



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR**

**EFFECTO 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

**Por:** Bioq. Marcela Fernanda Martínez

**DIRECTOR:** Ing. Agr. Hugo Mario Arelovich, MSc., PhD.

Departamento de Agronomía  
Universidad Nacional del Sur

Bahía Blanca, Septiembre de 2010

## PREFACIO

Esta Tesis se presenta como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Doctor en Agronomía, de la Universidad Nacional del Sur y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad u otra. La misma contiene los resultados obtenidos en investigaciones llevadas a cabo en el ámbito del Departamento de Agronomía durante el período comprendido entre el 20/03/2007 y el 26/02/2010, bajo la dirección del Dr. Hugo M. Arelovich.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR  
Secretaría General de Posgrado y Educación Continua

La presente tesis ha sido aprobada el ....../....../..... , mereciendo la  
calificación de .....(.....)

## AGRADECIMIENTOS

A la Comisión de Investigaciones científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC) por financiar mi proyecto y formación.

Al departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur por la oportunidad que me brinda de estudiar, capacitarme y trabajar.

A la Asociación de Cooperativas Argentinas (ACA) por permitirme realizar mis ensayos en el campo experimental que poseen en Cabildo.

Al Profesor, Dr. Hugo Arelovich por su dedicación, dirección y enseñanza tanto profesional como de la vida, también por su paciencia y su gran amistad.

Al Profesor, Dr. Hugo Laborde por su colaboración, apoyo y confianza en mi formación.

A la Ing. Agr. M.Sc. Liliana Wehrhahne por su incondicional asistencia, asesoramiento y apoyo en la elaboración de esta tesis.

A la Profesora María Torrea por su enseñanza, paciencia y amistad.

A mis compañeros de trabajo por su colaboración, sostén, consejos y buenos momentos compartidos.

A mi familia y mis seres queridos por ser el sostén y alegría de mi vida; por su gran apoyo y comprensión.

A Dios por darme la oportunidad de estudiar, tener familia, amigos, trabajo, salud, amor y esperanza.

## RESUMEN

El objetivo del trabajo fue evaluar la producción de biomasa forrajera, el impacto de los cortes sobre el rendimiento de grano y determinar diferencias en la composición química del forraje y grano doble propósito en diferentes cultivares de avena. Durante dos años, 14 cultivares de *Avena sativa* y 4 de *Avena byzantina* fueron sembrados a principios de marzo, para evaluar producción de biomasa forrajera y grano doble propósito (DP), y a mediados de junio para evaluar producción de grano cosecha solamente (GC). En las parcelas DP se realizaron dos cortes de material forrajero a fecha fija y se determinó la producción de materia seca (MS) y composición química. Posteriormente se cosechó el grano (DP) y se determinó el rendimiento (REND), peso hectolítrico (PH), composición química y perfil de ácidos grasos. Hubo interacción *cultivar x año* significativa para todas las variables estudiadas. La mayor variabilidad entre cultivares se observó en 2004. Se encontraron diferencias significativas entre cultivares para la producción de biomasa forrajera en ambos cortes y total en ambos años. Para el corte 1 (C1) el año 2004 fue el de mayor rendimiento promedio. Para el corte 2 (C2), ambos años presentaron similares valores medios de producción. El rendimiento promedio de grano GC fue 88% superior a DP. El PH presentó diferencias entre genotipos y manejo. La composición química del forraje presentó diferencias significativas entre cultivares en ambos años para todas las variables. En (C1), 2004, la MS de todos los cultivares fue menor a 20%. La PB superó el 18% en todos los cultivares. La proteína soluble (PS) y carbohidratos no estructurales solubles (CNES) de todos los cultivares atenuarían la pérdida energética al estar sincronizados. La FDN, FDA y LDA no presentaron grandes diferencias entre cortes y años. En composición

química del grano DP la mayor variabilidad entre cultivares fue en 2004. El contenido de almidón (ALM) fue más estable en Milagros y Cristal con valores superiores a 39% en ambos años. Para FDN y FDA, Tucana fue el cultivar más estable. Bw 103, Máxima y Rocío mostraron los mayores contenidos de beta-glucanos ( $\beta$ -GLU) en ambos años. Los ácidos palmítico, oleico y linoleico representaron el 91% del total de ácidos grasos con los mayores valores medios y variabilidad en 2004. En 2004 se observaron correlaciones significativas entre ALM con REND, FDN y PH; REND con  $\beta$ -GLU y en 2005 entre FDN con PH. Las mayores asociaciones entre ácidos grasos fueron entre palmítico y esteárico; esteárico y linoleico y oleico y linoleico. Con fracciones de interés nutricional seleccionadas se realizaron análisis de componentes principales (ACP) y de conglomerados. Para forraje, en 2004 el ACP mostró que los cultivares seleccionados por rendimiento poseen bajos contenidos de PB. El dendograma muestra dos grandes agrupamientos asociados a la PB y a rendimiento. En 2005 el ACP muestra bajo porcentaje de reconstrucción de las variables. El dendograma muestra varios grupos de cultivares los cuales no se ordenan de la misma manera que en 2004, aunque sigue observándose la relación inversa entre REND y PB. Para grano el ACP confirma la asociación negativa entre ALM con FDN y entre EE con REND, así como también la positiva entre ALM con REND en 2004. En 2005, el ACP no parece reflejar las bajas asociaciones encontradas entre las variables. Se propuso un índice de calidad (PB, MS, FDN y CHS de cada corte) y otro de rendimiento (forraje más grano) por años separadamente. Se encontraron cultivares que presentaron puntajes elevados en ambos años tanto para calidad como para rendimiento. En conclusión, a pesar de encontrar diferencias significativas en la calidad nutricional del forraje los valores obtenidos no serían limitantes para la producción de animales rumiantes, excepto la MS del C1 en 2004. No es posible agrupar cultivares por características en común ya que las

diferencias encontradas entre cultivares parecen ser más dependientes del ambiente que del genotipo. La selección de cultivares para altos rendimientos de forraje se relacionan negativamente con algunos parámetros de calidad. Se podrían seleccionar cultivares utilizando el ranking propuesto destacándose a Calén por presentar altos puntajes tanto para calidad como para rendimiento en ambos años de estudio.

**ABSTRACT**

The objective was to evaluate the production of forage yield, impact of cutting on grain yield and determine differences in chemical composition of the forage and dual-purpose grain in different cultivars of oats. In two consecutive years, 14 cultivars of *Avena sativa* and 4 of *Avena byzantina* were sown in early March to evaluate forage and grain (DP) yield, and other in mid-June to evaluate crop grain yield only (GO). Two cuts of forage material by a fixed date were made in DP and the dry-matter (DM) production and chemical composition was evaluated. Then the grain was harvested and was determined yield (GYLD), test weight (TW), chemical composition and fatty acid profile. There was significant *cultivar x year* interaction for all variables. The greater variability among cultivars was observed in 2004. There were significant differences among cultivars for forage production in both cuts and total for both years. For cutting 1 (C1), 2004 was the highest average yield. Cutting 2 (C2) showed similar forage production in both years. The overall grain yield of GC was 88% higher than DP. The TW showed differences between genotypes and management. The chemical composition of forage showed significant differences among cultivars in both years for all variables. In (C1), 2004, the DM of all cultivars was less than 20%. The crude protein (CP) was higher than 18% in all cultivars. The soluble protein (SP) and soluble nonstructural carbohydrates (SNC) of all cultivars would avoid the energy loss because they are synchronized. The NDF, ADF and ADL showed no significant differences between cuts and years. Chemical composition of DP grain among cultivars was more variable in 2004. The starch content (STA) was more stable in Milagros and Cristal with values above 39% in both years. Tucana was the most stable cultivar for NDF and ADF. Bw 103, Máxima and Rocío showed the highest beta-glucan ( $\beta$ -GLU) content in both

years. The palmitic, oleic and linoleic acids accounted for 91% of total fatty acids with the highest values and variability in 2004. In 2004 there were significant correlations between STA with GYLD, NDF and TW; and GYLD with  $\beta$ -GLU while in 2005 between NDF and TW. The major association between fatty acids were between palmitic and stearic, stearic and linoleic and oleic and linoleic. With selected nutritional fractions, principal components analysis (PCA) and cluster were performed. For fodder, in 2004, the PCA showed that cultivars selected for yield have low CP. The cluster shows two main groupings associated with the CP and forage yield. In 2005, the ACP shows low rate of variables reconstruction. The cluster shows several groups of cultivars which are not arranged in the same way as in 2004, although there continues to be the inverse relationship between forage yield and CP. PCA of grain, in 2004, confirms the negative association between STA with NDF and between GYLD with EE, as well as the positive between STA with GYLD. In 2005, the PCA does not reflect the low associations found between variables. It proposed a quality index (CP, DM, NDF and SNC in each cut) and a yield (forage more grain) for both years separately. Cultivars were found with higher scores in both years for both quality and performance. In conclusion, despite finding significant differences in the nutritional quality of forage, this value would not limit the ruminant production, except DM of C1 in 2004. It not is possible to group cultivars by common characteristics because these differences among cultivars appear to be more dependent on the environment than genotype. The selection of cultivars for high yields of forage is negatively associated with some quality parameters. Cultivars could be selected using the ranking proposed, highlighting Calén because it high scores for both quality and yield in both years of study.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

| <b>Título</b>  | <b>Página</b> |
|--|---------------|
| Prefacio.....  | i             |
| Agradecimientos.....   | ii            |
| Resumen.....   | iii           |
| Abstract.....  | vi            |
| Índice de contenidos.....  | viii          |
| Índice de tablas.....  | xii           |
| Índice de figuras.....   | xiv           |
| <b>CAPÍTULO 1</b>  |               |
| 1.1 INTRODUCCIÓN GENERAL.....  | 1             |
| 1.2. REVISIÓN DE LITERATURA.....   | 3             |
| 1.2.1 Estadísticas actuales sobre el cultivo de avena.....                           | 3             |
| 1.2.2 Historia de la avena.....  | 5             |
| 1.2.3 Desarrollo del cultivo de avena en Argentina .....                             | 6             |
| 1.2.4 Características ambientales para el cultivo de avena.....                      | 8             |
| 1.2.5 Composición química del grano de avena.....                                    | 9             |
| 1.2.6 El grano de avena en la alimentación animal.....                               | 18            |
| 1.2.7 Características agronómicas y composición química del verdeo<br>de avena ..... | 22            |
| 1.2.8 Utilización de verdeos de avena por rumiantes.....                             | 27            |
| 1.2.9 Mejoramiento genético de la avena para forraje y grano.....                    | 31            |
| 1.3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.....  | 35            |
| <b>CAPÍTULO 2</b>  |               |
| <b>RENDIMIENTO DE FORRAJE Y GRANO DE AVENA</b>                                       |               |
| 2.1 Introducción.....  | 38            |
| 2.2 Materiales y Métodos.....  | 38            |
| 2.2.1 Sitio experimental.....  | 38            |
| 2.2.2 Características edafo-climáticas.....  | 39            |
| 2.2.3 Genotipos y diseño experimental.....   | 40            |
| 2.2.4 Determinaciones en material forrajero.....                                     | 43            |
| 2.2.5 Determinaciones en grano.....  | 43            |
| 2.2.6 Análisis estadísticos.....   | 43            |

|   |    |
|---|----|
| 2.3 Resultados.....   | 45 |
| 2.3.1 Análisis de ANOVA para producción de forraje, rendimiento y peso hectolítrico del grano de avena.....                                       | 45 |
| 2.3.2 Acumulación de biomasa forrajera.....   | 46 |
| 2.3.3 Rendimiento y peso hectolítrico de grano de avena.....  | 49 |
| 2.4 Discusión.....  | 51 |
| 2.4.1 Influencia del año y el cultivar en la producción de biomasa forrajera.   | 51 |
| 2.4.2 Influencia del año y el cultivar en el rendimiento y peso hectolítrico del grano.....   | 55 |
| 2.5 Conclusiones.....   | 59 |
| CAPÍTULO 3  |    |
| COMPOSICION QUIMICA DEL FORRAJE DE AVENA  |    |
| 3.1 Introducción.....   | 60 |
| 3.2 Materiales y Métodos.....   | 60 |
| 3.2.1 Determinaciones químicas.....   | 60 |
| 3.2.2. Cálculos y estimaciones.....   | 61 |
| 3.2.3 Análisis estadístico.....   | 61 |
| 3.3 Resultados.....   | 62 |
| 3.3.1 Análisis de varianza de la composición química en biomasa forrajera de Avena.....   | 62 |
| 3.3.2 Contenido de materia seca y cenizas en ambos cortes de material forrajero.....  | 64 |
| 3.3.3 Contenido de proteína bruta, proteína soluble y carbohidratos no estructurales solubles en ambos cortes de material forrajero.....          | 66 |
| 3.3.4. Relación PS/CNES y PS/PB en ambos cortes de material forrajero...  | 69 |
| 3.3.5 Contenido de FDN, FDA y LDA en ambos cortes de material forrajero.....  | 71 |
| 3.3.6 Digestibilidad de la materia seca, máxima ingestión de materia seca y valor relativo del forraje en ambos cortes de material forrajero..... | 74 |
| 3.4 Discusión.....  | 77 |
| 3.4.1 Evaluación del contenido de MS .....  | 77 |
| 3.4.2 Evolución de las fracciones nitrogenadas y carbohidratos no estructurales del forraje de avena .....  | 79 |
| 3.4.3 Relación PS/CNES y PS/PB en ambos cortes de forraje.....  | 85 |

|  |     |
|--|-----|
| 3.4.4 Contenido de FDN, FDA y LDA en ambos cortes de forraje.....  | 87  |
| 3.4.5 DMS, IMS y VRF en ambos cortes de forraje.....   | 89  |
| 3.5 Conclusiones.....  | 92  |
| CAPÍTULO 4   |     |
| COMPOSICION QUIMICA DEL GRANO DE AVENA   |     |
| 4.1. Introducción.....   | 93  |
| 4.2 Materiales y Métodos.....  | 93  |
| 4.2.1 Determinaciones químicas.....  | 93  |
| 4.2.2 Análisis estadístico.....  | 94  |
| 4.3 Resultados .....   | 95  |
| 4.3.1 ANOVA de la composición química en grano de avena doble<br>propósito .....   | 95  |
| 4.3.2 Contenido de Proteína, cenizas, carbohidratos y aceites en<br>grano de diferentes cultivares de avena doble propósito..... | 96  |
| 4.3.3 Perfil de ácidos grasos en grano de avena doble propósito.....   | 98  |
| 4.3.4 Coeficientes de correlación de Pearson entre variables de calidad<br>seleccionadas de avena doble propósito.....           | 101 |
| 4.4 Discusión.....   | 103 |
| 4.4.1 Influencia del año y del genotipo en la composición química del grano<br>de avena doble propósito.....                     | 103 |
| 4.4.2 Contenido de PB, CEN y BGLU en grano de avena doble propósito  | 103 |
| 4.4.3 Contenido de pared celular y almidón en grano de avena doble<br>propósito.....   | 105 |
| 4.4.4 Contenido de aceites y perfil de ácidos grasos en grano de avena<br>doble propósito.....                                   | 107 |
| 4.4.5 Coeficientes de correlación en variables de calidad seleccionadas de<br>grano de avena doble propósito.....                | 110 |
| 4.5 Conclusiones.....  | 113 |
| CAPÍTULO 5   |     |
| ANALISIS MULTIVARIADO Y RANKING DE CULTIVARES DE<br>AVENA DOBLE PROPOSITO  |     |
| 5.1 ANÁLISIS MULTIVARIADO.....   | 114 |
| 5.1.1 Metodología.....   | 114 |
| 5.1.2 Resultados.....  | 114 |

|  |     |
|--|-----|
| 5.1.3 Discusión.....                                 | 123 |
| 5.1.4 Conclusiones.....                              | 126 |
| 5.2 PROPUESTA DE RANKING DE CULTIVARES DE AVENA..... | 127 |
| 5.2.1 Metodología.....                               | 127 |
| 5.2.2 Resultados y discusión.....                    | 129 |
| 5.2.3 Conclusiones.....                              | 131 |
| CONSIDERACIONES FINALES.....                         | 132 |
| BIBLIOGRAFÍA.....                                    | 133 |
| ANEXO.....   | 153 |

## ÍNDICE DE TABLAS

| <b>Título</b>   | <b>Página</b> |
|---|---------------|
| Tabla 1.1. Producción mundial de granos forrajeros, temporada 2001/2002 a 2008/2009 (millones de toneladas).....  | 4             |
| Tabla 1.2. Principales productores de avena mundial, campaña 2008/2009.....   | 4             |
| Tabla 1.3 Valores medios ( $\pm$ errores estándar) de área cosechada de avena, rendimiento de grano y producción total de avena durante cinco años (1998-2002) en los principales países productores de Sudamérica..... | 6             |
| Tabla 1.4 Composición mineral de diferentes granos cerealeros.....  | 15            |
| Tabla 2.1 Denominación, origen y características cualitativas de los genotipos de avena utilizados.....   | 42            |
| Tabla 2.2 Fechas de siembra, cosecha y cortes por año.....  | 43            |
| Tabla 2.3 Resumen de los test F para producción de forraje (kg/ha) en diferentes cultivares de avena.....   | 45            |
| Tabla 2.4 Resumen de los test F para rendimiento y peso hectolítrico de grano en diferentes cultivares de avena.....  | 46            |
| Tabla 2.5 Producción de forraje (kg/ha) por corte y total acumulado en diferentes cultivares de avena.....  | 48            |
| Tabla 2.6 Rendimiento y peso hectolítrico de diferentes cultivares de avena.....  | 50            |
| Tabla 3.1 Resumen de los test F en el corte 1 para composición química del forraje en diferentes cultivares de avena.....   | 63            |
| Tabla 3.2 Resumen de los test F en el corte 2 para composición química del forraje en diferentes cultivares de avena.....   | 63            |
| Tabla 3.3 Contenido de materia seca y cenizas en forraje de diferentes cultivares de avena.....   | 65            |
| Tabla 3.4 Contenido de PB, PS y CNES en cultivares de avena.....  | 68            |
| Tabla 3.5 Relación PS/CNES y PS/PB en ambos cortes de forraje de diferentes cultivares de avena.....  | 70            |
| Tabla 3.6 Contenido de FDN, FDA Y LDA en forraje de diferentes cultivares de avena.....   | 73            |
| Tabla 3.7 Digestibilidad de la materia seca, máxima ingestión de materia seca y valor relativo del forraje en diferentes cultivares de avena.....   | 76            |
| Tabla 4.1 Resumen de los test F para composición química del grano en   |               |

|  |     |
|--|-----|
| diferentes cultivares de avena doble propósito.....  | 95  |
| Tabla 4.2 Resumen de los test F para perfil de ácidos grasos del grano en<br>diferentes cultivares de avena doble propósito.....   | 96  |
| Tabla 4.3 Contenido de proteína, cenizas, carbohidratos y aceites en grano de<br>diferentes cultivares de avena.....   | 99  |
| Tabla 4.4 Perfil de ácidos grasos más relevantes encontrados en grano de<br>diferentes cultivares de avena.....  | 100 |
| Tabla 4.5 Coeficientes de correlación de Pearson entre variables de calidad<br>seleccionadas de grano de avena en 2004 (encima de la diagonal) y<br>en 2005 (debajo de la diagonal). ....                                  | 102 |
| Tabla 4.6 Coeficientes de correlación entre varias fracciones lipídicas del<br>grano en diferentes genotipos de avena en ambos años.....   | 102 |
| Tabla 5.1 Año 2004, correlación entre variables y componentes y porcentajes<br>de reconstrucción de cada variable en el plano de las 2 y 3 primeras<br>coordenadas principales para el forraje de avena.....               | 115 |
| Tabla 5.2 Año 2005, correlación entre variables y componentes y porcentajes<br>de reconstrucción de cada variable en el plano de las 2 y 3 primeras<br>coordenadas principales para el forraje de avena.....               | 117 |
| Tabla 5.3 Año 2004, correlación entre variables y componentes y porcentajes<br>de reconstrucción de cada variable en el plano de las 2 y 3 primeras<br>coordenadas principales para el grano de avena doble propósito..... | 119 |
| Tabla 5.4 Año 2005, correlación entre variables y componentes y porcentajes<br>de reconstrucción de cada variable en el plano de las 2 y 3 primeras<br>coordenadas principales para el grano de avena doble propósito..... | 121 |
| Tabla 5.5 Ranking de Calidad, 2004.....  | 129 |
| Tabla 5.6 Ranking de Calidad, 2005.....  | 129 |
| Tabla 5.7 Ranking de Rendimiento, año 2004.....  | 130 |
| Tabla 5.8 Ranking de Rendimiento, año 2005.....  | 130 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

| <b>Título</b>  | <b>Página</b> |
|--|---------------|
| Figura 1.1 Estructura molecular de los $\beta$ -glucanos.....  | 11            |
| Figura 1.2 Estructura del ácido linoleico, c9-t11 CLA y t10-c12 CLA .....  | 20            |
| Figura 2.1 Datos climáticos correspondientes a los años de experimentación.....  | 40            |
| Figura 5.1 Biplot de los cultivares y las variables estudiadas en el plano de<br>las dos primeras componentes principales para el forraje en el año<br>2004.....               | 116           |
| Figura 5.2 Dendograma de los cultivares de forraje de Avena estudiados<br>en 2004.....   | 116           |
| Figura 5.3 Biplot de los cultivares y las variables estudiadas en el plano de<br>las dos primeras componentes principales para el forraje en el<br>año 2005.....               | 118           |
| Figura 5.4 Dendograma de los cultivares de forraje de Avena estudiados<br>en 2005.....   | 118           |
| Figura 5.5 Biplot de los cultivares y las variables estudiadas en el plano de<br>las dos primeras componentes principales para el grano doble<br>propósito en el año 2004..... | 120           |
| Figura 5.6 Dendograma de los cultivares de grano de Avena estudiados<br>en 2004.....   | 120           |
| Figura 5.7 Biplot de los cultivares y las variables estudiadas en el plano de<br>las dos primeras componentes principales para el grano doble<br>propósito en el año 2005..... | 122           |
| Figura 5.8 Dendograma de los cultivares de grano de Avena estudiados<br>en 2005.....   | 122           |

## **CAPÍTULO 1**

### **1.1 INTRODUCCIÓN GENERAL**

Los mercados internacionales son cada vez más exigentes en la calidad de los alimentos tanto de origen vegetal como animal. Los consumidores cada vez exigen más calidad en los productos que consumen con una demanda tendiente hacia productos con valor agregado y la avena no escapa a esta tendencia. La avena posee una multiplicidad de destinos ya que se usa como forraje (fresco, preservado o grano) para alimentación animal y como grano en alimentación humana.

El contenido de proteína (con un buen balance de aminoácidos), carbohidratos y fibra en el grano de avena hacen que sea considerada un alimento de alto valor nutritivo. A su vez la presencia de  $\beta$ -glucanos, los cuales contribuyen a disminuir el colesterol en sangre ha llevado a una revalorización del grano de avena para la alimentación humana por sus propiedades favorables para la salud (Klopfenstein, 1988; Kahlon et al., 1993; Braaten et al., 1994; Wood et al., 1994; FDA, 1996). Por otro lado, el desarrollo de nuevos productos como cereales para desayuno y golosinas han contribuido a aumentar su consumo en la actualidad.

