic, S. 2003. Incidence of crown rust and virulence of *Puccinia coronata* Cda. f. sp. *avenae* Eriks. and the effectiveness of *Pc* genes for resistance in Europe, middle east and North Africa. Archives of Phytopathology and Plant Protection, 36:199-194.
- Serrago, R.A., Carretero, R., Bancal, M.O. & Miralles, D.J. 2009. Foliar diseases affect the ecophysiological attributes linked with yield and biomass in wheat (*Triticum aestivum* L.). European Journal of Agronomy, 31:195-203.
- Setti, B., Bencheikh, M. & Henni, J. 2011. Applications of response surface methodology approach to determine the effect of temperature, time of incubation and light conditions on germination and germ tube growth of *Puccinia coronata* f. sp. *avenae* urediospores. African Journal of Biotechnology, 10: 9421-9427.
- Shaner, G. & Finney, R.E. 1977. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in Knox wheat. Phytopathology, 67: 1051-1056.
- Shinnick, F.L., Mathews, R. & Ink, S. 1991. Serum cholesterol reduction by oats and other fiber sources. Cereal Foods World, 36:815-821.
- Sinclair, T.R. & Muchow, R.C. 1999. Radiation use efficiency. Advances in Agronomy, 65:215-265.
- Simons, M.D. 1985. Crown rust. In: A.P. Roelfs & W.R. Bushnell (Eds.). The Cereal Rusts, vol. II. Academic Press, Inc., New York, pp. 131-172.
- Singleton, L., Stuthman, D. & Moore, M. 1979. Effect of crown rust on oat protein. Phytopathology, 69: 776-778.
- Slafer, G.A. & Rawson H.M. 1994. Sensitivity of wheat phasic development to major environmental factors: a re-examination of some assumptions made by physiologists and modelers. Australian Journal of Plant Physiology, 21:393-426.
- Soovali, P., Kangor, T. & Tamm, I. 2010. The incidence of fungal diseases in oat leaves and yields as affected by fertilizer and chemical inputs in Estonia. Agronomy Research, 8:475-480.
- Souza, E.J. & Sorrells, H.E. 1988. Mechanical mass selection methods for improvement of oat groat percentage. Crop Science, 28:618-623.
- Squella, N.F. & Ormeño, J. 2007. La avena como cultivo forrajero. En: Técnicas de producción ovina para el secano mediterráneo de la sexta región Bibliotecas del INIA. Rayentue. Capítulo 2:19-36.
- Storm, A. & Wehrhahne, L. 2013. Ensayo regional de avenas para grano. Campaña 2012/13. Evaluación sanitaria. En: Actualización técnica en cultivos de cosecha fina 2012/13. J. Yaguez *et al.*, (Ed.). pag 33-34. Disponible en: [http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta\\_-\\_barrow\\_-\\_cosecha\\_fina\\_2012.pdf](http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_-_barrow_-_cosecha_fina_2012.pdf) . Última visita: 2/ 09/2017.
- Stoskopf, N.C. 1985. Cereal grain crops. Reston Publishing Company inc..

- Tomaso, J.C. 2009. Cereales forrajeros de invierno: producción de materia seca, manejo del cultivo, cadenas de verdeos. Disponible en: [http://www.produccion-animal.com.ar/produccion\\_y\\_manejo\\_pasturas/pasturas\\_cultivadas\\_verdeos\\_invierno/51-verdeos.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas_cultivadas_verdeos_invierno/51-verdeos.pdf) . Última visita: 28/08/2017.
- USDA, 2016. United States Department of Agriculture. Data & Analises. Disponible en: [//www.fas.usda.gov/commodities/oats](http://www.fas.usda.gov/commodities/oats). Última visita: 1/10/2017.
- Van der Werf, A. 1996. Growth analysis and photoassimilate partitioning. In: E. Zamski & A. Schaffer (Eds.). Photoassimilate Distribution in Plants and Crops: Source-Sink Relationships. Marcel Dekker Inc. New York. pp. 1-20.
- Vieira, E., Carvalho, F., Chaves, M., Oliveira, A., Benin, G., Hartwig, I., Silva, J., Bertan, I., Martins, A. & Martins, L. 2007. Virulence variability of *Puccinia coronata* f. sp. *avenae* isolates collected in three counties from Rio Grande do Sul State, Brazil. Plant Disease, 91: 66-70.
- Voegelé, R.T. & Mendgen, K.W. 2011. Nutrient uptake in rust fungi: How sweet is parasitic life?. Euphytica, 179:41-55
- Wahl, I. & Wilcoxson, R.D. & Rowell J.B. 1980. Slow rusting of wheat and stem rust detected in the glasshouse. Plant Disease, 64:54-56.
- Webster, F. H. 1996. Oats. In: R.J. Henry & P.S. Kettlewell. Cereal Grain Quality. Springer Netherlands. pp. 179-203).
- Wehrhahne, L. 2005. Nuevas variedades de avena. AgroBarrow N° 32. Disponible en: <http://www.inta.gov.ar/barrow/info/documentos/agrobarrow32/agrobarrow32.htm> . Última visita: 3/07/2017.
- Wehrhahne, L. 2008 Respuesta de cultivares de avena a la aplicación de fungicidas. En VI Congreso Nacional de trigo. V Simposio Nacional de cereales de siembra otoño invernal. I Encuentro del Mercosur. La Pampa, 2, 3 y 4 de julio de 2008.
- Wehrhahne, L. 2009. Evaluación de parámetros de calidad molinera de avenas en Argentina. Tesis presentada para optar al grado de Magister en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina. pp 95.
- Wehrhahne, L. Avena para grano. 2010. Disponible en: [http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-avena\\_para\\_grano.pdf](http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-avena_para_grano.pdf). Última visita: 3/07/2017.
- Wehrhahne, L. 2015(a). La Chacra Experimental de Barrow y la obtención de nuevos cultivares de avena. Disponible en: [http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta\\_barrow\\_-\\_la\\_chacra\\_experimental\\_de\\_barrow\\_y\\_la\\_o.pdf](http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_barrow_-_la_chacra_experimental_de_barrow_y_la_o.pdf) . Última visita: 3/07/2017.
- Wehrhahne, L. 2015(b). Evaluación de avenas para grano en barrow, campaña 2014/15. Disponible en: <http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp->