En nutrición animal, una práctica común es introducir granos en la dieta de rumiantes para mejorar la eficiencia de conversión alimenticia (ECA). Para ello, el grano de maíz es considerado ideal por su elevado valor energético. Sin embargo animales alimentados con altas concentraciones de maíz producen carnes con altos contenidos de grasa intramuscular, la cual posee una composición lipídica desfavorable para la salud humana ya que presenta una elevada proporción de grasas saturadas y una alta relación de ácidos grasos  $\Omega 6:\Omega 3$ . El grano de avena presenta características beneficiosas respecto del maíz ya que podría favorecer la producción de carnes de mejor calidad, con menor contenido de grasa intramuscular, mayor contenido de grasas

insaturadas, menor relación de ácido grasos  $\Omega 6:\Omega 3$ , así como también un aumento en la concentración de CLA (ácido linoleico conjugado), aún sin modificar la ECA.

La versatilidad del cultivo de avena radica en la diversidad de formas de utilización que posee (pastoreo directo, forraje preservado, producción de grano). Una práctica muy difundida y aceptada es utilizarla mediante pastoreo directo con posterior cosecha del grano. En los últimos años el grupo de trabajo del Dr. Arelovich en la UNS se ha centrado en la revalorización del grano de avena como suplemento animal debido a las características nutricionales mencionadas previamente (Arelovich et al., 1996; Marinissen et al., 2007).

Actualmente existe una diversidad de cultivares de avena, los cuales han sido seleccionados por programas de mejoramiento genético destinados a la obtención de cultivares con alto potencial de producción forrajera, resistentes a plagas, enfermedades, heladas y sequía. A pesar de ello no ha sido común el mejoramiento aplicado a parámetros de calidad nutricional con potencial impacto en la productividad animal, siendo éste uno de los principales objetivos de uso del cultivo.

Debido a la falta de conocimiento acerca de los efectos de la mejora genética en las características nutricionales del forraje y grano de avena, sumado a su amplio espectro de utilización en el SO Bonaerense, es que se propone estudiar algunos genotipos de avena para determinar sus atributos de calidad tanto productiva como nutricional y observar si tales parámetros de calidad también se ven afectados por los programas de mejoramiento a los que han sido sometidos.

## **1.2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **1.2.1 Estadísticas actuales sobre el cultivo de avena**

El grano de avena se ubica en quinto lugar entre los granos forrajeros cultivados a nivel mundial, siguiendo al maíz, cebada, sorgo y mijo (Tabla 1.1). A nivel mundial nuestro país se ubica en el décimo lugar en cuanto a producción mundial (Tabla 1.2), mientras que por nivel de exportaciones se encuentra en el sexto lugar, luego de Kasakhstan, Chile, Australia, UE-27 y Canadá (USDA, 2010). La producción mundial de grano alcanzada es de aproximadamente 26 millones de toneladas, de las cuales el 75% se destina a alimentación animal.

En Argentina, es el 5º cereal en superficie sembrada luego de trigo, maíz, sorgo y cebada cervecera, ocupando una superficie total de 143.564,7 hectáreas, mientras que en la provincia de Buenos Aires ocupa el 4º lugar, luego de trigo, maíz y cebada cervecera, ocupando una superficie total de 88.416,5 hectáreas sembradas, de las cuales 71,5% del total se encuentran ubicadas sobre los partidos que conforman el Sudoeste Bonaerense (CNA, 2002). En cuanto a forrajeras sembradas, la avena ocupa el primer lugar tanto a nivel país como en provincia de Buenos Aires, de las cuales 66,1% del total de superficie sembrada se encuentra distribuida en los partidos que conforman el Sudoeste Bonaerense. (CNA, 2002).

En nuestro país el rendimiento entre 1961 y 2002, tuvo un aumento de 77,7%, mientras que la superficie y la producción mundial han disminuido en 65,0 y 37,8% respectivamente, en particular en regiones de clima cálido donde la avena compite con otros cultivos por una mayor producción de energía y proteína (CNA, 2002).

Argentina produce unas 500 mil toneladas anuales, buena parte de ella sobre cultivos doble propósito (forraje primero y luego grano), con un promedio nacional de

2,1 toneladas por hectárea (SAGPyA 2008). Lo destinado a industria alimenticia no superaría las 20 mil toneladas.

Tabla 1.1. Producción mundial de granos forrajeros, temporada 2001/2002 a 2008/2009 (millones de toneladas).

|               | 01/02  | 02/03  | 03/04  | 04/05   | 05/06  | 06/07  | 07/08   | 08/09   |
|---------------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|---------|
| Maíz          | 600,34 | 603,26 | 627,09 | 714,73  | 698,76 | 712,20 | 791,60  | 787,27  |
| Cebada        | 143,35 | 134,44 | 142,21 | 152,42  | 136,24 | 136,47 | 133,06  | 153,93  |
| Sorgo         | 58,31  | 52,83  | 58,45  | 57,10   | 57,89  | 55,27  | 63,26   | 62,02   |
| Mijo          | 30,52  | 25,00  | 35,54  | 30,84   | 32,35  | 33,39  | 34,91   | 35,80   |
| Avena         | 27,03  | 25,60  | 26,24  | 25,65   | 23,84  | 23,08  | 25,28   | 26,66   |
| Centeno       | 22,56  | 20,31  | 13,98  | 17,03   | 14,52  | 12,41  | 14,34   | 17,31   |
| Granos mixtos | 13,00  | 13,41  | 12,19  | 16,89   | 15,21  | 13,06  | 14,71   | 14,81   |
| Total         | 895,10 | 874,85 | 915,70 | 1014,64 | 978,82 | 985,89 | 1077,15 | 1097,81 |

Fuente: USDA (2010).

Tabla 1.2. Principales productores de avena mundial, campaña 2008/2009.

| Orden         | País           | Millones de Tn | Proporción |
|---------------|----------------|----------------|------------|
| 1             | UE-27          | 8634           | 33,3       |
| 2             | Rusia          | 5400           | 20,8       |
| 3             | Canadá         | 4696           | 18,1       |
| 4             | Australia      | 1502           | 5,8        |
| 5             | Estados Unidos | 1313           | 5,1        |
| 6             | Belarús        | 600            | 2,3        |
| 7             | China          | 600            | 2,3        |
| 8             | Ucrania        | 550            | 2,1        |
| 9             | Brasil         | 475            | 1,8        |
| 10            | Argentina      | 470            | 1,8        |
| 11            | Chile          | 384            | 1,5        |
| 12            | Noruega        | 276            | 1,1        |
| 13            | Turkia         | 200            | 0,8        |
| 14            | Kazakhstan     | 160            | 0,6        |
| 15            | México         | 124            | 0,5        |
| 16            | Algeria        | 80             | 0,3        |
| Total Mundial |                | 25921          | 100        |

Fuente: USDA (2010).

### 1.2.2 Historia de la avena

La evolución de la avena como grano cerealero se ha asociado al desarrollo sociocultural de las comunidades Occidentales (Moore-Colyer, 1995). En la prehistoria, la avena era considerada una maleza contaminante del trigo y la cebada. La avena cultivada tuvo su primera aparición alrededor del año 1000 AC en regiones del norte de Europa Occidental (Barker, 1985). Hasta que se comenzó a utilizar como alimento humano, la avena fue utilizada para alimento animal, particularmente de caballos. Con el incremento en la población equina, sumado al desarrollo industrial, la demanda de avena se expandió. Esta situación, sumada a la necesidad de mantener el suministro de pan, obligó a algunos países del norte Europeo a comenzar a ser importadores de grano de avena.

A mediados del siglo XIX la avena comenzó a sembrarse en Latino América y fue utilizada como grano para molienda, industria y alimento de caballos, además de ser utilizada como cultivo de cobertura en sistemas de plantación sin labranza, como forraje para animales en pastoreo, y para forraje y ensilado.

La *Avena byzantina* fue probablemente la primera en ser introducida en el sur del continente, en Argentina y Uruguay, con el posterior incremento en su producción a comienzos del siglo veinte, siendo utilizada como forraje y como producción de grano (Boerger, 1943).

La avena es un cereal importante en Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Ecuador, Perú y Uruguay como forraje para el ganado. Además, en Brasil, Argentina y Chile, la avena es muy importante como grano de procesamiento industrial, y en dichos países se pueden encontrar extensas áreas sembradas con este cereal (Tabla 1.3).

Tabla 1.3 Valores medios ( $\pm$  errores estandar) de área cosechada de avena, rendimiento de grano y producción total de avena durante cinco años (1998-2002) en los principales países productores de Sudamérica.

| País      | Área cosechada<br>(Miles de ha) | Rendimiento de grano<br>(kg/ha) | Producción total<br>(Miles de tn) |
|-----------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| Argentina | 327,5 $\pm$ 45                  | 1742 $\pm$ 114                  | 574,0 $\pm$ 101                   |
| Bolivia   | 4,9 $\pm$ 0,46                  | 930 $\pm$ 7,8                   | 4,6 $\pm$ 0,07                    |
| Brasil    | 221,6 $\pm$ 28                  | 1217 $\pm$ 196                  | 274,0 $\pm$ 74                    |
| Chile     | 85,2 $\pm$ 6,8                  | 3396 $\pm$ 699                  | 292,0 $\pm$ 77                    |
| Ecuador   | 1,1 $\pm$ 0,19                  | 726 $\pm$ 40,8                  | 0,82 $\pm$ 0,16                   |
| Perú      | 63,6 $\pm$ 29,9                 | 134 $\pm$ 35                    | 8,4 $\pm$ 3,9                     |
| Uruguay   | 45                              | 1000                            | 45                                |

Fuente: FAOSTAT ([www.fao.org](http://www.fao.org) – del 20 de Febrero de 2006).

La avena, debido a sus múltiples usos, ha sido técnica y económicamente una alternativa viable en los sistemas de producción de Sudamérica. La inclusión de avena en la rotación de cultivos mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, reduce las enfermedades y plagas de otros cultivos y provee de biomasa para mantener la cobertura del suelo durante mucho tiempo, con gran reducción de malezas y la erosión del suelo.

### 1.2.3 Desarrollo del cultivo de avena en Argentina

En nuestro país, el área sembrada con avena está localizada entre la latitud 32° y 36°S. Los suelos son fértiles, las lluvias y temperaturas son adecuadas y los días son largos (primavera a verano), proveyendo una larga estación de crecimiento. La avena forrajera generalmente se siembra a principios del otoño y usualmente es pastoreada en invierno y primavera, con posterior cosecha del grano en verano. Cuando se siembra avena sólo para grano, la siembra se realiza durante los meses de junio o julio y la cosecha se realiza en diciembre o enero. Pueden ocurrir diversas heladas durante el

crecimiento del cultivo con heladas tardías que pueden dañar la producción de grano. Usualmente la avena se recupera más fácilmente de las heladas primaverales que los demás cereales aunque el daño por heladas al principio del otoño es particularmente perjudicial cuando el cultivo se destina a producción de grano (Wang, 2004).

Aunque la siembra de avena supera los 2 millones de hectáreas en Argentina, el área sembrada es relativamente baja, debido a que compite con cultivos cerealeros de mayor trascendencia económica como el trigo y la cebada. Desde el punto de vista sanitario, uno de los mayores problemas que padece la avena es la roya del tallo y de la hoja (*Puccinia graminis avenae* y *Puccinia coronata avenae* respectivamente). Desde 1993, la roya ha sido una enfermedad endémica observada principalmente en los meses de mayo, noviembre y diciembre, con severo daño en el rendimiento y calidad del grano.

El cultivar Suregrain introducido en la década del 60, ha sido el más importante para producción de forraje, abarcando una extensa área de nuestro país. Posteriormente, han sido desarrollados cultivares forrajeros tales como Millauquén INTA (1987), Cristal INTA (1990), Bonaerense Payé, Máxima INTA, Bonaerense INTA Calén y Bonaerense INTA Maja (2000). Aunque la mayoría de estos cultivares son semejantes en características sanitarias, Calén y Maja presentan mayor resistencia a la roya del tallo, la cual ha sido una de las mayores limitaciones en términos de producción de forraje, tal como fue mencionado.

A su vez, en nuestro país, algunos cultivares son utilizados específicamente para producción de grano. Los cultivares más importantes para este fin son el UFRGS 16 ó comúnmente llamado U 16, Maja, Calén y Bonaerense Payé. UFRGS 16 es un cultivar Brasileiro que ha mostrado resistencia a todos los tipos de royas del tallo en la región, y

ha sido sembrado en Argentina en los últimos 10 años con muy buena calidad de grano y molienda.

#### **1.2.4 Características ambientales para el cultivo de avena**

La avena crece en diferentes tipos de suelos alrededor del mundo. Se ha observado que la avena puede tolerar suelos ácidos con un pH de 4,5 (Stoskopf, 1985), pero para obtener altos rendimientos se requiere un pH no menor a 5,3 a 5,7 (Alam y Adams, 1979). Los suelos salinos son perjudiciales para el crecimiento de la avena. La avena se clasifica como de mediana tolerancia a la sal, con una reducción del rendimiento del orden de 50% cuando es sometida a una relación sal-humedad de 0,8 a 1,0 (Kelling y Fixen 1992). La avena es menos tolerante a la sal que el maíz y la cebada.

Los factores climáticos más importantes que afectan el crecimiento de la avena son la temperatura y la humedad, expresando un óptimo desarrollo en climas frescos y húmedos. Forsberg y Reeves (1995) explican que la avena requiere más humedad para producir una unidad de materia seca que otros cereales, excepto el arroz. Debido a la capacidad de retención de humedad, los suelos de textura media son más apropiados para el crecimiento de la avena. Sin embargo, con cantidad adecuada de agua, la avena puede crecer satisfactoriamente en suelos arenosos. Sorrells y Simmons (1992) afirman que las precipitaciones anuales en las regiones de crecimiento de la avena oscilan entre 380 a 1140 mm, pero que a menudo son de 760 mm o menos. Las variaciones en la distribución de las precipitaciones pueden también resultar desfavorables para la producción de avena. En el SO Bonaerense los valores medios de precipitación anual son de aproximadamente 645 mm.

La germinación de la avena tiene lugar a temperaturas del suelo de 3 a 5 °C, indicando que la siembra temprana es posible (Forsberg y Reeves, 1995). Sin embargo,

Nielsen et al. (1960) lograron un mayor rendimiento de paja y grano en invernáculo a temperaturas del suelo de 19 °C comparado con 5 °C. La siembra temprana garantiza el empleo de la humedad, evita la sequía y el calor del verano, y evita los daños causados por enfermedades, particularmente la roya de la hoja y del tallo. Forsberg y Reeves (1995) citan un estudio de 34 años en Nebraska en el cual observaron que retrasando la siembra en 10 y 20 días causaba una reducción del rendimiento de grano de 10 y 26% respectivamente. Estos autores además reportaron que las siembras tardías afectan también el peso hectolítrico del grano. Temperaturas de aproximadamente 13 a 19 °C resultaron en los mayores rendimientos de grano y paja (Sorrells y Simmons, 1992). Sin embargo, bajas temperaturas de crecimiento pueden incrementar el contenido de aceites de la avena, y pueden influenciar en la composición de ácidos grasos (Welch, 1995).

### **1.2.5 Composición química del grano de avena**

La composición nutricional del grano de avena es variable. Gran parte de la variación deriva de las diferencias entre los ambientes de crecimiento, variación en el genotipo, y de la interacción entre genotipo y ambiente. Otras diferencias pueden ocurrir como resultado de las condiciones de cosecha, almacenamiento y tratamientos post cosecha u otros procesos a los cuales el grano está sujeto antes de su uso final. Finalmente, pueden encontrarse diferencias en la composición debido a los métodos analíticos empleados.

El grano entero de avena consiste en la pepita (cariópside) y la cáscara (formada por dos cubiertas protectoras, la lemma y la pálea) que rodea o encierra a la pepita. La pepita y la cáscara contribuyen en distintos aspectos nutricionales de la composición del grano de avena. La mayor diferencia entre la cáscara y la pepita radica en el tipo de carbohidratos que contienen. La cáscara está principalmente compuesta de

carbohidratos estructurales que son de baja digestibilidad y por lo tanto afectan negativamente la digestibilidad total del grano de avena. La pepita contiene la mayoría de los carbohidratos de reserva, los cuales son rápidamente solubles y proveen de energía. Al igual que todos los cereales, la avena contiene otras fracciones nutricionales de interés como proteínas, lípidos, vitaminas y minerales, siendo la avena el cereal de mayor contenido de proteínas y lípidos (Peterson, 1992)

En la avena, el contenido de FDN puede llegar a superar el 30% en base a materia seca (NRC, 2000). Similarmente, la FDA alcanza valores de 10 a 15% sobre materia seca. Los carbohidratos que componen la fibra dietaria incluyen hemicelulosa, celulosa, gomas, pectinas y mucílago. Cuando se compara con la cebada, la avena contiene mayor cantidad de lignina. A pesar de no ser un carbohidrato, la lignina a menudo es incluida en la fibra dietaria. La lignina es un componente altamente indigestible que obstaculiza la digestión de los nutrientes asociados a ella. Esto es muy importante en la avena debido a que su contenido de lignina es variable y afecta la digestibilidad. Rowe et al. (2001) observaron que la mayoría de los cultivares presentaban un contenido de lignina entre el 3% en el grano entero (6 a 10% en la cáscara) al 1 % en el grano entero (1 a 3% en la cáscara).

Los carbohidratos incluyen azúcares simples así como también almidón y otros polisacáridos que componen la fibra dietaria. Los azúcares, que incluyen a los monosacáridos glucosa y fructosa así como también los disacáridos maltosa y sacarosa, han sido observados en una concentración de 1,1% en grano entero de avena (Welch, 1995). Wood et al. (1991) analizaron 11 cultivares canadienses observando un contenido de almidón de 54,9 a 63,6% en la pepita del grano de avena. Este rango es mucho menor comparado con otros granos cerealeros.

Otros compuestos de gran interés en el grano de avena son los  $\beta$ -glucanos. Los  $\beta$ -glucanos de la avena (Figura 1.1) son polisacáridos compuestos por unidades de glucosa unidas por enlaces  $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 4), las cuales están separadas cada 2-3 unidades simples de glucosa unidas por enlaces  $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 3). Estos compuestos se encuentran contenidos en el endosperma y en la capa de sub-aleurona de los granos cerealeros pudiéndose encontrar, en el grano de avena, en un rango de 2,2 a 6,6% (Genc et al., 2001). De todos los granos cerealeros, la avena y la cebada son los que presentan la mayor concentración de  $\beta$ -glucanos (Lee et al., 1997).

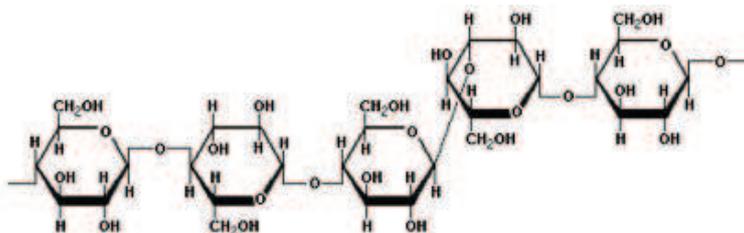


Figura 1.1 Estructura molecular de los  $\beta$ -glucanos.

El contenido de  $\beta$ -glucanos en el grano de avena puede tener un rol positivo en la salud humana por sus diversos efectos benéficos. La administración de alimentos y drogas (FDA) en Estados Unidos ha aceptado a los  $\beta$ -glucanos de la avena como un bioingrediente funcional activo, al encontrar una asociación entre el consumo de avena (harina, copos y salvado de avena) y un menor riesgo de enfermedad coronaria (Cui y Wood, 2000). La FDA realizó una revisión de 37 estudios en los cuales la avena era consumida como cereales calientes y fríos en una variedad de alimentos, por ejemplo muffins, pan y batidos. Ellos concluyeron que deberían ser consumidos diariamente 3 g de  $\beta$ -glucanos, provenientes del consumo de avena, para alcanzar una disminución clínicamente relevante en la concentración sérica de colesterol total. Dicha cantidad es provista por aproximadamente 40 g de salvado de avena ó 60 g de harina de avena

respectivamente (FDA, 1996). En otros estudios clínicos también se observó la capacidad de los  $\beta$ -glucanos de reducir los niveles de colesterol sérico y atenuar la glucosa posprandial en sangre así como también la respuesta a la insulina (Klopfenstein, 1988; Newman et al., 1989; Wood, 1991; Kahlon et al., 1993; Braaten et al., 1994; Wood et al., 1994; Kalra and Jood, 2000).

Otro rol importante de los  $\beta$ -glucanos es su capacidad inmunomoduladora. Los  $\beta$ -glucanos son llamados modificadores de la respuesta biológica típica, con pronunciada actividad inmunomoduladora. Generalmente el efecto es inmunoestimulante. Grandes efectos inmunoestimulantes han sido demostrados en todas las especies de animales testeadas, incluyendo lombriz de tierra, (Kohlerova et al., 2004), camarón, (Chang et al., 200), peces (Anderson, 1992), ratones, ratas (Feletti et al., 1992), conejos, cerdos, ovejas y vacas (Buddle et al., 1988).

El efecto mejor conocido de los  $\beta$ -glucanos consiste en el aumento de la fagocitosis por parte de granulocitos, monocitos, macrófagos y células dendríticas (Quinn, 1990). Los macrófagos son constituyentes del sistema inmune no específico (innato, no adaptativo), los cuales además de la fagocitosis, forman parte de una familia de proteínas séricas denominada complemento. Esta inmunidad innata está basada en receptores no clonales, los cuales reconocen ciertas moléculas en la superficie de los microorganismos invasores, denominadas colectivamente patrones moleculares asociados al patógeno (PMAP). Estos PMAP son diferentes a las moléculas del hospedador, no están sujetos a variabilidad y son evolucionariamente conservados. Diferentes biopolímeros, incluyendo los  $\beta$ -glucanos, pertenecen a esta familia de PMAPs. De este modo, los  $\beta$ -glucanos serían reconocidos por los macrófagos como moléculas extrañas, desencadenando la actuación de los macrófagos a través de una serie de cascadas de señales (Novak y Vetvicka, 2009).

La activación de macrófagos representa parte de un proceso complicado que, como consecuencia de su activación, desencadena la secreción de moléculas que inician el proceso de natural de inflamación. La inflamación es un proceso esencial protector que preserva la integridad del organismo contra ataques físicos, químicos e infecciosos. Sin embargo, la respuesta inflamatoria a diversos ataques puede causar daño en el tejido. Si el impacto nocivo persiste, una inflamación patológica puede tener lugar, pudiendo generar desórdenes inmunes (procesos autoinmunes). Evidencias recientes sugieren que los  $\beta$ -glucanos podrían modular la producción de citoquinas proinflamatorias de linfocitos y monocitos durante la sepsis, logrando que éstos produzcan menos citoquinas proinflamatorias (Soltys et al., 1999). Adicionalmente, el tratamiento con  $\beta$ -glucanos incrementa el nivel de apoptosis celular, sugiriendo que las células inflamatorias inducidas por el proceso séptico sean eliminadas de la circulación sanguínea. De este modo, los  $\beta$ -glucanos actuarían favoreciendo el sistema inmunológico y modulando los procesos inflamatorios.

La concentración de proteína en grano entero de avena es superior a la observada en otros granos cerealeros y también muestra un amplio rango entre los diferentes cultivares. Sin embargo, en la cáscara dicha concentración es baja, de modo que la variación en el contenido de proteína dependerá del porcentaje de pepita y cáscara. A diferencia de otros cereales, los cuales presentan la mayor cantidad de proteína en forma de prolaminas, en la avena las proteínas se almacenan principalmente en forma de globulinas, representando por encima del 75% del total de las proteínas, mientras que las prolaminas representan aproximadamente un 10% del total (Peterson, 1992). Además de estas proteínas, en la avena se encuentran albúminas y glutelinas. Las albúminas representan enzimas del germen y la aleurona, mientras que las glutelinas son

las proteínas residuales obtenidas luego de que las albúminas, globulinas y prolaminas son extraídas.

Welch (1995) citó diversos estudios de Europa y Norteamérica en los cuales se observó una significativa correlación negativa entre el contenido de proteína y lípidos en avena. Sin embargo, el mismo autor mencionó otros estudios realizados en la misma región, en los cuales no se encontró relación entre el contenido de proteína y lípidos. El contenido de proteínas y lípidos en avena son generalmente mayores que en otros granos cerealeros.

Los lípidos de la avena han mostrado tener un gran potencial tecnológico y nutricional. El grano de avena es relativamente rico en lípidos comparado con otros cereales y puede oscilar entre 3 y 11% en diferentes cultivares, con líneas experimentales que alcanzan 18% (Frey y Holland, 1999). Sin embargo la mayoría de los cultivares poseen alrededor de 5 a 6% de aceites (Doehlert et al., 2001). La fracción lipídica del grano de avena contribuye a su contenido energético y tiene un impacto en la calidad nutricional en función de la composición de sus ácidos grasos. El contenido de aceites en la avena es de gran importancia tanto en la nutrición humana como animal. Se ha reportado que el contenido de aceites está genéticamente determinado. De esta manera los mejoradores buscan cultivares con altos contenidos de aceites para nutrición animal y cultivares con bajos contenidos para la industria alimenticia para seres humanos. A su vez, los lípidos probablemente estén implicados en las propiedades reológicas, sabor y estabilidad del grano (Zhou et al., 1999).

El contenido de minerales totales (expresado como cenizas) es superior en avenas respecto de otros granos cerealeros. A su vez, la proporción relativa de diversos minerales presenta diferencias respecto de los demás cereales. La mayoría de los minerales en la avena están asociados con el salvado (Peterson, 1992). Cuando la

cáscara es removida, todos los minerales, excepto el Cr, se incrementan debido a que los minerales están poco asociados a la cáscara. En la tabla 2.3 se puede observar la composición mineral de diferentes granos cerealeros.

Tabla 1.4 Composición mineral de diferentes granos cerealeros.

| <b>Minerales</b>   | <b>Avena</b> | <b>Cebada</b> | <b>Trigo</b> | <b>Maíz</b> | <b>Sorgo</b> |
|--------------------|--------------|---------------|--------------|-------------|--------------|
| Ca, %              | 0,01         | 0,05          | 0,05         | 0,03        | 0,04         |
| P, %               | 0,41         | 0,35          | 0,44         | 0,32        | 0,34         |
| Mg, %              | 0,16         | 0,12          | 0,13         | 0,12        | 0,17         |
| K, %               | 0,51         | 0,57          | 0,40         | 0,44        | 0,44         |
| S, %               | 0,21         | 0,15          | 0,14         | 0,11        | 0,14         |
| Cu, mg/kg          | 8,60         | 5,30          | 6,48         | 2,51        | 4,70         |
| Fe, mg/kg          | 94,10        | 59,50         | 45,10        | 54,50       | 80,80        |
| Mn, mg/kg          | 40,30        | 18,30         | 36,60        | 7,89        | 15,40        |
| Zn, mg/kg          | 40,80        | 13,00         | 38,10        | 24,20       | 0,99         |
| Cenizas totales, % | 3,30         | 2,40          | 2,01         | 1,46        | 1,87         |

Fuente: NRC (1996)

Podemos observar que el contenido de cenizas totales es superior en la avena, sin embargo presenta la menor proporción de Ca y una elevada proporción de P. El calcio posee diversas funciones vitales para el organismo animal (coagulación sanguínea, permeabilidad de membranas, contracción muscular, transmisión de impulsos nerviosos, regulación cardíaca, entre otras). La función del P está involucrada en el crecimiento celular, utilización y transferencia de energía de energía (ATP, ADP, AMP) formación de fosfolípidos, y regulación ácido-base. A su vez el P es requerido por los microorganismos ruminales para su crecimiento y metabolismo. El Ca y el P están involucrados en la formación ósea. Una relación Ca:P superior a 1:1 sería adecuada para cubrir los requerimientos de animales en crecimiento. (NRC, 1996). Así mismo, la avena presenta los mayores contenidos de S (el cual es utilizado por los microorganismos ruminales para producir aminoácidos azufrados), Cu (componente esencial de

numerosas enzimas) y Zn (enzimas que requieren zinc están involucradas en el metabolismo de ácidos nucleicos, de proteína y de carbohidratos).

Dada la alta proporción de cáscara en las avenas cubiertas, a diferencia de otros granos, existen estudios sobre la composición diferencial entre la cáscara y la pepita. Crosbie et al. (1985) reportaron que la proporción de cáscara en el grano entero de avena oscila entre 20 a 30% y varía dependiendo de factores ambientales y genéticos.

La composición estructural de la cáscara es radicalmente diferente de la pepita. La cáscara es muy fibrosa y está compuesta principalmente de carbohidratos estructurales y otros materiales de la pared celular (Welch, 1995). Los carbohidratos que componen la fibra de la cáscara están representados por hemicelulosa, celulosa junto con gomas, pectinas y mucílagos. Thompson (2001) analizó la cáscara de diez cultivares de avena para cenizas, PB, FDN, FDA, LDA y DIVMS. La cáscara fue variable en el contenido de cenizas (4,7 a 7,3%) y LDA (1,3 a 7,7%). Sin embargo las muestras fueron similares en el contenido de FDN (79,9 a 88,2%), FDA (42,5 a 49,6%) y PB (2,3 a 4,5%), mientras que una relación inversa entre el contenido de lignina de la cáscara y su DIVMS fue observada. En ese estudio el cultivar con menor contenido de lignina (1,3%) obtuvo una digestibilidad de 68,2%, mientras que el cultivar de mayor contenido de lignina (7,7%) obtuvo el menor valor (33,1%). Otros investigadores han reportado relaciones inversas entre el contenido de lignina y la digestibilidad de los alimentos (Crosbie et al., 1985; Garleb et al., 1991; Jung et al., 1997).

La cáscara de la avena contiene muy bajas cantidades de almidón, carbohidratos solubles, proteína y aceites. Muestras de diferentes genotipos analizada en el Reino Unido mostraron 0,3 a 1,8% de almidón, 0,2 a 0,8% de carbohidratos solubles, 0,09 a 0,47% de aceites, y 2,0 a 4,9% de proteínas (Welch et al., 1983). Similarmente, el trabajo de Berkelo y Lounsbery (1991) presentaron valores de PB que varían entre 3,4 a

8,8%. Estos mismos autores además reportaron valores de FDN de 56,9 a 61,4%, los cuales son menores a los citados por Thompson (2001).

Los nutrientes solubles se encuentran en la pepita de la avena. Welch (1995) reportó que los carbohidratos son los constituyentes mayoritarios en la pepita, pero a su vez son los de mayor variabilidad. Gran parte de la variación puede ser atribuida a los métodos analíticos. El grano entero de avena generalmente posee menor contenido de proteína y aceites que la pepita. Esto es debido al efecto de dilución que genera el alto contenido de fibra en la cáscara. El contenido de fibra en la pepita es substancialmente menor que en la cáscara. Los mayores carbohidratos contenidos en la pepita son los carbohidratos de reserva, principalmente el almidón y algunos azúcares. La pepita de avena es un alimento ideal para monogástricos, particularmente para dietas de lechones y aves de corral. La avena descascarada muestra similares niveles de producción cuando se suministra a vacas lecheras, respecto del maíz y puede llegar a reemplazar al maíz en la dieta (Petit y Alary, 1999).

A pesar de que está ampliamente reconocido que la pepita de avena posee cualidades nutricionales superiores comparada con otros cereales, su uso no ha sido generalizado por una variedad de razones. Por ejemplo, el descascarado es costoso y no estaría fácilmente disponible para cada situación de producción. Adicionalmente el procesado no es práctico cuando se encuentran alimentos más accesibles económicamente. La siembra de avena desnuda ha tenido limitado éxito debido a defectos agronómicos en el stock genético e inadecuada técnica de cosechado, limpieza, almacenado, clasificación y procesamiento y comercialización (Schrickel et al., 1992). A pesar de estos obstáculos, el mejoramiento de cultivares de avena desnudas continúa desarrollándose. Simultáneamente, puede ser más práctico el mejoramiento del grano entero de avena, particularmente en áreas relacionadas con la nutrición de rumiantes,

donde la cáscara fibrosa puede tener un impacto favorable, sobre todo en dietas con alta proporción de grano. Adicionalmente este grano, al menos teóricamente, estimularía la masticación por su mayor contenido de fibra. La masticación estimula la producción de saliva amortiguando el pH ruminal.

### **1.2.6 El grano de avena en la alimentación animal**

La incorporación de granos a la dieta en rumiantes se realiza fundamentalmente para incrementar el aporte de energía. Comparado con otros granos cerealeros, el grano de avena es el de menor densidad energética, lo cual se relaciona con su relativamente alto contenido de fibra, provocando que el almidón se encuentre en menor concentración (aproximadamente 400 g/kg MS). El almidón del grano de avena es casi totalmente digerido en el rumen (98,5%) por acción de los microorganismos (Theurer, 1986; Opatpatanakit et al., 1995). Esto se debe a su alta solubilidad a nivel ruminal (95,7%) según lo reportado por Ørskov (1986), siendo por esta razón un grano de interés para ser utilizado como suplemento energético sobre recursos forrajeros con alto contenido de proteína soluble.

El alto contenido de fibra del grano de avena, a pesar de contribuir a atenuar el contenido energético, presenta ventajas desde el punto de vista sanitario ya que disminuye el riesgo acidosis en animales sometidos a condiciones de suplementación poco controladas. A su vez, la fibra ayuda a prolongar el tiempo de permanencia del grano en el rumen permitiendo una mejor digestión del mismo (Ørskov, 1986)

Otra particularidad del grano de avena es que en promedio es el de mayor contenido de aceite (Mc Donald et al., 1995), como fue mencionado previamente. La determinación del contenido de aceite resultaría de trascendencia para establecer potenciales diferencias entre cultivares. Cultivares con mayor contenido de aceite

incrementarían el aporte de energía y en consecuencia el valor nutritivo relativo del grano de avena. Por otra parte, la proporción relativa de ácidos grasos también puede modificarse por el contenido de materia grasa y cultivar del que provenga. En granos de avena se detectaron los ácidos palmítico, esteárico, oleico, linoleico, linolenico y eicosanoico, y en proporciones muy bajas mirístico y palmitoleico. El ácido linoleico puede representar el 15% del total de ácidos grasos (Saastamoinen et al., 1990). Otras fuentes reportan concentraciones mayores superando el 37% (Givens et al., 2004).

Así, la concentración de diferentes ácidos grasos puede impactar en forma diferencial sobre la composición del producto final. En este sentido, la concentración de ácido linoleico en la dieta contribuye a modificar la composición de la res bovina. El ácido linoleico es uno de los precursores de la síntesis de isómeros del ácido linoleico conjugado (CLA), tanto a nivel ruminal como en el metabolismo intermedio en rumiantes (Griinari y Bauman, 1999).

El CLA es un conjunto de isómeros geométricos y posicionales del ácido linoleico [cis-9, cis-12 (c9,c12)- 18:2]. Este conjunto de isómeros responden a una estructura espacial determinada por dos dobles ligaduras, separadas por una ligadura simple. El conjunto de isómeros de CLA encontrados se caracterizan por poseer las asociaciones trans-trans, trans-cis, cis-trans y cis-cis. Las posiciones encontradas son 7,9; 8,10; 9,11; 10,12 y 11,13; siendo los isómeros c9,t11 y t10,c12 los de mayor concentración encontrados en carnes vacunas, alcanzando un valor del 80% del total y en una relación aproximada de 1:1 (Mulvihill, 2001).

La figura 1.2 muestra en forma comparativa las estructura del ácido linoleico (C18:2, 9c-12c) y de los isómeros del ácido linoleico conjugado (C18:2, 9c-11t y 10t-c12).

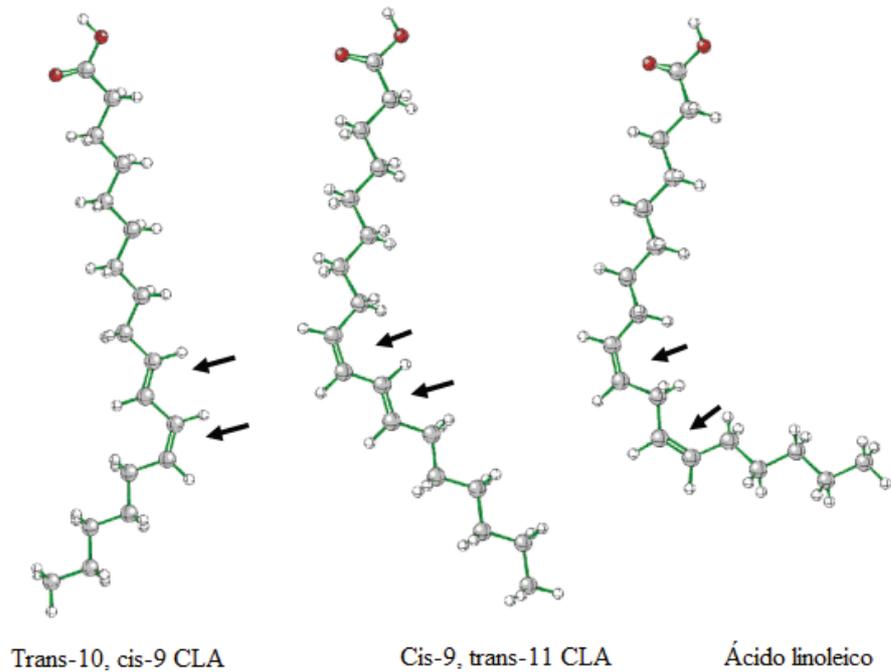


Figura 1.2 Estructura del ácido linoleico, c9-t11 CLA y t10-c12 CLA.

El CLA se sintetiza mayoritariamente en el rumen de los animales a través de la biohidrogenación del ácido linoleico. Dicho proceso es llevado a cabo principalmente por una bacteria llamada *Butyrivibrio fibrisolvens* la cual al realizar la hidrogenación del ácido linoleico para transformarlo en un ácido graso monoinsaturado, genera como intermediario del proceso a los diferentes isómeros del CLA (Griinari y Baumann, 1999; Kim et al., 2000). A su vez otra vía metabólica para la formación de CLA puede ocurrir en el hígado de los rumiantes, y posiblemente también en los mamíferos no rumiantes. El ácido vaccénico (18:1, 11t) es producido por la hidrogenación del ácido linoleico en el rumen. Este ácido graso puede ser posteriormente desaturado en el carbono 9 por una enzima llamada  $\Delta$ -9 desaturasa que se encuentra en tejido graso o glándula mamaria (Steinhart, 1996; Duckett et al., 2002; Poulson et al., 2004) transformándolo en CLA (forma 9c-11t). Esta podría ser la razón por la cual en los mamíferos no rumiantes, incluidos los humanos, también se encuentra CLA en sus

tejidos y secreciones (Yurawecz et al., 1998), aunque en menor proporción que en los rumiantes. Al consumir carne de rumiantes (o productos lácteos), conteniendo ácido vaccénico, este sería transformado en CLA por la desaturación enzimática, proceso que incrementaría el aporte de CLA proveniente de la carne y de la leche de rumiantes (Ackman et al., 1981).

Se ha observado que el CLA posee importantes efectos fisiológicos (aún en bajas concentraciones) y en numerosos estudios se ha demostrado que es un potente inhibidor de la carcinogénesis (Ip, 1997; Aro et al., 2000; Visonneau et al., 1997; Shultz et al., 1992; Pariza et al., 2001), estimula el sistema inmune (Sugano et al., 1998; Hayek et al., 1999; Miller et al., 1994), es un poderoso antioxidante (Pariza et al., 2001; Yu, 2001; Zhang y Cheng, 1997) posee propiedades antiaterogénicas (Lee et al., 1994) y anticolesterolémicas (Pariza et al., 2000; Baumann et al., 2001).

En rumiantes se ha observado que el contenido de CLA varía de acuerdo al tipo de dieta suministrada durante el período de crecimiento y engorde del animal. Por ejemplo, en animales alimentados a base de pastoreo se encontraron niveles de CLA entre 5,4-10,8 mg CLA/g MEAG (metil ésteres de ácidos grasos), comparado con 3,7 mg CLA/g MEAG encontrado en animales alimentados con concentrados. (Poulson et al., 2004). Granos de alto contenido de aceite, como la avena, en la dieta de bovinos puede contribuir a mejorar la ECA y simultáneamente mantener o incrementar el contenido de CLA en la carne (Marinissen, 2007).

En Argentina, la utilización de granos en la alimentación de bovinos de carne, sobre todo en la fase de terminación, es inferior a otros países como Estados Unidos o Canadá, donde los procesos intensivos de terminación son prácticas comunes. Sin embargo, puede especularse que la suplementación con grano de avena podría producir carne más magra y con una concentración más elevada de CLA que es un rasgo

deseable. La identificación de granos de avena de alto valor energético por su alto contenido de aceite puede contribuir a hacer más eficiente su uso en programas más intensivos de alimentación. Esto se lograría sin modificar o aún contribuyendo a mejorar las propiedades de la carne obtenidas en condiciones de pastoreo (Marinissen et al., 2004 a y b)

### **1.2.7 Características agronómicas y composición química del verdeo de avena**

La avena ha sido históricamente usada como alimento y como forraje en todo el mundo (Moreira, 1989; Zhang et al., 1998; Wu, 2007). En Argentina la avena es cultivada en una superficie que fluctúa entre dos a tres millones de hectáreas anuales (Wehrhahne y Carbajo, 1997). En 1994, 12 a 14% de la superficie era utilizada para producir grano y el resto era destinado a la producción de forraje verde. En tanto, en el año 1974, 30% de esta superficie se destinaba a la producción de grano y 70% para producir forraje de invierno o verdeo (Tomaso y Bucar, 1994). La avena es ampliamente utilizada debido a que es fácilmente cultivada, posee un rápido desarrollo, alcanza altos rendimientos cuando se realiza un buen manejo del cultivo y posee un alto potencial de rebrote. Así, Carr et al. (2001) han reportado que el forraje de avena produce una mayor producción de MS que los demás cereales forrajeros en la mayor parte de Norte América.

El rendimiento de MS, en términos de biomasa forrajera, y la calidad de un forraje están relacionados con el potencial para producir una respuesta animal deseada. El rendimiento de biomasa forrajera presenta gran variabilidad. Distintos autores reportan rendimientos de MS, para todo el ciclo de crecimiento, de 2800 a 3500 kg/ha (Maloney et al., 1999; Francia et al., 2006), mientras que otros indican valores de 6700 kg/ha (Contreras-Govea y Albrecht, 2006). Respecto al rendimiento por cortes, dentro de los

ciclos productivos, hay poca información publicada. En Argentina se han reportado rendimientos de MS de 470 y 1278 kg/ha para el primer y segundo corte respectivamente (Altuve, 2005). La avena usualmente alcanza el máximo rendimiento en estado de floración y la calidad alimenticia óptima en el estado de panoja embuchada (Yang and Hu, 1991).

La calidad de un forraje está determinada por el nivel de nutrientes, composición, palatabilidad, digestibilidad y factores anti nutricionales. Ciertos factores influyen en la calidad del forraje, por ejemplo el genotipo, estado de madurez en el momento de corte y modalidad de preservación del forraje. Por otra parte otros aspectos provienen del impacto de factores ambientales tales como el tipo de suelos, fertilidad, cantidad de horas de luz y temperatura media (Ball, 2000). Dentro de los parámetros de calidad, los más estudiados y determinados analíticamente por su implicancia en sistemas de producción de animales rumiantes son la MS, PB, CNES y fracciones de pared celular.

El contenido de materia seca de un forraje es un parámetro a tener en cuenta en la alimentación de rumiantes a pastoreo. Dentro de las células de las plantas, el agua se encuentra contenida en su mayoría en la vacuola y el citoplasma. A medida que la planta crece, la cantidad de protoplasma aumenta, pero lo hace en mayor medida la pared celular (Garza et al., 1965). Un aumento en la proporción de tejido estructural, disminuye la proporción de contenido celular y por ende el contenido de agua. De modo que la biomasa acumulada (Wilman, 1970), la relación tallo/hoja (Boudon y Peyraud, 2001) y la edad del rebrote (Delagarde et al., 2000) están asociadas positivamente con la proporción de MS del forraje. A su vez, el contenido de MS es mayor en primavera que en otoño (Elizalde et al., 1994; Delagarde et al., 2000) debido a que el crecimiento de otoño suele tener mayor relación hoja /tallo que el de primavera (Boudon y Peyraud, 2001).

El contenido de proteína de un forraje usualmente es considerado uno de los criterios más importantes para la evaluación de la calidad del forraje.(Caballero et al., 1995). El mismo disminuye a medida que avanza el estado de madurez de las plantas (Cherney and Marten 1982). Al avanzar los días de reborte la acumulación de biomasa se incrementa y la concentración de N en las plantas disminuye a medida que avanzan en su desarrollo (Reeves, Fulkerson y Kellaway, 1996). Esto indica que a medida que el cultivo se desarrolla y crece, el N se acumula a una tasa progresivamente menor que el C, de modo que el responsable de la disminución en el porcentaje de N en la planta a medida que se incrementa la biomasa es el aumento en la proporción de tejido celular (Lemaire y Gastal, 1997).

En cultivares de avena sembrados en Cabildo a fines de verano se observaron valores de PB que oscilaron entre 24,4 y 28,5% para el primer corte y entre 23,8 y 26,8% para el segundo corte (Arelovich et al., 1996). Por otro lado, en la localidad de Pasmán, Arzadún et al. (1996) reportaron niveles de PB de 18,5 y 14,8 % para el primer y segundo corte respectivamente.

Debido a que los rumiantes son capaces de digerir los carbohidratos estructurales del forraje como fuente primaria de energía, las características de los carbohidratos han sido de gran interés como el mayor factor en determinar la calidad de un forraje. Los carbohidratos en la planta se pueden clasificar como carbohidratos no estructurales (CNE) y estructurales (pared celular). Los CNE pueden ser:

- Solubles en alcohol: azúcares reductores (glucosa y fructosa) y azúcares no reductores (sucrosa). Se consideran azúcares libres.
- Solubles en agua: fructanos. Se consideran azúcares de reserva.
- Solubles en ácido sulfúrico: principalmente almidón.