[inta\\_barrow - evaluacin de avenas para grano en barro.pdf](#) Última visita: 3/07/2017.

Wehrhahne, L. & Storm, A. 2013. Avenas para grano. En: Actualización técnica en cultivos de cosecha fina 2012/13. En: J. Yaguez *et al.*, (Ed.). pag 31. Disponible en:[http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta\\_-\\_barrow\\_-\\_cosecha\\_fina\\_2012.pdf](http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_-_barrow_-_cosecha_fina_2012.pdf) Última visita: 3/07/2017.

Wehrhahne, L. & Storm, A. 2014. Evaluación de avena para producción de grano. Disponible en: [http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta\\_barrow\\_-\\_evaluacin\\_de\\_avena\\_para\\_produccion\\_de\\_gr.pdf](http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_barrow_-_evaluacin_de_avena_para_produccion_de_gr.pdf) Última visita: 2/ 09/2017.

Welch, R.W. & Yong, Y.Y. 1980. The effects of variety and nitrogen fertilizer on protein production in oats. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 31:541-548.

Welch, R.W., Hayward, M.V. & Jones, D.I. 1983. The composition of oat husk and its variation due to genetic and other factors. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 34:417-426.

Welch, R.W. 1995. Oats in human nutrition and health. In R.W. Welch (Ed.). *The oat crop: Production and utilization*. 1<sup>st</sup> ed. Chapman and Hall, London. pp. 433-471.

Welch R.W .2011. Nutrient composition and nutritional quality of oats and comparisons with other cereals. In: F.H. Webster & P.J. Wood (Eds.). *Oats: Chemistry and technology*, American Association of Cereal Chemists. pp. 95-107.

Wesp, C.L., Martinelli, J.A., Chaves, M.S., Graichen, F.A. & Federizzi, L.C. 2008. Herança da resistência quantitativa à ferrugem da folha em linhagens recombinantes de aveia branca. *Tropical Plant Pathology*, 33:138-147.

White, D.A., Fisk, I.D. & Gra, D.A. 2006. Characterisation of oat (*Avena sativa* L.) oil bodies and intrinsically associated E-vitamins. *Journal of Cereal Science*, 43:244-249.

Wricke, G. 1962. Über eine Methode zur Erfassung der ökologischen Streubreite in Feldversuchen. *Zeitschrift für Pflanzenzüchtung* 47:92-96.

Youngs, V.L. 1972. Protein distribution in the oat kernel. *Cereal Chemistry*, 49:407.

Youngs, V.L. & Shands, H.L. 1974. Variation in oat kernel characteristics within the panicle. *Crop Science*, 14:578-580.

Youngs, V.L. & Senturia, J. 1976. Relationship in protein concentration between whole oats and oat groats. *Crop Science*, 16:87-88.

Youngs, V.L., Pukulcu, M. & Smith, R.R. 1977. Oat lipids. I. Composition and distribution of lipid components in two oat cultivars. *Cereal Chemistry*, 49:407-411.



- Youngs, V.L. & Forsberg, R.A. 1987. Oat. Nutritional Quality of Cereal Grains: Genetic and Agronomic Improvement. Agronomy Monograph 28. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI. pp. 457-499
- Zadoks, J.C., Chang, T.T. & Konzak, C.F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. Weed Research, 14:415-421.
- Zhou, M., Robards, K., Glennie Holmes, M. & Helliwell, S. 1998. Structure and pasting properties of oat starch. Cereal Chemistry, 25:273-281.
- Zillinsky, F.J. 1984. Guía para la identificación de Enfermedades en Cereales de Grano Pequeño. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. El Batán, Texcoco, Edo. De México. pp.141.
- Zute, S., Vicupe, Z. & Gruntina, M. 2010. Factors influencing oat grain yield and quality under growing conditions of West Latvia. Agronomy Research, 8:749-754.