Los carbohidratos solubles en alcohol más los solubles en agua constituyen la fracción denominada “Carbohidratos no estructurales solubles” (CNES). Los CNES más los carbohidratos solubles en ácido constituyen la fracción denominada “carbohidratos no estructurales totales” (CNET) (Letchenberg et al., 1972; Ceconi, 2005).

Generalmente, en las gramíneas, la acumulación de carbono atmosférico se realiza inicialmente en forma de carbohidratos no estructurales. Los carbohidratos son utilizados por las plantas como sustrato para el crecimiento o biosíntesis de proteínas, para síntesis de carbohidratos estructurales y para la respiración. Las principales reservas de carbohidratos se encuentran en la base de los tallos (Waite y Boyd, 1953). El nivel de carbohidratos solubles se incrementa a partir de la elongación de los tallos junto con el incremento en el área foliar. Los valores máximos de acumulación se alcanzan en floración, momento en el cual la capacidad fotosintética es elevada y la demanda de carbohidratos para crecimiento es menor (Wulfes et al. 1999). Luego de la floración y en el llenado de la semilla, los carbohidratos solubles disminuyen y aumenta la síntesis de carbohidratos estructurales destinados a la estabilidad de los tallos.

La acumulación de carbohidratos depende del balance entre la fotosíntesis, el crecimiento y la respiración, así los factores que afecten el crecimiento y la actividad fotosintética, tales como la radiación, temperatura, agua, nutrientes y defoliación, afectarán el nivel de CNET. Los factores climáticos y de manejo pueden afectar el nivel de carbohidratos de manera directa a través del efecto que ejercen sobre la fotosíntesis y la respiración pero también indirectamente mediante modificaciones en el estado fenológico de las plantas (Wulfes et al., 1999). A su vez, Smith (1975) reportó que la concentración de CNES en avena se incrementa cuando la temperatura cambia de cálido a frío, como respuesta natural de adaptación al clima.

El estado fenológico, a través de cambios en la proporción hoja/tallo, tiene un efecto principal en la composición química de los forrajes. Muchos autores afirman que las vainas y tallos de las gramíneas contienen más CNES que las láminas (Terry y Tilley, 1964; Wilman y Altimimi, 1984). De modo que a medida que aumenta la biomasa y la relación hoja/tallo disminuye, el nivel de CNES aumenta (Valentine y Charles, 1979).

El valor nutritivo de un forraje implica no sólo la proporción de nutrientes presentes en la planta, sino también el consumo y la digestibilidad por los animales. (Ingalls et al., 1965). Por otra parte, el consumo y la digestibilidad de los forrajes están asociados al contenido de pared celular. El contenido de pared celular está representado por la fracción denominada FDN la cual es el residuo que se obtiene después de una solubilización del alimento en un detergente de pH neutro. Esta fracción está compuesta por hemicelulosa, celulosa, lignina, cenizas y proteína ligada. De todas las fracciones fibrosas, la FDN es la que mejor se correlaciona con el consumo voluntario, siendo por esto la fracción más importante dentro de la fibra a considerar. En un trabajo reciente, Arelovich et al. (2008) reportaron el alto grado de asociación entre FDN e ingestión de materia seca, tanto en dietas de feed lot como en vacas lecheras, aun para contenidos bajos o intermedios de FDN en la dieta.

La fibra en detergente ácido (FDA) es el residuo que se obtiene de la solubilización del alimento en un detergente de pH ácido. Este detergente solubiliza a la hemicelulosa además de los mismos componentes que el detergente neutro. Se han encontrado asociaciones estadísticas positivas entre concentración de FDA y digestibilidad (Weiss, 1994)

La lignina es un polímero sin una estructura definida, que contiene alcoholes, ácidos fenólicos y compuestos no fenólicos (Jung y Allen, 1995). Por lo general se

considera que la lignina es la fracción responsable de limitar en mayor medida la digestión de la fibra, y a veces de la proteína. Sin embargo, investigaciones recientes sugieren que el contenido de lignina per se no sería responsable de la disminución de la digestión de la fibra, sino que la acción de la lignina consistiría en reducir el acceso de las enzimas hidrolíticas a la fibra digestible (Jung y Allen, 1995). De modo que conocer el valor de lignina de un forraje tiene importancia dada su relación con la digestibilidad de dicho alimento (Cherney, 2000).

A medida que la biomasa se incrementa y el área foliar se desarrolla, las plantas deben invertir una mayor proporción de carbono en la producción de tejidos de sostén (Lemaire y Gastal, 1997), de modo que el contenido de FDN, FDA y lignina aumentan con la madurez de las plantas. Esto se observa en un trabajo reportado por Arelovich et al. (2004) en el cual un forraje de avena sembrado a principios de marzo presentó valores de FDN de 44,2; 45,2; 61,6 y 59,6% y de FDA de 24,4; 24,3; 21,3 y 31,7 para forraje de avena cortado el 4 de julio, 1 de agosto, 28 de agosto y 17 de septiembre respectivamente.

### **1.2.8 Utilización de verdeos de avena por rumiantes**

En Argentina, la estación de pastoreo de la avena es desde el otoño a la primavera, encontrando, en bovinos, ganancias de peso medias de aproximadamente 600 a 800 g/d (Wheeler, 1981; Rosso y de Verde, 1992; Arelovich et al., 2003; Arelovich et al., 2004). Si bien los forrajes frescos representan una fuente muy importante de nutrientes para los rumiantes, la utilización de los mismos como único componente de la dieta presenta algunas limitaciones desde el punto de vista productivo. Uno de los factores a tener en cuenta para ello es la cantidad de forraje disponible ya que puede ser una causa de la baja performance animal. La asignación de forraje no debe ser una limitante para

alcanzar el máximo consumo posible por parte del animal (Bodine et al., 2001; Coleman y Moore, 2003). Peterson et al. (1965) describieron la relación lineal que existe entre la disponibilidad de forraje y la ganancia diaria de peso (GDP) hasta llegar al máximo consumo voluntario de MS y en este sentido El NRC (1987) reporta una máxima ingestión de MS con disponibilidades de forraje de aproximadamente 2250 kg MS/ha.

En verdeos de invierno, la disponibilidad de MS por unidad de superficie disminuye hacia el final del invierno, de modo que bajas GDP en otoño-invierno pueden ser atribuidas a este efecto. Sin embargo, disminuyendo la carga o igualando la asignación de forraje a la primavera, las ganancias de otoño resultan siempre bajas (Marsh, 1975). Al comparar la disponibilidad de MS y GDP individual, Maddaloni et al. (1980) observaron que las diferencias en GDP eran mas influenciadas por las variaciones climáticas a través del año que por la disponibilidad registrada al inicio y al final del período de pastoreo, ya que dicha disponibilidad se mantuvo en los 1570 kg MS/ ha.

Empíricamente es conocida la deficiente productividad de animales en crecimiento-terminación activo en las primeras etapas de desarrollo de cereales invernales. A pesar de la trascendencia de los verdeos de invierno, y el de la avena en particular, en la cadena forrajera, la información científica referida a las posibles causas de las bajas ganancias de peso otoñales es deficiente. Sin embargo, algunos investigadores sugieren un desbalance proteína/energía (Hogan y Weston, 1969; Elizalde y Santini, 1992). En los meses de otoño-invierno y en respuesta a la fertilidad de los suelos, los verdeos frecuentemente incrementan los niveles de nitrógeno no proteico, mucho del cual está presente como nitrato y, sumado a esto, presentan baja concentración de carbohidratos solubles (Wright y Davison, 1964; Van Vuuren et al., 1990), lo cual podría explicar el desbalance entre el contenido de N, C y ATP

necesarios para realizar la síntesis de proteína microbiana a nivel ruminal. Por otro lado, tanto los carbohidratos estructurales como los no estructurales son degradados en el rumen produciendo ácidos grasos volátiles (AGV) y otros productos finales los cuales, una vez absorbidos, son utilizados por el animal fundamentalmente como fuente de energía (Czerkawski, 1986). Para lograr la máxima eficiencia en la GDP Ørskov (1982) sugiere que la relación acético/propiónico (Ac/Pr) en el rumen debería ser menor o igual 3:1. Una relación  $\leq 3:1$  se logra con dietas que contengan altas proporciones de carbohidratos más rápidamente fermentables, es decir CNE. Elizalde y Santini (1992) hallaron en verdeos de avena valores de CNE de 6,23% en otoño y 15,65% en primavera, observando que la proporción Ac/Pr disminuyó de 4,14 en otoño a 3,05 en la primavera, lo que implica que el propiónico se incrementó con el avance del estado vegetativo del forraje. De esta manera y no existiendo otras limitantes podrían esperarse mayores GDP hacia la primavera.

A su vez en verdeos invernales, el N proteico se caracteriza por su gran degradabilidad ruminal lo que, sumado al elevado contenido de N no proteico (NNP), se manifiesta en altas concentraciones de  $\text{NH}_3$  ruminal (Van Vuuren et al., 1990; Hersom, 2008). Así, verdeos con alto contenido de N podrían generar altas concentraciones ruminales de  $\text{NH}_3$ , lo que puede inducir a substanciales pérdidas de N por difusión del mismo a través de las paredes ruminales para ser detoxificado en hígado.

La avena es utilizada como verdeo invernal de preferencia para vacas lecheras. Los animales que pastorean este forraje son generalmente suplementados con energía y proteína para incrementar la producción de leche y la carga animal (García et al., 2000). Se ha observado que el contenido y la degradabilidad ruminal de la proteína en verdeos invernales de avena disminuyen durante la estación de pastoreo (Elizalde et al., 1996). Estos factores afectan la cantidad de proteína dietaria que llega al intestino delgado.

Durante el otoño e invierno, la degradabilidad de la proteína en forrajes de avena supera el 80% (Elizalde et al., 1996; García et al., 2000). Si el contenido de proteína de las avenas de invierno son inferiores al 15% (caso que puede ocurrir en situaciones de manejo del cultivo sin fertilización), la alta degradabilidad ruminal de la proteína puede generar una insuficiente cantidad de N que llegue al duodeno. En estos casos la suplementación con concentrados que contengan proteína no degradable en rumen podrían reducir las pérdidas de amonio en vacas lecheras pastoreando verdeos de avena.

Otro aspecto de impacto sobre la productividad animal se refiere al elevado contenido de agua de los forrajes en estado vegetativo temprano. Verité y Journet (1970) hallaron un impacto negativo sobre el consumo voluntario cuando la concentración de materia seca era inferior al 20%. Este efecto negativo sobre el consumo voluntario parece acentuarse cuando el forraje tiene más de 70% de digestibilidad (Osoro y Cebrian, 1989).

También se indicó que el contenido de Ca y Mg puede resultar marginal en verdeos de invierno, al menos para vacas preñadas o en lactancia (Grunes et al., 1984). Sobre verdeos invernales han sido detectados algunos desórdenes metabólicos, como la hipomagnesemia e hipocalcemia, asociados a contenidos inferiores a 7 mg/dl de Ca y 2 mg/dl de Mg en el suero sanguíneo de los animales y a bajas concentraciones de estos minerales en el forraje (Mayland et al., 1979).

Probablemente el efecto sobre la productividad de animales que pastorean verdeos de avena se deban a la interacción de los factores mencionados incluyendo el medio ambiente más que a un único factor. Por esta razón Arelovich et al. (2003 y 2004) sugieren que programas adecuados de suplementación podrían amortiguar la variabilidad en la ganancia de peso de bovinos que pastorean sobre verdeo de avena en estado vegetativo.

Por lo tanto, el conocimiento de la variabilidad en la composición química y biomasa disponible en distintos cultivares de avena puede mejorar el ajuste de los programas de suplementación, manejo del pastoreo y aprovechamiento del forraje.

### **1.2.9 Mejoramiento genético de la avena para forraje y grano**

El mejoramiento de avena se ha llevado a cabo desde épocas tempranas en Sudamérica. Comenzó con la primera estación experimental en Uruguay llamada Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA), luego continuaron esta labor el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) en Argentina, la Secretaría de Agricultura do Estado do Río Grande do Sul, en Brasil y el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA) en Chile (Boerger, 1943; Beratto Medina, 1994; Federizzi et al., 1999)

Todos los cultivares desarrollados en Argentina, Brasil, Chile y Uruguay en los últimos 25 años se originaron en 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, Profesor de Agronomía de la Universidad de Wisconsin (Estados Unidos). Desde 1997, la compañía de avena Quaker ha promovido y financiado la llamada “Quaker Internacional Oat Nursery (QION)”. Actualmente, 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, o ambas, incluyendo variedades de diversos programas alrededor del mundo. Actualmente, este material genético se siembra en 30 lugares en Norte y Sudamérica, África, Cercano Oriente, Europa y Oceanía. Esto ha

contribuido a una fuente de gran diversidad genética para distintos programas en todo el mundo. (Forsberg y Shands, 1989; McDaniel, 1997).

Actualmente, seis de los mayores programas de mejoramiento de avena se llevan a cabo en Sudamérica mediante organizaciones como INTA e INIA. Esto ha contribuido substancialmente a la generación frecuente de nuevos cultivares. A su vez, un aporte menor proviene de compañías privadas en Argentina y Brasil.

Los programas de mejoramiento a destacar en Sudamérica son los siguientes:

1. Estación experimental INTA – Barrow (Argentina)

Es uno de los más antiguos programas en Sudamérica, y hasta 1990 su principal objetivo fue crear cultivares para forraje y cosecha de grano. Su principal objetivo es desarrollar nuevos cultivares con alto potencial de rendimiento de forraje, grano o ambos; mejorar la resistencia a roya de la hoja y tallo; incrementar la tolerancia a heladas; y mejorar la tolerancia a plagas. (Wehrhahne y Carbajo, 1997). El programa se basa en la introducción de material de la QION y ha publicado recientemente nuevos cultivares de producción de grano con la resistencia a la roya del tallo.

2. Estación experimenta INTA – Bordenave (Argentina)

Esta estación fue creada en 1927, y los primeros experimentos con avena fueron reportados en 1934. Todos los cultivares desarrollados por este programa han sido para doble propósito (forraje y grano). El cultivar más exitoso (Suregrain) fue introducido en 1969 y ocupó más del 90% del área de avena sembrada en la década de 1980 (Tomaso y Bucar, 1994) El principal objetivo de este programa es mejorar la producción de forraje y grano e incrementar la resistencia a la roya de la hoja y tallo. Todos los cultivares

desarrollados hasta la fecha son más adecuados para la producción de forraje y son susceptibles a la roya de la hoja y del tallo.

### 3. INIA – La Estanzuela (Uruguay)

Este programa de mejoramiento de avena comenzó a principios del siglo veinte. Debido a que históricamente la avena ha sido un cultivo multipropósito en Uruguay, especialmente para producción de forraje en otoño e invierno, la mayoría de los cultivares son antiguos y poseen dichas características de producción. Los cultivares recientemente desarrollados son mejores productores de grano (Rebuffo, 1997). Los principales objetivos de este programa son desarrollar nuevos cultivares con mayor producción de forraje y grano, desarrollar cultivares con características morfológicas diferenciales; aumentar la resistencia a la roya del tallo y de la hoja, y aumentar la tolerancia al virus del enanismo amarillo de la cebada (BYDV).

Por otra parte, la biotecnología ha contribuido al mejoramiento genético de especies forrajeras, y en los últimos 20 años ha tenido importantes progresos de implementación habitual en otros cereales. Sin embargo, herramientas biotecnológicas no han sido aun aplicadas al mejoramiento de avena en la cual la selección masal continúa siendo el instrumento de uso corriente (Díaz et al., 2004). Adicionalmente, aunque los sistemas de selección y evaluación de avena existentes en la región generan información elemental, generalmente no publicada formalmente, el conocimiento detallado de aspectos de interés nutricional de diferentes cultivares de avena es muy limitado. La mayoría de las publicaciones disponibles se centran en el estudio del efecto ambiental sobre la calidad de la avena enfocada sobre diversos rasgos agronómicos tales como el rendimiento y peso hectolítrico. En menor medida, la variación en el contenido

de proteínas, aceites,  $\beta$ -glucanos y otras fracciones de interés también han sido documentadas, pero no para los cultivares comúnmente utilizados en Argentina.

Rasgos relativos al rendimiento y composición de grano y forraje parecen estar predeterminados genéticamente, por lo que es de esperar que se encuentren diferencias entre genotipos. Por lo discutido precedentemente, es claro que la composición del forraje y del grano puedan influir substancialmente sobre la productividad bovina y las características del producto final obtenido. Adicionalmente el grano de avena de diferentes genotipos y diferente composición química tiene también como destino final el consumo humano. Así este proyecto de trabajo está motivado por la trascendencia regional del cultivo de avena, la aparición de nuevos genotipos y las implicancias de su utilización sobre la productividad animal, calidad de los productos generados y potencial impacto en la salud humana.

### 1.3 HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

**Hipótesis 1:** Respecto al forraje, genotipos de avena potencialmente seleccionados por criterios de producción de biomasa forrajera, resistencia a estrés climático y/o plagas o enfermedades exhiben:

- Diferentes características de productividad de forraje en distintos períodos de su ciclo productivo.
- Diferencias en la composición de fracciones químicas de interés nutricional para rumiantes a pastoreo.
- Estas diferencias son inherentes al genotipo y, la proporción relativa de las mismas entre los distintos genotipos se mantiene ante cambios ambientales.

**Hipótesis 2:** Respecto a grano, genotipos de avena potencialmente seleccionados por criterios de rendimiento forrajero, resistencia a estrés climático y/o plagas o enfermedades como forrajera exhiben:

- Diferencias en productividad de grano cuando se utilizan como doble propósito o como grano de cosecha solamente.
- Diferencias en la composición del grano obtenido de cultivos destinados al doble propósito en cuanto a entidades químicas de interés nutricional real y potencial para rumiantes, la industria y nutrición humana.
- Diferencias que por ser inherentes al genotipo, la proporción relativa de las mismas se mantiene ante cambios ambientales.

**Objetivos:**

a) Evaluar durante dos años consecutivos para el forraje obtenido de parcelas experimentales de 18 cultivares de avena:

1. El rendimiento de biomasa forrajera de los cultivares en dos cortes.
2. Determinar la composición y proporciones relativas de fracciones de interés nutricional en la alimentación de rumiantes.
3. Interpretar los resultados obtenidos en función de la interacción entre los cultivares y características ambientales generadas por cada año en particular.

b) Evaluar durante dos años consecutivos para el grano cosechado en parcelas experimentales de 18 cultivares de avena:

1. El rendimiento comparativo entre el cultivo para grano doble propósito y el cultivo para grano cosecha solamente.
2. Determinar la composición y proporciones relativas de fracciones de interés nutricional en la alimentación de rumiantes, industria y nutrición humana.
3. Interpretar los resultados obtenidos en función de la interacción entre cultivar y características ambientales generadas por cada año en particular.

c) En forraje y grano

1. Poder visualizar las posibles asociaciones entre los cultivares en estudio y variables de interés nutricional del forraje y grano.
2. Generar un ranking de calidad y de rendimiento de los cultivares evaluados para poder evaluar la capacidad doble propósito.

El estudio fue conducido para determinar componentes de rendimiento y cualidades nutricionales de diferentes genotipos de avena y el impacto de dichas características en producción animal y humana.

## **CAPÍTULO 2**

### **RENDIMIENTO DE FORRAJE Y GRANO DE AVENA**

#### **2.1 Introducción**

En este capítulo se incluyen aspectos metodológicos relacionados a ubicación geográfica del cultivo, descripción de la implantación y manejo del mismo, condiciones ambientales generales del mismo, genotipos utilizados y mediciones específicas de rendimiento de biomasa forrajera y grano. Los ensayos se condujeron mediante la siembra de los materiales en parcelas experimentales. Se contrastó la producción de grano de los cultivares sometidos a cortes (doble propósito) con los mismos cultivares destinados específicamente a la producción de grano.

Las parcelas destinadas a producción de grano fueron utilizadas únicamente para comparar componentes del rendimiento, mientras que el grano obtenido del doble propósito fue utilizado para las determinaciones analíticas del valor nutritivo. A continuación se describen materiales y métodos correspondientes a este capítulo en forma detallada.

#### **2.2 Materiales y Métodos**

##### **2.2.1 Sitio experimental**

El ensayo se realizó durante dos años consecutivos (2004 y 2005) en el Criadero de Cereales de la Asociación de Cooperativas Argentina (A.C.A.) ubicado sobre la ruta provincial N°51 a 32 kilómetros de Bahía Blanca y 15 kilómetros de la localidad de Cabildo (38° 25'LS y 61° 42'LO).

### 2.2.2 Características edafo-climáticas

El clima de la región es templado sub-húmedo, el promedio histórico anual (1958-2005) de precipitaciones alcanza los 650 mm. La temperatura media anual es de 15,5°C; el mes más caluroso (enero) presenta una media de 22°C y el mes más frío (julio) presenta una media de 6,3°C.

Las precipitaciones y las temperaturas máximas y mínimas mensuales en los años de experimentación, comparadas con las medias históricas, así como también la cantidad de días con heladas de los dos años de experimentación se reportan en la Figura 4.1.

Con respecto a las condiciones edáficas, los suelos son de textura franco-arenosa, buena capacidad de retención de agua, buen drenaje, no anegadizos, con reacción neutra, no salina y susceptible a erosión eólica e hídrica. Según la clasificación por capacidad de uso del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (Soil Survey Staff, 2003) el suelo se clasifica de clase IIe, con pocas limitaciones, que puede ser usado para cultivos de labranza y pasturas. El análisis químico del suelo presentó 18,5 g/kg de materia orgánica; pH de 6,8; 1,0 g/kg de N total; 19,2 ppm de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>; 10,5 ppm de P disponible y 9,6 ppm de S-SO<sub>4</sub><sup>-</sup>.

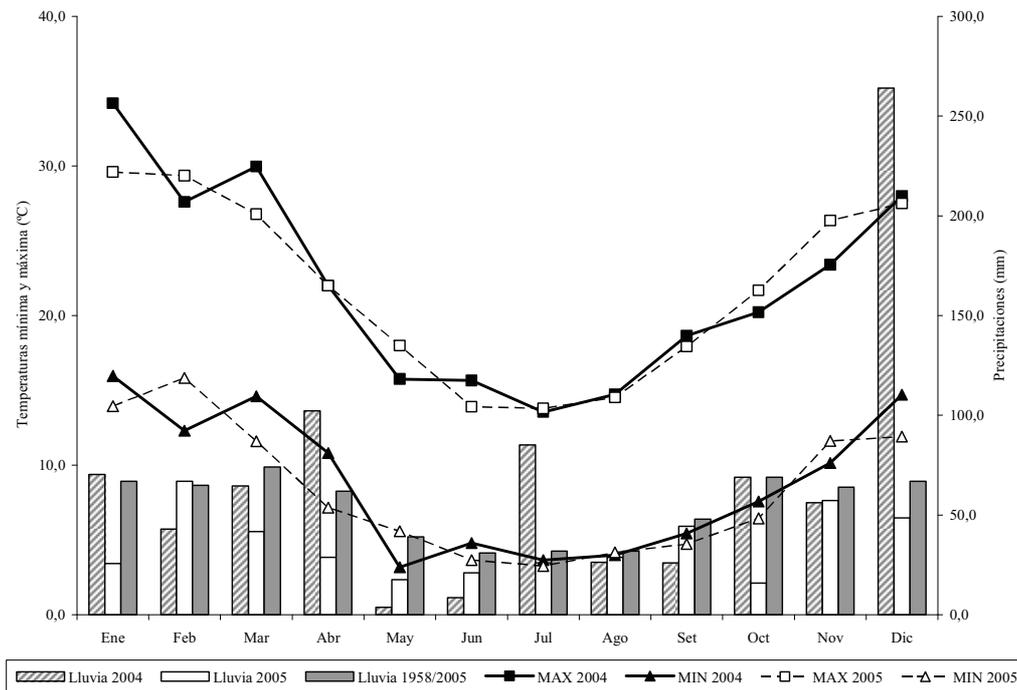


Figura 2.1 Datos climáticos correspondientes a los años de experimentación.

### 2.2.3 Genotipos y diseño experimental

Se utilizaron 14 genotipos de *Avena sativa* L. y 4 de *Avena byzantina* L. La descripción de los genotipos utilizados se muestra en la Tabla 2.1.

Para cada año se realizaron dos siembras en fechas distintas, una para evaluar la producción de grano sometido a dos cortes previos de forraje (DP, doble propósito) y la restante exclusivamente para evaluar producción de grano (GC, grano cosecha).

Cada unidad experimental consistió en una parcela de 7,7 m<sup>2</sup> (1,4 x 5,5 m), con 7 surcos separados a 0,20 m; la siembra fue ajustada a 250 plantas/m<sup>2</sup>. No se usó fertilización en ningún momento del ensayo.

Sobre las parcelas destinadas a corte de biomasa forrajera, se realizaron dos cortes a fecha fija, definidas por una altura mínima de 30 ± 5 cm. Para ello se utilizó una motoguañadora Gravely, con su altura de corte regulada a 7 cm de la superficie del suelo.

Se cortaron parcelas de 3 m<sup>2</sup>, tomando muestra de las 5 filas centrales, dejando una fila sin cortar de cada lado y un metro de bordura de cada extremo cabecera de parcela. Las muestras se recogieron en bolsas de polietileno, se pesaron para obtener la producción de MS/ha y se sub-fraccionaron (aproximadamente 300 g) para su posterior caracterización química.

El último corte de forraje se realizó cuidando de no cortar el meristemo apical para no poner en peligro la producción de grano. Todos los cortes de material forrajero fueron realizados por la mañana temprano para minimizar el impacto de las fluctuaciones diurnas en la composición química (Owens et al., 1999).

Posteriormente, las panojas de los cultivares en DP y GC alcanzaron el estado de madurez y se cosecharon 3 m<sup>2</sup> de cada parcela, cuya superficie fue coincidente con la asignada para corte de forraje en DP. Posteriormente el grano se obtuvo mediante una trilladora estacionaria. En la Tabla 2.2 se muestran las fechas de siembra, cosecha y cortes de material forrajero para cada año.

Tabla 2.1 Denominación, origen y características cualitativas de los genotipos de avena utilizados.

| Cultivar*           | Nombre completo       | Origen | Rendimiento        |          | Susceptibilidad |        |        |        |
|---------------------|-----------------------|--------|--------------------|----------|-----------------|--------|--------|--------|
|                     |                       |        | inicial de forraje | de grano | roya            | pulgón | helada | sequía |
| Aurora*             | Aurora INTA           | Arg    | +                  | ++       | ++              | ++     | +      | +      |
| Boyera              | Boyera FA             | Arg    | +++                | +        | +++             | +      | ++     | ++     |
| Bw 103 <sup>1</sup> | Bw 103 <sup>1</sup>   | Arg    | ++                 | +++      | +++             | ++     | ++     | ++     |
| Calén               | Bonaerense INTA Calén | Arg    | ++                 | +++      | +++             | +      | +      | +      |
| Canai               | Bonaerense INTA Canai | Arg    | ++                 | +++      | +++             | +++    | +++    | +++    |
| Cristal             | Cristal INTA          | Arg    | ++                 | +++      | +++             | +++    | ++     | +++    |
| Maja                | Bonaerense INTA Maja  | Arg    | ++                 | ++       | +++             | +++    | ++     | +      |
| Máxima*             | Máxima INTA           | Arg    | +++                | +        | +++             | +++    | +++    | +++    |
| Milagros*           | Milagros INTA         | Arg    | +++                | +++      | +++             | +++    | +++    | +++    |
| Millauquén*         | Millauquén INTA       | Arg    | +                  | +        | +++             | +      | +      | ++     |
| Payé                | Bonaerense Payé       | Arg    | ++                 | ++       | +++             | +++    | ++     | ++     |
| Pilar               | Pilar INTA            | Arg    | +                  | ++       | +++             | +      | +      | +      |
| Pionera             | Pionera FA            | Arg    | +                  | +        | +++             | ++     | +      | ++     |
| Polaris*            | INIA Polaris          | Uru    | +++                | +++      | +++             | +++    | +++    | +++    |
| Rocío*              | Rocío INTA            | Arg    | +++                | +        | +++             | +      | ++     | +++    |
| Suregrain           | Suregrain             | Arg    | ++                 | ++       | +++             | +++    | ++     | ++     |
| Tucana              | INIA LE Tucana        | Uru    | +++                | +        | +++             | +++    | +++    | +++    |
| U 16                | U 16                  | Bra    | +++                | +++      | +++             | +++    | +++    | +++    |

\* *Avena byzantina* L. Los cultivares restantes son *Avena sativa* L.<sup>1</sup> Cultivar Experimental

FA: Facultad de Agronomía de La Plata

LE: Estación Experimental La Estanzuela

Arg: Argentina

Uru: Uruguay

Bra: Brasil

+++ Alto; ++ Intermedio; + Bajo;

Tabla 2.2 Fechas de siembra, cosecha y cortes por año.

| Año  | <u>Siembra</u> |       | <u>Cosecha</u> |       | <u>Cortes de forraje</u> |         |
|------|----------------|-------|----------------|-------|--------------------------|---------|
|      | DP             | GC    | DP             | GC    | Corte 1                  | Corte 2 |
| 2004 | 04/03          | 17/06 | 06/12          | 07/12 | 07/05                    | 05/07   |
| 2005 | 05/03          | 19/06 | 06/12          | 06/12 | 24/05                    | 12/08   |

DP: doble propósito; GC: grano cosecha;

#### 2.2.4 Determinaciones en material forrajero

Para calcular la producción de materia seca en cada corte las muestras recolectadas fueron pesadas inmediatamente en fresco y luego secadas a 65°C en estufa de aire forzado hasta peso constante (AOAC, 2000). La producción total de materia seca en cada año de estudio se obtuvo por sumatoria de ambos cortes en cada año.

#### 2.2.5 Determinaciones en grano

El rendimiento de grano (kg/ha) se obtuvo pesando el grano obtenido en cada unidad experimental y, posteriormente, se determinó el peso hectolítrico de los mismos utilizando balanza Schopper Chondrometer de ¼ litro de capacidad (AACC 55-10, 2000).

#### 2.2.6 Análisis estadísticos

El análisis estadístico consistió en un análisis de la varianza para un diseño en bloques completos al azar con tres repeticiones. Como los años presentaron condiciones climáticas marcadamente diferentes, se consideró al factor Año como un factor fijo en el modelo. Debido a que los bloques de las parcela experimentales se ubicaron en la misma región pero en localizaciones diferentes en cada año el análisis consistió en un ANOVA doble en parcela dividida, donde el factor de mayor jerarquía en el diseño

(Año) tiene como unidad experimental a los bloques, que están divididos en parcelas donde se aplica el factor secundario (Cultivares).

Para la producción de biomasa forrajera se aplicó el ANOVA doble para cada corte y el total acumulado separadamente. Para analizar rendimiento y peso hectolítrico del grano se realizó un ANOVA triple incluyendo Manejo (DP o GC), Año y Cultivar como factores fijos en el modelo. Para comparar las Medias entre los cultivares se utilizó el test de la diferencia mínima significativa (DMS). En las variables que presentaron interacción *Cultivar x Año*, las comparaciones se realizaron para cada año por separado. Todos los análisis fueron realizados con el programa estadístico Infostat (2008).

## 2.3 Resultados

### 2.3.1 Análisis de ANOVA para producción de forraje, rendimiento y peso

#### hectolítrico del grano de avena

En la tabla 2.3 se reporta el análisis de varianza para producción de MS en ambos cortes de forraje y el total acumulado. EL ANOVA muestra diferencias altamente significativas tanto para el factor Cultivar, como para el factor Año. Además todas las variables presentaron interacción altamente significativa *Cultivar x Año*, por lo tanto los cultivares se compararon por años separadamente.

Tabla 2.3 Resumen de los test F para producción de forraje (kg/ha) en diferentes cultivares de avena.

| Fuente de variación | gl | Corte 1 | Corte 2 | Total |
|---------------------|----|---------|---------|-------|
| Cultivar (C)        | 17 | **      | **      | **    |
| Año (A)             | 1  | **      | **      | **    |
| C x A               | 17 | **      | **      | **    |
| Media general       | -  | 1217    | 1376    | 2593  |
| C. V. (%)           | -  | 6,88    | 6,11    | 4,30  |

C.V.: coeficiente de variación; \* P< 0.05; \*\* P< 0.01; ns: no-significativo.

En la tabla 2.4 se reporta el análisis de varianza para rendimiento y peso hectolítrico de grano (DP y GC). EL ANOVA muestra diferencias altamente significativas para el factor Manejo, Cultivar, y Año en ambas variables excepto el factor Año para peso hectolítrico el cual fue no significativo. Todas las variables presentaron interacción altamente significativa *Manejo x Año* y *Cultivar x Año*, por lo tanto los cultivares se compararon por año y por manejo separadamente.

Tabla 2.4 Resumen de los test F para rendimiento y peso hectolítico de grano en diferentes cultivares de avena.

| Fuente de variación | Rendimiento |         | Peso Hectolítico |
|---------------------|-------------|---------|------------------|
|                     | gl          | (kg/ha) | (g/hl)           |
| Manejo (M)          | 1           | **      | **               |
| Cultivar (C)        | 17          | **      | **               |
| Año(A)              | 1           | **      | ns               |
| M x A               | 1           | **      | **               |
| C x A               | 17          | **      | **               |
| M x C               | 17          | **      | **               |
| M x C x A           | 17          | **      | **               |
| Media               | -           | 1614    | 45,98            |
| C. V. (%)           | -           | 6,52    | 1,99             |

gl: grados de libertad; Manejo: doble propósito (DP) o grano cosecha (GC)

\* P< 0.05; \*\* P< 0.01; ns: no-significativo.

### 2.3.2 Acumulación de biomasa forrajera

En la tabla 2.5 se reporta la producción de forraje para cada corte y la producción total acumulada en ambos años de estudio. Para el corte 1 el año 2004 presentó un valor medio de producción de forraje 36% mayor respecto de 2005, aunque la variabilidad en 2004 fue mayor. En 2004 los cultivares más destacados, por su alta producción de forraje fueron Boyera, Bw 103, Calén, Máxima, Rocío y Tucana. Por el contrario, los cultivares Aurora, Millauquén, Pilar, Suregrain y U 16 presentaron los menores valores de forraje producido con una producción inferior a 1000 kg/ha.

El año 2005, en el primer corte, presentó en la mayoría de los cultivares valores inferiores, a excepción de Aurora y Suregrain que mostraron una acumulación de forraje marcadamente superior respecto de 2004. Cristal fue el cultivar que presentó la menor producción, con un valor de 382 kg MS/ha, mientras que Tucana fue el único que mantuvo una producción superior a 1500 kg MS/ha en ambos años.

Para el corte 2, ambos años mostraron valores similares de rendimiento promedio, aunque, al igual que en el corte 1, en 2004 se observó una mayor variabilidad. En 2004, Aurora, Cristal, Millauquén, Pilar, Polaris y U 16 fueron los genotipos de mayor producción de forraje, mientras que Boyera y Máxima fueron las de menor acumulación forrajera con valores de 612 y 503 kg MS/ha respectivamente. Boyera y Máxima (que presentaban los menores valores de producción en 2004) junto con Cristal, Maja y Milagros presentaron los mayores rendimientos en 2005 alcanzando valores cercanos a 1600 kg MS/ha. Cristal y Maja fueron los genotipos más destacados por presentar rendimientos elevados y similares en ambos años.

Para la producción total de MS (suma de ambos cortes), también se observa una variabilidad mayor en 2004 respecto de 2005. En 2004 el valor medio fue un 15% superior a 2005, destacándose los cultivares Bw 103, Calén, Maja, Milagros, Polaris, Rocío y Tucana, con valores cercanos o superiores a 3000 kg MS/ha. Aurora y Suregrain fueron los cultivares con menor producción total, los cuales no superaron los 2100 kg MS/ha. En 2005 Boyera, Bw 103, Máxima y Milagros fueron los cultivares de mayor producción total, aunque ningún cultivar alcanzó los valores de producción obtenidos en 2004. Cristal, Millauquén y Pilar fueron los genotipos de menor producción, con valores inferiores a 2000 kg MS/ha. Los cultivares que mantuvieron producciones elevadas en ambos años fueron Boyera, Bw 103, Máxima y Milagros, con producciones que superaron 2600 kg MS/ha.

Tabla 2.5 Producción de forraje (kg/ha) por corte y total acumulado en diferentes cultivares de avena.

| <b>Cultivar</b>      | <b>Corte 1</b> |             | <b>Corte 2</b> |             | <b>Total</b> |             |
|----------------------|----------------|-------------|----------------|-------------|--------------|-------------|
|                      | <b>2004</b>    | <b>2005</b> | <b>2004</b>    | <b>2005</b> | <b>2004</b>  | <b>2005</b> |
| Aurora               | 461            | 1237        | 1615           | 1386        | 2076         | 2623        |
| Boyera               | 2049           | 1203        | 612            | 1792        | 2661         | 2995        |
| Bw 103               | 2066           | 1373        | 1207           | 1485        | 3273         | 2858        |
| Calén                | 2108           | 1133        | 1292           | 1302        | 3400         | 2435        |
| Canai                | 1597           | 797         | 1178           | 1414        | 2775         | 2211        |
| Cristal              | 1076           | 382         | 1660           | 1598        | 2736         | 1980        |
| Maja                 | 1753           | 740         | 1590           | 1752        | 3343         | 2492        |
| Máxima               | 2101           | 1167        | 503            | 1593        | 2604         | 2760        |
| Milagros             | 1646           | 1010        | 1501           | 1833        | 3147         | 2843        |
| Millauquén           | 622            | 812         | 1842           | 1113        | 2464         | 1925        |
| Payé                 | 1272           | 1037        | 1237           | 1164        | 2509         | 2201        |
| Pilar                | 671            | 607         | 1616           | 1331        | 2287         | 1938        |
| Pionera              | 1044           | 1196        | 1565           | 1032        | 2609         | 2228        |
| Polaris              | 1482           | 1307        | 1856           | 1152        | 3338         | 2459        |
| Rocío                | 1885           | 1070        | 1208           | 1413        | 3093         | 2483        |
| Suregrain            | 435            | 1039        | 1523           | 1368        | 1958         | 2407        |
| Tucana               | 2150           | 1540        | 841            | 935         | 2991         | 2475        |
| U 16                 | 816            | 916         | 1874           | 1162        | 2690         | 2078        |
| <b>Media</b>         | <b>1402</b>    | <b>1031</b> | <b>1373</b>    | <b>1379</b> | <b>2775</b>  | <b>2411</b> |
| <b>Media general</b> | <b>1217</b>    |             | <b>1376</b>    |             | <b>2593</b>  |             |
| <b>DMS</b>           | <b>136</b>     |             | <b>137</b>     |             | <b>167</b>   |             |

### 2.3.3 Rendimiento y peso hectolítrico de grano de avena

El rendimiento y peso hectolítrico de grano se muestran en la tabla 2.6. El promedio general de ambos años en el rendimiento de grano resultó 88% mayor cuando el grano de avena fue sembrado para cosecha solamente (GC) respecto del grano obtenido luego de dos cortes de material forrajero (DP). No se encontraron diferencias entre GC y DP para Máxima en 2004 ni para Boyera y U 16 en 2005. De todos los genotipos, sólo Máxima y Tucana exhibieron el mejor rendimiento en DP respecto de GC (en 2005). Los mayores rendimientos en DP fueron para Bw 103, Canai, Pilar, Polaris, Rocío y U 16 en 2004, mientras que en 2005 fueron para Canai y U 16. Para GC, los cultivares Payé, Polaris y U 16 en 2004 y Maja en 2005 mostraron los mejores rendimientos. Para peso hectolítrico, a pesar de encontrar diferencias significativas entre genotipos así como también entre tipo de manejo (GC o DP), los promedios generales y anuales resultaron numéricamente muy similares para DP y GC. Se encontraron valores de peso hectolítrico bajos para todos los cultivares, alcanzando sólo en algunos cultivares los 50 kg/hl (valor requerido por la industria).

Tabla 2.6 Rendimiento y peso hectolítrico de diferentes cultivares de avena.

| Cultivar             | Rendimiento, kg/ha |                   | Peso Hectolítrico, kg/hl |                    |
|----------------------|--------------------|-------------------|--------------------------|--------------------|
|                      | DP                 | GC                | DP                       | GC                 |
| <b>Año 2004</b>      |                    |                   |                          |                    |
| Aurora               | 714 <sup>a</sup>   | 2102 <sup>b</sup> | 39,25 <sup>a</sup>       | 43,70 <sup>b</sup> |
| Boyera               | 847 <sup>a</sup>   | 1785 <sup>b</sup> | 49,47 <sup>a</sup>       | 48,30 <sup>a</sup> |
| Bw 103               | 1241 <sup>a</sup>  | 2647 <sup>b</sup> | 45,58 <sup>a</sup>       | 47,47 <sup>b</sup> |
| Calén                | 861 <sup>a</sup>   | 2733 <sup>b</sup> | 48,68 <sup>a</sup>       | 48,40 <sup>a</sup> |
| Canai                | 1151 <sup>a</sup>  | 1683 <sup>b</sup> | 44,92 <sup>b</sup>       | 43,80 <sup>a</sup> |
| Cristal              | 974 <sup>a</sup>   | 2608 <sup>b</sup> | 50,50 <sup>b</sup>       | 48,23 <sup>a</sup> |
| Maja                 | 944 <sup>a</sup>   | 2680 <sup>b</sup> | 47,48 <sup>a</sup>       | 47,83 <sup>a</sup> |
| Máxima               | 823 <sup>a</sup>   | 823 <sup>a</sup>  | 37,28 <sup>b</sup>       | 38,87 <sup>a</sup> |
| Milagros             | 828 <sup>a</sup>   | 2265 <sup>b</sup> | 50,08 <sup>b</sup>       | 45,82 <sup>a</sup> |
| Millauquén           | 557 <sup>a</sup>   | 2411 <sup>b</sup> | 46,10 <sup>a</sup>       | 48,57 <sup>b</sup> |
| Payé                 | 521 <sup>a</sup>   | 3005 <sup>b</sup> | 45,32 <sup>a</sup>       | 46,05 <sup>a</sup> |
| Pilar                | 1124 <sup>a</sup>  | 2610 <sup>b</sup> | 50,12 <sup>a</sup>       | 49,83 <sup>a</sup> |
| Pionera              | 597 <sup>a</sup>   | 2366 <sup>b</sup> | 44,43 <sup>a</sup>       | 48,08 <sup>b</sup> |
| Polaris              | 1174 <sup>a</sup>  | 2780 <sup>b</sup> | 47,98 <sup>a</sup>       | 47,33 <sup>a</sup> |
| Rocío                | 1032 <sup>a</sup>  | 2531 <sup>b</sup> | 41,52 <sup>a</sup>       | 41,97 <sup>a</sup> |
| Suregrain            | 956 <sup>a</sup>   | 2575 <sup>b</sup> | 50,03 <sup>a</sup>       | 48,38 <sup>b</sup> |
| Tucana               | 958 <sup>a</sup>   | 1840 <sup>b</sup> | 42,02 <sup>a</sup>       | 44,52 <sup>b</sup> |
| U 16                 | 1065 <sup>a</sup>  | 2987 <sup>b</sup> | 47,78 <sup>a</sup>       | 48,70 <sup>a</sup> |
| <b>Año 2005</b>      |                    |                   |                          |                    |
| Aurora               | 1138 <sup>a</sup>  | 2140 <sup>b</sup> | 39,66 <sup>a</sup>       | 44,60 <sup>b</sup> |
| Boyera               | 1464 <sup>a</sup>  | 1551 <sup>a</sup> | 47,62 <sup>b</sup>       | 40,83 <sup>a</sup> |
| Bw 103               | 1495 <sup>a</sup>  | 1980 <sup>b</sup> | 44,30 <sup>b</sup>       | 41,92 <sup>a</sup> |
| Calén                | 1404 <sup>a</sup>  | 2052 <sup>b</sup> | 45,69 <sup>b</sup>       | 43,33 <sup>a</sup> |
| Canai                | 1730 <sup>a</sup>  | 1962 <sup>b</sup> | 47,40 <sup>a</sup>       | 50,48 <sup>b</sup> |
| Cristal              | 1268 <sup>a</sup>  | 1550 <sup>b</sup> | 46,15 <sup>b</sup>       | 41,08 <sup>a</sup> |
| Maja                 | 1343 <sup>a</sup>  | 2751 <sup>b</sup> | 48,72 <sup>b</sup>       | 45,45 <sup>a</sup> |
| Máxima               | 1408 <sup>b</sup>  | 1027 <sup>a</sup> | 45,90 <sup>b</sup>       | 39,70 <sup>a</sup> |
| Milagros             | 1207 <sup>a</sup>  | 2467 <sup>b</sup> | 46,85 <sup>a</sup>       | 49,73 <sup>b</sup> |
| Millauquén           | 1375 <sup>a</sup>  | 1910 <sup>b</sup> | 43,05 <sup>a</sup>       | 47,97 <sup>b</sup> |
| Payé                 | 1283 <sup>a</sup>  | 2401 <sup>b</sup> | 49,96 <sup>b</sup>       | 46,05 <sup>a</sup> |
| Pilar                | 1184 <sup>a</sup>  | 1746 <sup>b</sup> | 49,17 <sup>b</sup>       | 45,80 <sup>b</sup> |
| Pionera              | 1174 <sup>a</sup>  | 2140 <sup>b</sup> | 44,80 <sup>b</sup>       | 42,25 <sup>a</sup> |
| Polaris              | 1172 <sup>a</sup>  | 2070 <sup>b</sup> | 47,88 <sup>b</sup>       | 41,60 <sup>a</sup> |
| Rocío                | 1206 <sup>a</sup>  | 2031 <sup>b</sup> | 45,48 <sup>b</sup>       | 42,27 <sup>a</sup> |
| Suregrain            | 963 <sup>a</sup>   | 1235 <sup>b</sup> | 49,31 <sup>b</sup>       | 47,28 <sup>a</sup> |
| Tucana               | 1341 <sup>b</sup>  | 1024 <sup>a</sup> | 49,28 <sup>b</sup>       | 44,75 <sup>a</sup> |
| U 16                 | 1561 <sup>a</sup>  | 1643 <sup>a</sup> | 51,12 <sup>b</sup>       | 48,90 <sup>a</sup> |
| <b>Media 2004</b>    | 909                | 2357              | 46,03                    | 46,44              |
| <b>Media 2005</b>    | 1328               | 1837              | 46,80                    | 44,67              |
| <b>Media general</b> | 1113               | 2097              | 46,41                    | 45,55              |
| <b>DMS</b>           | 184                | 217               | 1,11                     | 1,78               |

Letras diferentes entre filas para cada variable indican diferencias ( $p < 0,05$ ) entre DP y GC

DMS = 138 para rendimiento y = 1,20 para peso hectolítrico, para comparar DP con GC en ambos años.

## **2.4 Discusión**

### **2.4.1 Influencia del año y el cultivar en la producción de biomasa forrajera**

La producción de materia seca forrajera en C1 fue aproximadamente un 36% mayor, en promedio, en 2004 respecto de 2005. Esto se pudo deber al patrón de lluvias acumuladas para ambos años, observándose un total de precipitaciones acumuladas de 166,8 mm (marzo y abril) y 88, 2 mm (marzo a mayo) en 2004 y 2005 respectivamente. Adicionalmente en 2005 se registraron 4 heladas durante el crecimiento del material forrajero antes del primer corte, lo cual pudo afectar negativamente la acumulación de biomasa forrajera, sumado al efecto de las bajas precipitaciones. A pesar de ello, algunos cultivares se comportaron de manera opuesta (Aurora, Millauquén, y Suregrain), presentando la mayor producción de forraje en 2005. Si se observan las características por las cuales estos cultivares fueron seleccionados (Tabla 2.1), se puede observar su resistencia a heladas y sequía, lo cual podría explicar la adaptación de los mismos a las condiciones climáticas observadas durante 2005.

En C2 se observó un patrón de precipitaciones opuesto al observado en C1, registrándose mayores precipitaciones en 2005 (12,4 mm durante mayo y junio de 2004 y 47,0 mm durante junio y julio de 2005). De este modo, se esperaría encontrar mayor producción de forraje en 2005, aunque esto no se observa para todos los cultivares en estudio. Algunos cultivares se comportaron de esta manera, presentando la mayor producción de forraje para el C2 durante 2005 (Boyera, Bw 103, Canai, Maja, Máxima; Milagros y Rocío), mientras que otros, como Payé, Calén, Cristal y Tucana tuvieron producciones similares en ambos años y los restantes, producciones superiores en 2004. A su vez, el número de días con heladas durante el período de crecimiento fue de 6 y 13 días para 2004 y 2005 respectivamente. Por lo tanto, algunos cultivares expresaron su

potencial resistencia a la sequía o a las heladas adaptándose a las condiciones climáticas para dicho período de crecimiento.

Otro punto a tener en cuenta es la cantidad de días de crecimiento para el corte 1 y 2 en ambos años. En 2004 el período de crecimiento duró 63 y 57 días para el corte 1 y 2 respectivamente, mientras que en 2005 fue de 79 días para ambos cortes. Por lo tanto la tasa de crecimiento promedio para ambos cortes fue superior en 2004 respecto de 2005 (22,3 y 13,1 kg MS/ha/día para el corte 1; 24,1 y 17,5 kg MS/ha/día para el corte 2 durante 2004 y 2005 respectivamente). Este efecto en la tasa de crecimiento puede estar asociado a las mayores temperaturas medias de crecimiento durante 2004, similarmente a lo descrito por Ceconi (2005) en raigrás anual, sumado a la menor cantidad de días con heladas durante el año 2004.

Diversos estudios en la región semiárida pampeana muestran que la producción de MS de los cereales de invierno se relaciona estrechamente con la disponibilidad de agua y N en suelo (Maddonni et al., 1995; Quiroga y Ormeño, 1997). Dado que el nivel de precipitaciones registradas fue 179,2 mm y 135,0 mm para el período de crecimiento del forraje (marzo a junio en 2004 y marzo a julio en 2005), sumado al número de heladas (6 en 2004 y 17 en 2005) era esperable que en 2004 se observaran los mayores rendimientos de MS total. Se observa que 14 cultivares se comportaron de acuerdo a lo esperado mostrando mayores rendimientos en 2004.

Estudios realizados por Quiroga y Ormeño (1997) indican que, para cubrir los requerimientos hídricos de los verdeos de invierno, es necesario disponer entre 180 y 240 mm de precipitación durante los meses de desarrollo del cultivo (marzo a agosto). Las precipitaciones observadas durante los años de experimentación no alcanzaron dichos requerimientos hídricos, razón por la cual se pudo ver limitada o afectada la máxima expresión del potencial genético en los cultivares evaluados.

Por otro lado, el nivel de N del suelo pudo ser un limitante para el crecimiento del forraje luego del primer corte debido a que no se realizó fertilización en ningún momento del ensayo. Sin embargo, Zanoniani et al. (2003) reportaron que cuando los niveles de nitratos en suelo son superiores a 18 ppm no se requiere aplicar N suplementario a la siembra para obtener altos rendimientos de forraje en verdeos de invierno. En nuestro experimento, los valores de nitratos del suelo al momento de la siembra fueron superiores al valor crítico reportado por Zanoniani et al., (2003), lo cual indica que no fue una limitante para el crecimiento, al menos en la etapa inicial del forraje.

Como se mencionó previamente en nuestro estudio no se fertilizó en ningún momento del ensayo. Algunos autores sugieren que la respuesta a la fertilización nitrogenada está condicionada por la disponibilidad de agua (Amigone, 2003). En un estudio realizado en Cabildo con verdeo de trigo, Denda (2009) indicó que un incremento progresivo en los niveles de N aportados mediante fertilización, no tuvieron impacto significativo sobre la producción de MS cuando los niveles de precipitación se mantuvieron por debajo de los 180 mm. De modo que los hallazgos obtenidos por este autor plantean interrogantes sobre la eficiencia de la fertilización en situaciones de humedad limitantes.

En un ensayo con avena sembrada a principios de abril, Altuve (2005) halló valores promedio de MS para el total de los cultivares evaluados de 470 kg MS/ha para el C1 (cosechado el 20 de mayo) y 1278 kg MS/ha para el C2 (cosechado el 13 de julio). En dicho ensayo las precipitaciones registradas durante el otoño representaron el 30% del promedio histórico, lo cual indica el fuerte impacto de las bajas precipitaciones en la producción de forraje para el C1. En nuestro estudio se observó un valor medio más elevado para el C1. Sin embargo, a pesar de que las precipitaciones en nuestro

estudio no fueron tan limitantes, algunos cultivares mostraron valores similares de producción a los reportados por Altuve (2005). En cuanto al C2 se observa que el valor medio encontrado en nuestro estudio es similar al reportado en dicho ensayo.

En situaciones de pastoreo la productividad de MS no sólo tiene trascendencia por la cantidad de forraje generado, sino que la disponibilidad actual ejerce un efecto *per se* sobre el comportamiento ingestivo (Ferri et al., 2001).

Baumont et al. (2000) indicaron que la altura y cantidad de forraje acumulado por unidad de superficie inciden sobre el tamaño y cantidad de bocados. De este modo, la cosecha de nutrientes y el costo energético de mantenimiento de bovinos a pastoreo se verán afectadas por la disponibilidad de MS del forraje.

En cuanto al efecto de la disponibilidad de forraje en el consumo animal, algunos autores sugieren que el consumo de MS en novillos a pastoreo no es afectado con disponibilidades de forraje entre 900 y 3600 kg MO/ha (Chiflet de Verde et al., 1974), mientras que otros autores no encuentran diferencias en los consumos con disponibilidades de 1700 a 3700 kg MO/ha (Cangiano, 1982). Por otro lado Doble et al. (1971) sugieren que la máxima tasa de crecimiento animal se puede alcanzar con disponibilidades de forraje entre 700-1000 kg MS/ha, siempre y cuando dichos forrajes superen el 60% de digestibilidad. El NRC (1987) recopilando datos de Rayburn (1986) concluyó que la ingestión de MS fue maximizada cuando la disponibilidad de forraje fue de aproximadamente 2250 kg MS/ha y que la ingesta disminuyó rápidamente al 60% del valor máximo cuando la disponibilidad fue de 450 kg MS/ha. Por lo tanto la disponibilidad de MS reportada en ambos cortes y años no resultarían limitantes para obtener el máximo consumo en novillos a pastoreo, a excepción de Aurora, Millauquén y Suregrain en C1-2004; Cristal en C1-2005 y Boyera y Máxima en C2-2004.

#### **2.4.2 Influencia del año y el cultivar en el rendimiento y peso hectolítrico del grano**

En Argentina los cultivares comerciales de avena fueron seleccionados principalmente para producción de forraje y en segundo lugar para producción de grano, de modo que podemos decir que el grano es un subproducto de la producción de forraje. Además la utilización del cultivo de avena para producción de grano únicamente es poco común. En estas condiciones, cultivares doble propósito con gran rendimiento de grano podrían ser mejor aceptados por los productores. Desafortunadamente la producción de grano generalmente no ha sido el objetivo de los programas de mejoramiento genético llevados a cabo en las diferentes estaciones experimentales de nuestro país.

En nuestro estudio, la precipitación anual acumulada fue de 819 mm en 2004 y 423 mm en 2005, comparada con el promedio histórico de 650 mm. La mayor diferencia entre años fue debida a abundantes lluvias ocurridas en diciembre de 2004, cuando el grano ya estaba maduro para ambos manejos (DP y GC), aunque, considerando los meses previos a la siembra y a la cosecha, el año 2004 fue el de mayor precipitación (262,8 mm para DP y GC en 2004; 146,4 y 172,4 mm para DP y GC respectivamente en 2005). Un 28% de incremento en el rendimiento medio de los cultivares durante 2004 fue reflejado por una mayor disponibilidad de agua para GC. Sin embargo, en la misma línea, el rendimiento para DP presentó un patrón inverso (31% inferior en 2004). Royo et al. (1997) y Royo (1999) reportaron, en diferentes ambientes de España, que el rendimiento de grano de triticales, respecto de otros cereales de invierno, fue más susceptible a los cortes previos a la cosecha de grano debido a la sequía en el período de rebrote. Adicionalmente, en nuestro estudio, se observa que el número de días con helada durante el crecimiento del grano DP (luego del segundo corte de material forrajero) fue de 21 y 14 días en 2004 y 2005

respectivamente. Dicha diferencia en la cantidad de heladas pudo afectar el desarrollo y maduración del grano.

A su vez, el alto coeficiente de variación de DP comparado con GC estaría indicando probablemente el fuerte impacto del manejo (cortes del forraje), superando éste al efecto debido a las condiciones climáticas. Para GC ambos años presentaron la misma cantidad de días con heladas, pero la diferencia más importante se observó en las precipitaciones las cuales fueron un 35% superior en 2004.

Sorrells y Simmons (1992) afirman que las precipitaciones anuales en las regiones de crecimiento de la avena oscilan entre 380 a 1140 mm, pero que a menudo son de 760 mm o menos. A su vez, la variación en la distribución de las precipitaciones pueden resultar desfavorables para la producción de avena. Coffman y Frey (1961) indicaron que la producción de grano de avena fue limitada cuando las precipitaciones fueron menores de 200 mm durante el período crítico de mayo a agosto en Canadá. Tal como fue mencionado previamente, en el SO Bonaerense los valores medios de precipitación anual son de aproximadamente 650 mm, lo cual indicaría que las precipitaciones de esta región resultarían favorables para dicho cultivo. En este sentido, diferentes ensayos de rendimiento de grano en el SO Bonarense han arrojado rendimientos que oscilan entre 1000 a 2800 kg/ha para DP y entre 2800 a 6050 kg/ha para GC (Wehrhahne, 2005). Adicionalmente, en un ensayo en Italia con precipitaciones de aproximadamente 387 mm (octubre a junio), Odoardi et al. (2008) reportaron un rendimiento de 2400 kg/ha para DP y 3900 kg/ha para GC. Los rendimientos obtenidos por estos autores son similares a los obtenidos en este experimento.

Para grano de cebada, Hadjichristodoulou (1991) encontró que, en general, los pastoreos previos reducen el rendimiento de grano bajo condiciones naturales comparado con condiciones bajo riego. Además la avena parece ser más sensible que la

cebada u otros cereales a la reducción en el rendimiento de grano luego de dos pastoreos o cortes (Francia et al., 2006). Por lo tanto, considerando que los cultivares evaluados en este estudio fueron inicialmente seleccionados para producción de forraje, y de modo que, a menos que la sequía y la cantidad de heladas sean realmente estresantes, la expresión del rendimiento de grano para DP podría ser más dependiente del impacto de los cortes, o eventualmente pastoreos, más que de las condiciones climáticas (excepto en condiciones extremas de sequía), y por lo tanto el rendimiento de grano resultará ser más impredecible. Otra posible causa del bajo rendimiento de grano DP podría estar asociado al momento de realización del último corte de forraje. Si el último corte o pastoreo de forraje se realizara en un estado fenológico tardío, esto podría causar un elevado crecimiento vegetativo en detrimento del reproductivo afectando la producción de grano (Francia et al., 2006).

El peso hectolítrico es una medida de la densidad, o peso específico del grano que se ha utilizado para reflejar el llenado de los mismos. Los mejoradores utilizan este parámetro para seleccionar avenas para la industria molinera. Altos pesos hectolítricos son requeridos ya que indican el potencial rendimiento de extracción. Sin embargo, el peso hectolítrico no es una medida directa de las características de procesamiento del grano y ha sido mostrado por Meyer y Zwingelberg (1981) que es inadecuado para predecir el rendimiento de extracción de harina. McGarel y White (1996) reportaron que el peso hectolítrico solamente explica el 19% de la variación en el contenido de pepita en un amplio rango de cultivares. La pobre relación entre calidad y peso hectolítrico generaría dificultades en la selección de avenas, en las cuales el peso hectolítrico es uno de los principales criterios de selección molinera. Sin embargo, Wehrhahne (2009), trabajando con los mismos cultivares evualuados en este experimento, encontró que el peso hectolítrico se correlacionó con la calidad molinera y con el porcentaje de pepita

del grano de avena y propuso un índice para calificar a los cultivares en función de diversas variables de calidad en las que incluye al peso hectolítrico, peso de mil granos, desarrollo, porcentaje de pepita y contenido de proteína. El PH está afectado por varios factores entre los que se encuentran la disponibilidad de agua, temperatura, enfermedades, entre otras (Polidoro et al., 2004; Mockel et al., 1984), así como también depende del año de cultivo, época de siembra y tratamiento del cultivo (Forsberg y Reeves, 1992; Floss, 1998). El PH se afecta negativamente con las bajas precipitaciones al final del llenado del grano como así también con el aumento de la temperatura ambiente en la etapa final del llenado del grano, la cual puede adelantar la maduración de los mismos antes de alcanzar un llenado óptimo (Wehrhahne, 2009). En nuestro experimento, en el último mes de llenado del grano las precipitaciones para ambos años fue similar (56,2 y 57,2 mm en noviembre de 2004 y de 2005 respectivamente), y un 12% menor a la media histórica (64,0 mm), lo cual no afectaría el llenado del grano. Sin embargo la temperatura media fue de 16,7 °C y 18,9 °C en noviembre de 2004 y 2005 respectivamente lo cual indica que en el año 2005 pudo acelerarse la maduración del grano con insuficiente llenado y consecuentemente con un PH menor. A pesar de ello se observaron cultivares que presentaron los mayores valores de PH en 2005 respecto de 2004.

## 2.5 Conclusiones

Existe una gran variabilidad entre los cultivares evaluados tanto para la producción de forraje como para el rendimiento y peso hectolítrico del grano. Los cultivares no se comportan de manera similar en los dos años de experimentación, encontrando cultivares como Bw 103, Milagros, Payé, Pilar, Polaris y Tucana, los cuales se adaptan al estrés hídrico y heladas, mostrando niveles de producción de forraje similares en ambos años de experimentación.

El manejo (DP ó GC) afecta la producción de grano y es variable según el genotipo evaluado, destacándose los cultivares Bw 103, Canai, Pilar, Polaris, Rocío y U 16 por su buen rendimiento en ambos años.

La respuesta de los cultivares en producción de forraje y grano va a depender en gran medida de las condiciones climáticas, sin embargo en este estudio se observaron cultivares que por su estabilidad y adaptación podrían presentar una producción de forraje y rendimiento de grano más independiente de las condiciones ambientales.

## CAPÍTULO 3

### COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL FORRAJE DE AVENA

#### 3.1 Introducción

La información relacionada al sitio experimental, características edafo-climáticas, genotipos y diseño experimental han sido detallados previamente en el Capítulo 2.

En cuanto a la metodología específica para determinar aspectos cualitativos de composición del forraje cosechado en ambos cortes, la misma se describe a continuación

#### 3.2 Materiales y Métodos

##### 3.2.1 Determinaciones químicas

De cada parcela del ensayo, inmediatamente después de realizar los cortes del material forrajero, se tomó una subfracción del forraje fresco (aproximadamente 300 g) la cual fue deshidratada en un liofilizador Heto FD 8.0 (Heto-Holten, Dinamarca) hasta peso constante (AOAC, 2000) para obtener el contenido de materia seca (MS) de la misma. Posteriormente se procedió a la molienda de la materia seca mediante el uso de molino Wiley (Thomas Scientific, Swedesboro, NJ. USA) con malla de 1 mm y al material obtenido se le realizaron las siguientes determinaciones:

- **Cenizas totales (CEN):** por incineración total en mufla a 550°C (AOAC, 2000).
- **Proteína bruta (PB):** por técnica macro Kjeldahl transformando el N obtenido en PB mediante el factor 6,25 (AOAC, 2000).
- **Proteína soluble (PS):** por solubilización en NaCl y posterior determinación de N con técnica macro Kjeldahl (Waldo y Goering, 1979).

- **Fibra en detergente neutro, fibra en detergente ácido y lignina en detergente ácido (FDN, FDA y LDA):** por el método secuencial, con  $\alpha$ -amilasa y sin sulfito de sodio, acorde al procedimiento descrito por Van Soest et al. (1991) en un baño procesador (Ankom Technology Corp., Fairpoint, NY, USA).
- **Carbohidratos no estructurales solubles (CNES):** por el método de la antrona (Silva y Queiroz, 2002).

### 3.2.2 Cálculos y estimaciones

A partir de diversas determinaciones químicas realizadas en el forraje se realizaron los siguientes cálculos y estimaciones:

- **Relación Proteína soluble/Proteína bruta (PS/PB)**
- **Relación Proteína soluble/Carbohidratos no estructurales solubles (PS/CNES)**
- **Digestibilidad de la materia seca (DMS) =  $[88.9 - (0.779 \times \% \text{FDA})]$**  (NRC, 2000)
- **Máxima ingestión de materia seca esperada (IMS) =  $120 / \% \text{FDN}$**  (NRC, 2000).
- **Valor relativo del forraje (VRF) =  $[\% \text{DMS} \times \% \text{DMI} / 1.29]$**  (NRC, 2000).

### 3.2.3 Análisis estadístico

Las fracciones químicas y las estimaciones realizadas se analizaron para cada corte separadamente mediante análisis de la varianza para un diseño en bloques completos al azar con tres repeticiones, utilizando el programa estadístico Infostat (2008). Debido a que los bloques de las parcelas experimentales se localizaron en la misma región pero en zonas diferentes en cada año en particular, el diseño consistió en un ANOVA doble en parcela dividida, en el cual los Años tienen como unidad experimental a los bloques, que están divididos en parcelas donde se aplica el factor secundario (cultivares).

Para las variables que presentaron interacción *Cultivar x Año*, las comparaciones se realizaron en cada año por separado. Las variables que presentaron diferencias entre cultivares se evaluaron mediante el test de la diferencia mínima significativa (DMS).

### **3.3 Resultados**

Todos los resultados de composición química reportados en esta sección están expresados en base seca.

#### **3.3.1 Análisis de varianza de la composición química en biomasa forrajera de avena**

En las tablas 3.1 y 3.2 se reporta el análisis de varianza para composición química en C1 y C2 de los diferentes cultivares de avena en estudio. El Análisis de varianza muestra que existieron, para todas las variables, diferencias altamente significativas tanto para el factor Cultivar, como para el factor Año en ambos cortes. A su vez, ambos cortes presentaron interacción *Cultivar x Año* altamente significativa (Excepto PS/CNES y DMS en el corte 2), por lo tanto los cultivares se compararon, en cada corte, por años separadamente.

Tabla 3.1 Resumen de los test F en el corte 1 para composición química del forraje en diferentes cultivares de avena.

| Fuente de variación | gl | MS    | CEN   | PB    | PS    | CNES  | PS/CNES | PS/PB | FDN   | FDA   | LDA  | DMS   | IMS  | VRF  |
|---------------------|----|-------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|------|-------|------|------|
| %                   |    |       |       |       |       |       |         |       |       |       |      |       |      |      |
| Cultivar (C)        | 17 | **    | **    | **    | **    | **    | **      | **    | **    | **    | **   | **    | **   | **   |
| Año (A)             | 1  | **    | **    | **    | **    | **    | **      | **    | **    | **    | **   | **    | **   | **   |
| C x A               | 17 | **    | **    | **    | **    | **    | **      | **    | **    | **    | **   | **    | **   | **   |
| Media general       | -  | 17,82 | 12,36 | 26,00 | 10,89 | 11,59 | 0,97    | 0,42  | 38,81 | 20,35 | 2,01 | 73,05 | 3,10 | 176  |
| C. V. (%)           | -  | 3,00  | 3,02  | 2,20  | 4,15  | 2,89  | 5,19    | 4,30  | 1,39  | 2,04  | 7,92 | 0,44  | 1,36 | 1,55 |

C.V.: coeficiente de variación

Tabla 3.2 Resumen de los test F en el corte 2 para composición química del forraje en diferentes cultivares de avena.

| Fuente de variación | gl | MS    | CEN   | PB    | PS    | CNES  | PS/CNES | PS/PB | FDN   | FDA   | LDA  | DMS   | IMS  | VRF  |
|---------------------|----|-------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|------|-------|------|------|
| %                   |    |       |       |       |       |       |         |       |       |       |      |       |      |      |
| Cultivar (C)        | 17 | **    | **    | **    | **    | **    | **      | **    | **    | **    | **   | **    | **   | **   |
| Año (A)             | 1  | **    | **    | **    | **    | **    | **      | **    | *     | **    | **   | **    | **   | **   |
| C x A               | 17 | **    | ns    | **    | **    | **    | ns      | **    | **    | **    | **   | ns    | **   | **   |
| Media general       | -  | 24,29 | 10,49 | 21,47 | 10,49 | 18,80 | 0,56    | 0,49  | 39,64 | 18,89 | 1,91 | 74,19 | 3,04 | 175  |
| C. V. (%)           | -  | 4,05  | 7,61  | 5,14  | 6,46  | 1,62  | 6,76    | 6,76  | 3,22  | 4,27  | 6,68 | 0,85  | 3,18 | 3,60 |

C.V.: coeficiente de variación

### 3.3.2 Contenido de materia seca y cenizas en ambos cortes de material forrajero

El contenido de materia seca y cenizas en ambos cortes de material forrajero se reporta en la tabla 3.3. La MS para el C1 en 2004 presentó la mayor variabilidad con un valor medio de 15,23%, el cual resultó 25% inferior a 2005 (MS promedio de 20,40%). Los cultivares con valores más bajos en 2004 fueron Bw 103, Máxima y Payé, con valores inferiores a 13%, mientras que ningún cultivar alcanzó el valor mínimo reportado para el año 2005. En 2005 la MS osciló entre 18,93% (Polaris) y 22,37% (Rocío).

Para C2, la MS presentó un patrón opuesto a C1 ya que en 2004 se observaron valores superiores, para todos los cultivares respecto de 2005 (excepto U 16 que obtuvo valores similares en ambos años). El valor medio en 2004 fue de 25,43%, siendo éste un 10% superior respecto de 2005 (23,15% MS). En 2004 el menor contenido de materia seca lo obtuvo Payé (22,69%) y Máxima (23,08%), mientras que el resto de los cultivares presentaron valores superiores a 24% MS, alcanzando Aurora un valor máximo de 27,40% MS. En 2005 Suregrain, Millauquén y Payé presentaron los valores más bajos de materia seca mientras que el valor máximo lo obtuvo Boyera seguido de Cristal, Calén, Maja y U 16.

El contenido de cenizas para C1 en 2004 presentó los mayores valores, con un contenido promedio de 13,68%, el cual resultó 24% mayor al valor medio observado en 2005 (11,04%). En 2004 los valores oscilaron entre 11,96% (Aurora) y 15,69% (Máxima). En 2005 los valores oscilaron entre 9,82% (Pionera) y 13,07% (Suregrain). Sólo Suregrain superó el contenido de cenizas en 2005 respecto de 2004, siendo éste además el de mayor contenido (13,07%).

Para C2, el año 2004 vuelve a mostrar los contenidos de cenizas más elevados, con un contenido medio de 11,93%, mientras que el año 2005 presentó un valor medio

(9,40%) el cual resultó 21% menor al valor medio del año 2004. Durante 2004 se observaron valores que oscilaron entre 10,93% (Aurora) y 13,60% (Tucana) mientras que en 2005 los valores oscilaron entre 7,84% (Aurora) y 10,26% (Tucana).

Tabla 3.3 Contenido de materia seca y cenizas en forraje de diferentes cultivares de avena.

| Cultivar             | MS, %        |              |              |              | CEN, %       |              |              |             |
|----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
|                      | Corte 1      |              | Corte 2      |              | Corte 1      |              | Corte 2      |             |
|                      | 2004         | 2005         | 2004         | 2005         | 2004         | 2005         | 2004         | 2005        |
| Aurora               | 18,68        | 20,90        | 27,40        | 23,93        | 11,96        | 10,65        | 10,93        | 7,84        |
| Boyera               | 17,22        | 19,07        | 26,98        | 24,77        | 12,63        | 10,59        | 11,22        | 9,04        |
| Bw 103               | 12,50        | 20,30        | 26,79        | 22,37        | 13,62        | 11,07        | 11,31        | 8,53        |
| Calén                | 14,08        | 20,93        | 26,03        | 24,37        | 14,59        | 10,91        | 11,40        | 10,25       |
| Canai                | 14,75        | 20,57        | 26,03        | 22,93        | 14,90        | 10,69        | 13,39        | 9,24        |
| Cristal              | 16,80        | 21,40        | 25,59        | 24,50        | 13,36        | 10,87        | 12,70        | 9,61        |
| Maja                 | 15,76        | 20,70        | 24,92        | 24,23        | 13,84        | 12,14        | 12,02        | 9,77        |
| Máxima               | 12,09        | 19,07        | 23,08        | 22,30        | 15,69        | 11,86        | 13,02        | 9,10        |
| Milagros             | 15,02        | 20,60        | 24,85        | 22,73        | 13,32        | 10,74        | 12,08        | 9,47        |
| Millauquén           | 16,55        | 20,80        | 26,66        | 21,27        | 12,57        | 10,58        | 11,32        | 8,45        |
| Payé                 | 12,99        | 21,77        | 22,69        | 21,27        | 14,64        | 11,05        | 12,33        | 8,15        |
| Pilar                | 16,30        | 20,70        | 25,67        | 22,93        | 13,05        | 11,06        | 11,45        | 8,96        |
| Pionera              | 15,75        | 20,67        | 25,22        | 23,67        | 13,06        | 9,82         | 11,88        | 8,43        |
| Polaris              | 14,10        | 18,97        | 24,41        | 23,67        | 13,77        | 10,37        | 11,44        | 8,73        |
| Rocío                | 17,22        | 22,37        | 26,44        | 23,50        | 13,03        | 11,01        | 11,57        | 8,62        |
| Suregrain            | 16,56        | 18,93        | 24,89        | 20,70        | 12,47        | 13,07        | 11,16        | 8,91        |
| Tucana               | 13,37        | 19,10        | 25,70        | 23,40        | 15,32        | 12,39        | 13,60        | 10,26       |
| U 16                 | 14,44        | 20,37        | 24,37        | 24,17        | 14,35        | 9,92         | 11,99        | 9,35        |
| <b>Media</b>         | <b>15,23</b> | <b>20,40</b> | <b>25,43</b> | <b>23,15</b> | <b>13,68</b> | <b>11,04</b> | <b>11,93</b> | <b>9,04</b> |
| <b>Media general</b> | <b>17,82</b> |              | <b>24,29</b> |              | <b>12,36</b> |              | <b>10,49</b> |             |
| <b>DMS</b>           | <b>0,87</b>  |              | <b>1,60</b>  |              | <b>0,61</b>  |              | <b>1,30</b>  |             |

### **3.3.3 Contenido de proteína bruta, proteína soluble y carbohidratos no estructurales solubles en ambos cortes de material forrajero**

El contenido de proteína y carbohidratos se reportan en la tabla 3.4. Para C1, se observaron valores promedio anuales de PB de 26,98% (2004) y 25,10% (2005). En 2004 Aurora, Boyera, Cristal, Millauquén, Pilar y Suregrain fueron los cultivares que presentaron PB superior a 29%, mientras que Bw 103 no alcanzó a 22%. En 2005 los cultivares más destacados fueron Aurora, Canai y Pilar con valores cercanos a 29%, mientras que el cultivar con menor contenido de proteína fue U 16 con un valor de 19,30%. Los cultivares que mantuvieron valores elevados y estables en ambos años fueron Aurora y Pilar.

Para C2, se observa un claro descenso en el contenido de PB respecto a C1, mostrando el año 2004 un valor promedio de 22,46% y el año 2005 un valor promedio de 20,48%. En 2004, Aurora, Boyera, Millauquén y Pionera fueron los cultivares que alcanzaron valores superiores a 24%, mientras que Canai, Milagros y U16 no alcanzaron el 20%. En 2005, sólo Calén y Canai superaron el 24% mientras que Aurora, Bw 103, Maja, Máxima, Payé y Pionera no alcanzaron el 20% de PB. Cristal y Tucana fueron los únicos cultivares que mantuvieron estable su contenido de proteína en ambos años con valores cercanos a 23%. Por otro lado Aurora y Pionera presentaron uno de los mayores valores en 2004, y uno de los menores en 2005. Contrariamente, Canai presentó el mayor contenido de 2005 y uno de los más bajos de 2004.

Para PS, C1 presenta un valor medio 6,7% menor en 2004 respecto de 2005. En 2004 los valores oscilaron entre 8,60% (Bw 103) y 11,70% (Pilar), mientras que en 2005 fueron entre 9,22% (U 16) y 12,83% (Pilar). Pilar, Pionera, Millauquén, Aurora y Boyera fueron los cultivares que presentaron valores superiores al valor medio general en ambos años de estudio.

Para C2, en 2004 el contenido de PS presenta un valor medio 19,70% inferior a 2005. En 2004 los valores oscilaron entre 7,37% (Milagros) y 10,67% (Aurora), mientras que para 2005 la PS presentó valores entre 9,36% (Aurora) y 13,37% (Bw 103). Milagros, Polaris, Canai, Tucana y U 16 fueron los cultivares que presentaron los valores más bajos de PS en 2004 los cuales no superaron el 9%, mientras que en 2005 ningún cultivar presentó valores tan bajos. Maja fue el único cultivar que mantuvo un valor estable (superior al 10% de PS) en ambos años.

Para C1, en 2004 se observó un menor contenido de CNES en todos los genotipos evaluados el cual resultó 26,8% inferior a 2005. Para C2 se observa el mismo patrón, con un valor medio 11,6% menor en 2004 respecto de 2005, a excepción del cultivar Canai que presentó un contenido de CNES mayor en 2004.

Para C1 en 2004, los CNES variaron entre 8,02% (Payé) y 11,28% (Milagros) mientras que en 2005 se registraron valores entre 10,46% (Payé) y 17,54% (Canai). Milagros fue el único cultivar que mantuvo su valor estable en ambos años, con valores cercanos al 12%.

Para C2 en 2004, los valores encontrados estuvieron entre 14,91% (Pionera) y 20,98% (Milagros) mientras que en 2005 oscilaron entre 16,75% (Canai) y 22,16% (U16). Aurora, Milagros y U 16 fueron los cultivares que mantuvieron valores similares en ambos años.

Tabla 3.4 Contenido de PB, PS y CNES en cultivares de avena.

| Cultivar             | PB, %        |              |              |              | PS, %        |              |              |              | CNES, %      |              |              |              |
|----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                      | Corte 1      |              | Corte 2      |              | Corte 1      |              | Corte 2      |              | Corte 1      |              | Corte 2      |              |
|                      | 2004         | 2005         | 2004         | 2005         | 2004         | 2005         | 2004         | 2005         | 2004         | 2005         | 2004         | 2005         |
| Aurora               | 30,91        | 28,82        | 25,27        | 17,48        | 11,57        | 11,54        | 10,67        | 9,36         | 10,92        | 13,80        | 19,59        | 20,60        |
| Boyera               | 30,15        | 25,52        | 24,65        | 21,07        | 11,18        | 11,24        | 9,96         | 11,10        | 10,84        | 14,51        | 15,63        | 20,57        |
| Bw 103               | 21,91        | 23,16        | 22,13        | 18,65        | 8,60         | 11,82        | 9,01         | 13,37        | 8,74         | 13,09        | 17,09        | 19,36        |
| Calén                | 23,53        | 28,68        | 20,67        | 23,97        | 9,70         | 11,71        | 9,24         | 11,09        | 10,78        | 14,49        | 18,84        | 20,47        |
| Canai                | 24,64        | 25,75        | 19,86        | 24,61        | 9,10         | 10,11        | 8,22         | 12,63        | 10,92        | 17,54        | 19,54        | 16,75        |
| Cristal              | 30,16        | 25,15        | 23,04        | 22,94        | 10,75        | 10,59        | 9,51         | 12,36        | 9,76         | 14,12        | 17,71        | 19,36        |
| Maja                 | 26,02        | 26,68        | 22,49        | 16,81        | 10,66        | 12,10        | 10,60        | 10,18        | 10,63        | 12,94        | 15,51        | 17,51        |
| Máxima               | 23,33        | 25,17        | 23,60        | 17,90        | 9,99         | 12,61        | 9,06         | 10,08        | 8,25         | 12,52        | 19,18        | 20,45        |
| Milagros             | 25,11        | 22,57        | 18,59        | 21,59        | 10,06        | 12,75        | 7,37         | 11,37        | 11,28        | 11,27        | 20,98        | 21,40        |
| Millauquén           | 31,01        | 26,38        | 24,53        | 20,72        | 11,34        | 12,20        | 10,52        | 11,05        | 8,98         | 13,98        | 16,61        | 20,60        |
| Payé                 | 24,94        | 24,43        | 21,37        | 18,23        | 10,09        | 10,84        | 9,12         | 13,36        | 8,02         | 10,46        | 15,73        | 17,76        |
| Pilar                | 30,85        | 28,95        | 23,53        | 20,61        | 11,70        | 12,83        | 10,07        | 11,76        | 8,51         | 11,91        | 15,84        | 20,85        |
| Pionera              | 27,57        | 22,43        | 25,16        | 19,35        | 11,62        | 12,27        | 10,45        | 11,52        | 10,60        | 15,36        | 14,91        | 20,81        |
| Polaris              | 26,01        | 25,22        | 20,59        | 20,32        | 10,75        | 10,43        | 7,57         | 12,07        | 8,63         | 10,58        | 17,45        | 19,30        |
| Rocío                | 24,86        | 23,69        | 22,54        | 20,84        | 10,23        | 10,29        | 9,98         | 11,99        | 10,83        | 15,03        | 15,58        | 19,55        |
| Suregrain            | 30,43        | 26,70        | 23,73        | 20,53        | 10,94        | 10,32        | 9,96         | 11,27        | 9,51         | 12,93        | 17,82        | 20,72        |
| Tucana               | 25,18        | 23,55        | 22,72        | 22,63        | 10,70        | 10,03        | 8,58         | 12,96        | 9,89         | 13,04        | 18,48        | 21,12        |
| U 16                 | 27,38        | 19,30        | 19,72        | 20,37        | 10,20        | 9,22         | 8,30         | 11,83        | 9,21         | 13,30        | 20,94        | 22,16        |
| <b>Media</b>         | <b>26,89</b> | <b>25,12</b> | <b>22,46</b> | <b>20,48</b> | <b>10,51</b> | <b>11,27</b> | <b>9,34</b>  | <b>11,63</b> | <b>9,79</b>  | <b>13,38</b> | <b>17,64</b> | <b>19,96</b> |
| <b>Media general</b> | <b>26,00</b> |              | <b>21,47</b> |              | <b>10,89</b> |              | <b>10,49</b> |              | <b>11,59</b> |              | <b>18,80</b> |              |
| <b>DMS</b>           | <b>0,93</b>  |              | <b>1,80</b>  |              | <b>0,74</b>  |              | <b>1,11</b>  |              | <b>0,55</b>  |              | <b>0,49</b>  |              |

### 3.3.4 Relación PS/CNES y PS/PB en ambos cortes de material forrajero

La relación PS/CNES y PS/PB, para C1 y C2 se reportan en la Tabla 3.5. Para C1, en 2004 se observó una relación media PS/CNES de 1,09 la cual resultó 26,8% mayor que en 2005 (relación media de 0,86). Para C2 los valores medios de ambos años resultaron muy similares entre sí. La media general de ambos años para C1 fue 73% superior a la observada en C2 (0,97 vs 0,56).

Para C1, en 2004 la relación PS/CNES presentó valores entre 0,83 (Canai) y 1,38 (Pilar), mientras que en 2005 los valores oscilaron entre 0,57 (Canai) y 1,13 (Milagros). Canai presentó la menor relación PS/CNES para ambos años.

Para C2, en 2004 se observó mayor variabilidad con valores que oscilaron entre 0,35 (Milagros) y 0,70 (Pionera), mientras que en 2005 se observaron valores entre 0,45 (Aurora) y 0,76 (Canai). Máxima y Suregrain mantuvieron valores estables en ambos años.

La relación PS/PB para C1 presentó valores inferiores en 2004 (0,39) respecto a 2005 (0,45). En 2004 los valores oscilaron entre 0,36 (Cristal y Suregrain) y 0,43 (Tucana), mientras que en 2005 se observaron valores entre 0,39 (Suregrain) y 0,57 (Milagros). Tucana, Polaris y Calén fueron los cultivares que mantuvieron una relación PS/PB similar en ambos años.

Para C2, al igual que en C1, el año 2004 presentó una relación PS/PB con menor variabilidad, con un valor medio de 0,42; el cual resultó 26,3% inferior al valor medio observado en 2005 (0,57). En 2004 se observaron valores entre 0,37 (Polaris) y 0,47 (Maja) mientras que en 2005 los valores observados oscilaron entre 0,46 (Calén) y 0,74 (Payé). Calén fue el único genotipo que mantuvo valores similares en ambos años.

Tabla 3.5 Relación PS/CNES y PS/PB en ambos cortes de forraje de diferentes cultivares de avena

| Cultivar             | PS/CNES     |             |             |             | PS/PB       |             |             |             |
|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                      | Corte 1     |             | Corte 2     |             | Corte 1     |             | Corte 2     |             |
|                      | 2004        | 2005        | 2004        | 2005        | 2004        | 2005        | 2004        | 2005        |
| Aurora               | 1,06        | 0,84        | 0,54        | 0,45        | 0,37        | 0,40        | 0,42        | 0,53        |
| Boyera               | 1,03        | 0,77        | 0,64        | 0,54        | 0,37        | 0,44        | 0,40        | 0,53        |
| Bw 103               | 0,99        | 0,90        | 0,53        | 0,69        | 0,39        | 0,51        | 0,41        | 0,72        |
| Calén                | 0,90        | 0,81        | 0,49        | 0,54        | 0,41        | 0,41        | 0,45        | 0,46        |
| Canai                | 0,83        | 0,57        | 0,42        | 0,76        | 0,37        | 0,39        | 0,41        | 0,51        |
| Cristal              | 1,10        | 0,75        | 0,54        | 0,64        | 0,36        | 0,42        | 0,41        | 0,54        |
| Maja                 | 1,00        | 0,94        | 0,68        | 0,58        | 0,41        | 0,45        | 0,47        | 0,61        |
| Máxima               | 1,21        | 1,01        | 0,47        | 0,49        | 0,43        | 0,50        | 0,38        | 0,56        |
| Milagros             | 0,89        | 1,13        | 0,35        | 0,53        | 0,40        | 0,57        | 0,40        | 0,53        |
| Millauquén           | 1,26        | 0,87        | 0,64        | 0,54        | 0,37        | 0,46        | 0,43        | 0,54        |
| Payé                 | 1,27        | 1,04        | 0,58        | 0,75        | 0,41        | 0,44        | 0,43        | 0,74        |
| Pilar                | 1,38        | 1,08        | 0,64        | 0,56        | 0,38        | 0,44        | 0,43        | 0,57        |
| Pionera              | 1,10        | 0,80        | 0,70        | 0,55        | 0,42        | 0,55        | 0,42        | 0,59        |
| Polaris              | 1,25        | 0,99        | 0,44        | 0,63        | 0,41        | 0,42        | 0,37        | 0,60        |
| Rocío                | 0,95        | 0,69        | 0,64        | 0,61        | 0,41        | 0,44        | 0,44        | 0,58        |
| Suregrain            | 1,15        | 0,80        | 0,56        | 0,54        | 0,36        | 0,39        | 0,42        | 0,55        |
| Tucana               | 1,08        | 0,77        | 0,47        | 0,61        | 0,42        | 0,43        | 0,38        | 0,57        |
| U 16                 | 1,11        | 0,70        | 0,39        | 0,53        | 0,37        | 0,48        | 0,42        | 0,58        |
| <b>Media</b>         | <b>1,09</b> | <b>0,86</b> | <b>0,54</b> | <b>0,59</b> | <b>0,39</b> | <b>0,45</b> | <b>0,42</b> | <b>0,57</b> |
| <b>Media general</b> | <b>0,97</b> |             | <b>0,56</b> |             | <b>0,42</b> |             | <b>0,49</b> |             |
| <b>DMS</b>           | <b>0,08</b> |             | <b>0,06</b> |             | <b>0,03</b> |             | <b>0,05</b> |             |

### 3.3.5 Contenido de FDN, FDA y LDA en ambos cortes de material forrajero

El contenido de FDN, FDA y LDA en ambos cortes de material forrajero se reporta en la tabla 3.6. Para FDN, se observa que la media general es similar en ambos cortes.

Para C1, en 2004 se observó un valor medio de FDN de 38,29% y en 2005 el valor medio registrado fue de 39,34%. El rango de valores para 2004 fue desde 34,17% (Boyera) hasta 43,58% (Bw 103). Para 2005 se observó un rango entre 34,81% (Pilar) y 43,74% (Milagros). Cristal, Maja, Millauquén, Pilar y Pionera fueron los cultivares que mantuvieron el valor de FDN estable en ambos años.

Para C2 se observa que el año 2004 fue el más estable con valores inferiores al 2005, excepto para Maja y Millauquén que presentaron valores más elevados en 2004. El valor medio en 2004 fue de 38,61%, siendo éste un 10% inferior al valor medio de 2005, con un valor de 40,68%. En 2004 los valores oscilaron entre 37,39% (Tucana) y 40,34% (Rocío), mientras que en 2005 se observaron valores entre 37,74% (Cristal) y 44,08% (Rocío)

LA FDA en el corte 1 mostró un patrón inverso al de FDN respecto del valor medio ya que en este caso la FDA fue 5,9% superior en 2004, mientras que para C2, en 2004 fue un 10,6% menor a 2005.

Para C1, en 2004 se observó un rango de 17,53% (Boyera) a 25,33% (Bw 103). En 2005 los valores variaron entre 17,84% (Pilar) y 22,04% (Bw 103). Boyera se destaca por poseer valores bajos y similares en ambos años, mientras que Bw 103 mantiene los valores más elevados en ambos años.

Para C2, en 2004 se observaron valores de 15,07% (Boyera) a 19,46% (Payé), mientras que en 2005 fueron de 18,24% (Millauquén) a 22,72% (Calén). Polaris fue el único cultivar que mantuvo valores estables en ambos años.

Para LDA, se observa que C1 presenta un valor medio general de 2,01% el cual resultó un 5,2% mayor que para C2 (1,91% de LDA).

Para C1, en 2004 el contenido medio de LDA fue de 1,91%, mientras que en 2005 fue de 2,12%. Los contenidos en 2004 oscilaron entre 1,37% (Payé) y 2,56 % (Pionera); mientras que en 2005 oscilaron entre 1,73% (aurora) y 2,37% (Bw 103). Aurora Canai, Polaris y U 16 fueron los cultivares que mantuvieron valores similares en ambos años.

Para C2, todos los cultivares mostraron valores más bajos en 2004, excepto Pionera que mantuvo el mismo valor en ambos años. En 2004 se observaron valores entre 1,53 (Payé) y 2,18% (Pionera), mientras que en 2005 se observaron valores entre 1,86% (Maja) y 2,26% (Aurora). Maja mostró valores similares en ambos años y para ambos cortes.

Tabla 3.6 Contenido de FDN, FDA Y LDA en forraje de diferentes cultivares de avena.

| Cultivar             | FDN, %       |              |              |              | FDA, %       |              |              |              | LDA, %      |             |             |             |
|----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                      | Corte 1      |              | Corte 2      |              | Corte 1      |              | Corte 2      |              | Corte 1     |             | Corte 2     |             |
|                      | 2004         | 2005         | 2004         | 2005         | 2004         | 2005         | 2004         | 2005         | 2004        | 2005        | 2004        | 2005        |
| Aurora               | 37,06        | 38,73        | 37,88        | 41,99        | 17,77        | 19,28        | 15,20        | 20,08        | 1,80        | 1,73        | 1,92        | 2,26        |
| Boyera               | 34,17        | 36,61        | 38,62        | 41,37        | 17,53        | 18,43        | 15,07        | 20,56        | 2,00        | 2,26        | 1,75        | 2,09        |
| Bw 103               | 43,58        | 40,57        | 38,39        | 39,33        | 25,33        | 22,04        | 18,14        | 19,08        | 1,8,8       | 2,70        | 1,85        | 1,96        |
| Calén                | 38,23        | 40,00        | 37,93        | 43,80        | 21,20        | 20,32        | 17,70        | 22,72        | 1,74        | 2,14        | 1,88        | 2,16        |
| Canai                | 37,52        | 38,95        | 39,23        | 41,74        | 21,43        | 19,74        | 18,71        | 21,08        | 2,03        | 1,99        | 1,90        | 2,14        |
| Cristal              | 38,86        | 38,12        | 39,78        | 37,74        | 20,42        | 19,10        | 17,16        | 19,46        | 1,79        | 2,22        | 1,84        | 1,99        |
| Maja                 | 38,31        | 38,82        | 38,89        | 38,25        | 20,71        | 19,85        | 17,91        | 18,90        | 1,92        | 2,21        | 1,80        | 1,86        |
| Máxima               | 40,17        | 37,95        | 37,49        | 42,02        | 23,31        | 19,95        | 18,10        | 20,71        | 1,87        | 2,07        | 1,61        | 2,06        |
| Milagros             | 37,87        | 43,74        | 38,18        | 38,87        | 20,30        | 21,19        | 18,49        | 19,86        | 1,64        | 2,16        | 1,93        | 2,10        |
| Millauquén           | 38,89        | 39,23        | 38,76        | 37,88        | 19,67        | 20,37        | 16,98        | 18,24        | 1,83        | 2,18        | 1,79        | 1,96        |
| Payé                 | 41,27        | 38,27        | 39,19        | 40,17        | 23,83        | 17,88        | 19,46        | 20,61        | 1,37        | 2,31        | 1,53        | 2,18        |
| Pilar                | 34,74        | 34,81        | 38,33        | 39,70        | 18,80        | 17,84        | 17,83        | 19,61        | 2,08        | 2,35        | 1,93        | 2,09        |
| Pionera              | 39,42        | 39,33        | 38,91        | 39,62        | 21,38        | 19,88        | 18,51        | 19,14        | 2,56        | 2,25        | 2,18        | 2,18        |
| Polaris              | 38,18        | 39,15        | 39,02        | 40,80        | 21,93        | 20,64        | 19,38        | 19,20        | 2,12        | 2,02        | 1,64        | 2,12        |
| Rocío                | 41,76        | 39,57        | 40,34        | 44,08        | 21,78        | 19,78        | 18,67        | 20,05        | 1,80        | 2,23        | 1,54        | 1,88        |
| Suregrain            | 35,23        | 41,02        | 38,49        | 43,06        | 19,48        | 18,23        | 17,91        | 20,45        | 2,11        | 1,76        | 1,56        | 1,98        |
| Tucana               | 38,11        | 40,59        | 37,39        | 41,46        | 22,14        | 20,85        | 17,33        | 19,19        | 1,78        | 1,94        | 1,59        | 2,00        |
| U 16                 | 35,88        | 42,57        | 38,07        | 40,35        | 19,74        | 20,40        | 18,43        | 20,09        | 2,01        | 1,96        | 1,57        | 2,03        |
| <b>Media</b>         | <b>38,29</b> | <b>39,34</b> | <b>38,61</b> | <b>40,68</b> | <b>20,93</b> | <b>19,77</b> | <b>17,83</b> | <b>19,95</b> | <b>1,91</b> | <b>2,12</b> | <b>1,77</b> | <b>2,06</b> |
| <b>Media general</b> | <b>38,81</b> |              |              | <b>39,64</b> | <b>20,35</b> |              | <b>18,89</b> |              | <b>2,01</b> |             | <b>1,91</b> |             |
| <b>DMS</b>           | <b>0,88</b>  |              |              | <b>2,08</b>  | <b>0,68</b>  |              | <b>1,31</b>  |              | <b>0,26</b> |             | <b>0,23</b> |             |

### **3.3.6 Digestibilidad de la materia seca, máxima ingestión de materia seca y valor relativo del forraje en ambos cortes de material forrajero**

Los valores de Digestibilidad de la MS, IMS y VRF de ambos cortes de material forrajero se reportan en la tabla 3.7.

Para C1, los valores de DMS oscilaron entre 69,17% (Bw 103) y 75,24% (Boyera) en 2004 y entre 71,73% (Bw 103) y 75,01% (Pilar) en 2005. Boyera, Pilar y Suregrain fueron los cultivares que mantuvieron valores elevados y similares de DMS en ambos años.

Para C2, se observa que el año 2005 presentó valores más bajos de DMS, excepto para el cultivar Polaris que mostró valores similares en ambos años. Los valores encontrados mostraron una variación de 73,74% (Payé) a 77,16% (Boyera) para 2004 y de 71,20% (Calén) a 74,69% (Millauquén) para 2005. Millauquén mantuvo valores similares y superiores a la media general en ambos años.

Para C1, se observa un valor medio de IMS de 3,15% en 2004 y de 3,06% en 2005. En 2004 se encontraron valores entre 2,75% (Bw 103) y 3,51% (Boyera), mientras que en 2005 los valores encontrados fueron entre 2,74% (Milagros) y 3,45% (Pilar). Cristal, Maja, Millauquén, Pilar, Pionera y Polaris fueron los cultivares que mantuvieron valores similares en ambos años. Pilar fue el único cultivar con uno de los valores más elevados de IMS en ambos años.

Para C2, en 2004 la IMS presentó un valor medio de 3,11%, mientras que en 2005 fue de 2,96%. Todos los cultivares, excepto Cristal, Maja y Millauquén, mostraron los valores más elevados de IMS en 2004. Los valores observados fueron de 2,97% (Rocío) a 3,21% (Tucana) en 2004 y de 2,73% (Rocío) a 3,19% (Cristal) en 2005. Rocío se caracterizó por ser el cultivar con el valor más bajo de IMS en ambos años.

El VRF, para C1 resultó similar en ambos años. Los valores observados en 2004 fueron entre 147 (Bw 103) y 205 (Boyera), mientras que en 2005 fueron entre 154 (Milagros) y 201 (Pilar). Calén, Canai, Cristal, Maja, Millauquén, Pilar y Pionera fueron los cultivares que mantuvieron valores similares en ambos años, siendo Pilar quien mantuvo valores cercanos a 200 en ambos años.

Para C2, el año 2004 obtuvo un valor medio de 181, el cual resultó 7,7% superior al registrado en 2005 (valor medio de 168). Todos los cultivares, excepto Cristal, Maja y Millauquén, presentaron valores superiores en 2004 respecto de 2005. En 2004 los valores oscilaron de 171 (Rocío) a 189 (Aurora) y en 2005 de 151 (Calén) a 184 (Millauquén). Maja y Millauquén presentaron valores similares y cercanos a 180 en ambos años.

Tabla 3.7 Digestibilidad de la materia seca, máxima ingestión de materia seca y valor relativo del forraje en diferentes cultivares de avena.

| Cultivar             | DMS, %       |              |              |              | IMS, % PV   |             |             |             | VRF        |            |            |            |
|----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|------------|
|                      | Corte 1      |              | Corte 2      |              | Corte 1     |             | Corte 2     |             | Corte 1    |            | Corte 2    |            |
|                      | 2004         | 2005         | 2004         | 2005         | 2004        | 2005        | 2004        | 2005        | 2004       | 2005       | 2004       | 2005       |
| Aurora               | 75,06        | 73,88        | 77,06        | 73,26        | 3,24        | 3,10        | 3,17        | 2,86        | 188        | 178        | 189        | 162        |
| Boyera               | 75,24        | 74,55        | 77,16        | 72,88        | 3,51        | 3,28        | 3,11        | 2,91        | 205        | 189        | 186        | 164        |
| Bw 103               | 69,17        | 71,73        | 74,77        | 74,04        | 2,75        | 2,96        | 3,13        | 3,05        | 147        | 164        | 181        | 175        |
| Calén                | 72,39        | 73,07        | 75,11        | 71,20        | 3,14        | 3,00        | 3,16        | 2,74        | 176        | 170        | 184        | 151        |
| Canai                | 72,20        | 73,52        | 74,33        | 72,48        | 3,20        | 3,08        | 3,06        | 2,88        | 179        | 176        | 176        | 162        |
| Cristal              | 72,99        | 74,02        | 75,53        | 73,74        | 3,09        | 3,15        | 3,02        | 3,19        | 174        | 181        | 177        | 183        |
| Maja                 | 72,77        | 73,43        | 74,95        | 74,17        | 3,13        | 3,09        | 3,09        | 3,14        | 176        | 176        | 179        | 181        |
| Máxima               | 70,75        | 73,36        | 74,80        | 72,76        | 2,99        | 3,16        | 3,20        | 2,86        | 164        | 180        | 185        | 161        |
| Milagros             | 73,09        | 72,39        | 74,50        | 73,43        | 3,17        | 2,74        | 3,14        | 3,09        | 180        | 154        | 181        | 176        |
| Millauquén           | 73,58        | 73,03        | 75,67        | 74,69        | 3,09        | 3,06        | 3,10        | 3,17        | 176        | 173        | 182        | 184        |
| Payé                 | 70,33        | 74,97        | 73,74        | 72,85        | 2,91        | 3,14        | 3,06        | 3,00        | 159        | 182        | 175        | 169        |
| Pilar                | 74,26        | 75,01        | 75,01        | 73,63        | 3,45        | 3,45        | 3,13        | 3,02        | 199        | 201        | 182        | 172        |
| Pionera              | 72,25        | 73,41        | 74,48        | 73,99        | 3,04        | 3,05        | 3,09        | 3,03        | 170        | 174        | 178        | 174        |
| Polaris              | 71,82        | 72,82        | 73,80        | 73,94        | 3,14        | 3,06        | 3,07        | 2,95        | 175        | 173        | 176        | 169        |
| Rocío                | 71,93        | 73,49        | 74,36        | 73,28        | 2,87        | 3,03        | 2,97        | 2,73        | 160        | 173        | 171        | 155        |
| Suregrain            | 73,73        | 74,70        | 74,95        | 72,97        | 3,41        | 2,92        | 3,12        | 2,79        | 195        | 169        | 181        | 158        |
| Tucana               | 71,65        | 72,66        | 75,40        | 73,95        | 3,15        | 2,96        | 3,21        | 2,90        | 175        | 167        | 188        | 166        |
| U 16                 | 73,52        | 73,01        | 74,55        | 73,25        | 3,34        | 2,82        | 3,15        | 2,98        | 191        | 159        | 182        | 169        |
| <b>Media</b>         | <b>72,60</b> | <b>73,48</b> | <b>75,01</b> | <b>73,37</b> | <b>3,15</b> | <b>3,06</b> | <b>3,11</b> | <b>2,97</b> | <b>177</b> | <b>174</b> | <b>181</b> | <b>169</b> |
| <b>Media general</b> | <b>73,03</b> |              | <b>74,21</b> |              | <b>3,10</b> |             |             | <b>3,04</b> | <b>176</b> |            | <b>175</b> |            |
| <b>DMS</b>           | <b>0,53</b>  |              | <b>1,03</b>  |              | <b>0,07</b> |             |             | <b>0,16</b> | <b>4</b>   |            | <b>10</b>  |            |

PV: peso vivo.

### **3.4 Discusión**

#### **3.4.1 Evaluación del contenido de MS**

La proporción de MS en un forraje fresco es crítica debido a su potencial impacto sobre el consumo voluntario de rumiantes a pastoreo. Por consiguiente es de interés determinar si los distintos genotipos estudiados difieren en su contenido de MS.

El menor contenido de materia seca observado en C1 en el año 2004 respecto del año 2005 puede ser explicado, al menos en parte, por las precipitaciones acumuladas durante el crecimiento del material forrajero en ambos años. Las mismas fueron 47% más bajas en 2005 en comparación a 2004. Asimismo para C2 se observó una evolución en el contenido de MS opuesta a C1. Dicha diferencia puede también atribuirse a diferencias en las precipitaciones acumuladas en el período de crecimiento, dado que la precipitación acumulada entre C1 y C2 para 2004 (mayo y junio) fue de 12,4 mm, mientras que en 2005 (junio y julio) fue de 47,0 mm.

En nuestro estudio se observó que, en general, C1 presentó menor porcentaje de MS que C2, lo cual es esperable y coincide con reportes previos. Entre otros estudios, recientemente Ceconi (2005) indicó que la proporción de MS aumenta a medida que avanza el ciclo de crecimiento y se incrementan los tejidos de sostén de la planta. Este autor explica que el aumento en el contenido de MS también podría estar asociado a una disminución en las tasas de crecimiento, a medida que avanza el ciclo de crecimiento. En este estudio la tasa de crecimiento promedio para C1 en 2004, reflejada por la cantidad de días de crecimiento desde la siembra hasta el corte, fue un 20% superior respecto de 2005 (22,3 y 13,1 kg MS/ha/día en 2004 y 2005 respectivamente), de modo que los menores contenidos de MS en 2004 podrían estar relacionados con la mayor tasa de crecimiento del forraje.

En C2 es esperable que la concentración de MS sea superior a C1. El mayor contenido medio de MS en 2004, para C2, pudo deberse mayoritariamente a las bajas precipitaciones registradas, a pesar de que la tasa de crecimiento promedio fuera mayor (24,1 y 17,5 kg MS/ha/día en 2004 y 2005 respectivamente).

De acuerdo a Verité y Journet (1970), valores de MS inferiores al 20% pueden producir un impacto negativo en el consumo voluntario de bovinos a pastoreo. Este efecto puede ser atribuido al volumen que el forraje ocupa en el rumen. A su vez, el bajo contenido de MS de los forrajes puede producir cambios en el comportamiento ingestivo de rumiantes, tales como reducciones en el tamaño del bocado (Leaver, 1985) y en la tasa de consumo (John y Ulyatt, 1987; Peyraud et al., 1998) y como consecuencia de esto el consumo de MS puede reducirse (Orr et al., 1997). Independientemente de la interacción *cultivar x año* los valores absolutos indican que los cultivares no se diferencian en C1 para 2004, dado que todos presentaron contenidos de MS inferior a 20% y en consecuencia podrían afectar negativamente el consumo de bovinos a pastoreo en dichos cultivares, lo cual no ocurriría en un año de menores precipitaciones como 2005.

En general en la mayoría de los reportes de composición de alimentos, incluidos en los trabajos referidos nutrición de rumiantes, el contenido de cenizas es habitualmente incluido en el análisis. A pesar de ello, la discusión sobre la variabilidad de estos valores no es habitual y hasta podría decirse inexistente. Esto se debe a que las cenizas no constituyen una entidad nutricional "*per se*". Sin embargo, elevados niveles de cenizas podrían afectar negativamente al total de la energía aportada por el forraje, debido a que el valor energético del mismo depende estrictamente de compuestos orgánicos. Un valor muy elevado de cenizas puede a veces indicar contaminación de las muestras obtenidas con suelo. Jaurena et al. (1994) reportaron, en promedio general, el

contenido de cenizas de diferentes forrajes de la región Pampeana que incluyen pasturas anuales como verdeos de invierno de varios años de experimentación. Dichos contenidos de cenizas presentaron valores superiores a 15,8% respecto de los valores totales reportados por NRC (1982). Este análisis es coincidente con los valores medios observados en nuestro estudio, los cuales a su vez fueron superiores a los reportados por Arelovich et al. (2003 y 2004).

#### **3.4.2 Evolución de las fracciones nitrogenadas y carbohidratos no estructurales del forraje de avena.**

Como es ampliamente conocido el contenido de N total en un alimento para rumiantes es probablemente el parámetro de mayor significancia por su alta relación con la eficiencia de la digestión de la fibra a nivel ruminal, lo que a su vez está relacionado con la eficiencia de uso de la energía del alimento y por otra parte con el aporte de aminoácidos disponibles para su absorción a nivel intestinal.

Se observó que el contenido de PB disminuye en el ciclo correspondiente a C2 comparado con C1. Estudios previos encontraron que el contenido de PB en avena disminuye a medida que aumenta la madurez de la planta (Cherney and Marten 1982; Edmisten et al., 1998). Sin embargo, a pesar de encontrar mayores contenidos de PB en C1 respecto de C2, en nuestro estudio tal disminución no fue muy acentuada. Van Soest (1994) explica que la concentración de N y digestibilidad disminuyen a medida que la planta pasa del estado vegetativo al reproductivo, con la correspondiente lignificación del tejido de sostén y que a su vez este proceso depende de la temperatura y fotoperíodo. Debido a que el C2 se realizó durante el invierno, momento en el cual la temperatura y la intensidad lumínica son bajas, el desarrollo del forraje se pudo ver limitado sin poder alcanzar un estado de madurez suficiente como para observar un

descenso marcado del contenido proteico acompañado de un aumento en la fracción de pared celular.

Por otro lado, en estadios de crecimiento temprano (otoño) se incrementa la absorción de N y por lo tanto es esperable un aumento en el contenido de PB (Gastal y Nelson, 1994; Díaz Zorita et al., 1995; Elizalde y Santini, 1992). En el rebrote posterior a C1 se incrementa la biomasa y, aun cuando el N del suelo es elevado, la concentración del mismo en las plantas disminuye a medida que estas crecen (Reeves et al., 1996). En este sentido, en un estudio realizado con 8 cultivares de avena, Arelovich et al. (1996) observaron que la tendencia general, conforme avanza la madurez, fue que el contenido de PB disminuye.

En nuestro estudio en 2004 se hallaron los mayores contenidos de PB tanto para C1 como para C2. Este efecto pudo deberse al mayor nivel de precipitaciones en dicho año, las cuales favorecieron la captación de N del suelo (Hatfield y Prueger, 2004).

La concentración de N en la planta está asociada negativamente a la biomasa acumulada y positivamente a la cantidad de N disponible proveniente de la fertilización y del suelo (Lemaire y Gastal, 1997). Durante el ciclo inicial (C1), la cantidad de N disponible para el crecimiento proveniente del suelo fue la misma para todos los cultivares. De esta manera, para C1, las posibles diferencias en el contenido de PB entre cultivares deberían estar determinadas por diferencias en la biomasa acumulada, la cual está afectada a su vez por las condiciones climáticas y el genotipo en cuestión. En cambio, en C2, el menor contenido de PB podría asociarse a una disminución en la cantidad de N disponible para el crecimiento a medida que transcurren los días a partir del rebrote. Durante el rebrote (C2), el N disponible pudo estar limitado como consecuencia de un menor aporte de N por parte del suelo debido a disminuciones en la mineralización a causa de las bajas temperaturas invernales.

Por otro lado, Peterson y Schrader (1974) encontraron diferencias en el contenido de N de plantas de avena en distintos estadios de madurez, reportando para avenas de madurez tardía mayores contenidos de N que para avenas de madurez temprana. En nuestro estudio, tratando de emular la concepción de manejo generalmente utilizada, la cual se basa en la disponibilidad media de forraje, los cortes se realizaron a fecha fija sin tener en cuenta el ciclo de madurez de los cultivares, por lo tanto la diferencia en el contenido de PB pudo deberse a las diferencias en los estadios de madurez de los genotipos evaluados.

Todos los cultivares evaluados presentaron valores de PB superiores al 19%, de modo que, se espera que tales valores no afecten la performance animal ya que, el consumo *ad libitum* de estos forrajes exceden los requerimientos de PB de cualquier categoría animal (NRC, 2000). Debe considerarse también que excesos de PB podrían no resultar de beneficio para la productividad animal. Este es el caso en que el exceso de  $\text{NH}_4^+$  producido en el rumen, por un elevado consumo de PB, debe ser detoxificado a nivel hepático generando un incremento en el gasto energético (McDonald et al., 1995). En este sentido, no sólo importa el contenido de PB sino también la proporción de esa proteína que se encuentra en forma soluble (PS, totalmente degradable en el rumen) y el contenido de CNES que presenta dicho alimento. Al menos teóricamente debería optimizarse la sincronización entre el contenido de N y de cadenas carbonadas disponibles, utilizadas por las bacterias ruminales para formar proteína microbiana.

Respecto al contenido de PS, Denda (2009) reportó que, en verdeo de trigo, la variación porcentual en el contenido de PS es similar a la de PB, encontrando mayores valores en C1 respecto de C2. En nuestro estudio, en coincidencia con lo reportado por dicho autor, se observa que en 2004 la PS es menor en C2 respecto de C1, mientras que, por el contrario, en 2005 nueve cultivares presentan los mayores

contenidos de PS en C2. Por otro lado, Denda (2009) también reportó una asociación positiva entre las precipitaciones y el contenido de PS, mientras que en nuestro estudio ocurrió lo opuesto, encontrando un contenido medio de PS superior en 2005, el cual fue el año de menores precipitaciones.

Por otro lado, en los cultivares de avena de nuestro estudio prácticamente no se observaron variaciones sustanciales en el contenido de PS entre C1 y C2, a pesar de que el contenido de PB presentara una leve disminución. Esto podría deberse a que la variación en el contenido de PB sea a causa de una variación en el contenido de proteína insoluble, tal como lo describe Simmons (1987), el cual reportó que, en forraje de trigo, la variación en el contenido de N total obtenido de diferentes estudios probablemente sea resultado de la variación en el contenido de N insoluble, el cual podría variar con el genotipo, fertilización y condiciones de crecimiento.

Más del 50% de la PS en las plantas C3 está compuesta de Rubisco, y plantas con altas tasas fotosintéticas generalmente poseen alto contenido proteico (Vough, Morris Decker and Taylor, 1995). Dado que las células del mesófilo se degradan rápidamente a nivel ruminal, la mayor parte de su proteína se libera en el rumen, donde no se utilizan de forma eficiente por los microorganismos del rumen o el animal ya que normalmente exceden los requerimientos de nitrógeno para la síntesis de proteína microbiana en el rumen. De este modo, el exceso de N es eliminado en forma de urea a través de la orina, constituyendo una pérdida de N y una ineficiencia en el uso del N para el rumiante. Horn et al. (1995) trabajando con forraje de trigo, reportaron que, a pesar de que el forraje contenga grandes cantidades de N rápidamente degradable en el rumen, la ingesta de materia orgánica fermentable parece proveer de suficiente energía para la síntesis de proteína microbiana en el rumen de ganado en crecimiento. Por lo tanto, no sólo el contenido de PB o PS afectan la productividad animal. Para la producción de

proteína microbiana es necesario disponer tanto de N como de energía rápidamente disponible en el rumen. Dicha energía proviene de los carbohidratos solubles del alimento.

En el presente estudio, el contenido de CNES fue mayor, en ambos cortes, en el año de menores precipitaciones (2005). Frank (1994) reportó un aumento significativo del contenido de CNES en la materia seca de *Pascopyrum smithi* a medida que aumentó el estrés hídrico. Este efecto puede deberse a que, ante situaciones de estrés hídrico, el proceso de crecimiento se reduce antes que el de fotosíntesis (Brown y Blaser, 1970; Busso, Richards y Chatterton, 1990). Durante el otoño e invierno, donde no existen grandes diferencias en la tasa de crecimiento, las diferencias en las condiciones climáticas serían las que definan el contenido de CNES del forraje sumado al efecto del genotipo (Ceconi, 2005).

En 2005, además de registrarse el menor índice de precipitaciones, se registró un mayor número de heladas (C1: 0 y 4 heladas; C2: 6 y 13 heladas, en 2004 y 2005 respectivamente) lo cual también pudo influir en el mayor contenido de CNES observados en 2005. Este efecto puede explicarse de acuerdo a lo reportado por Smith (1975), quien sugiere que el contenido de CNES en avena se incrementa cuando la temperatura pasa de cálida a fría, como respuesta natural para adaptarse al frío. A su vez, (Livingston y Premakumar, 2002) reportaron que la elevada concentración de azúcares en la avena durante condiciones de frío son utilizadas como mecanismo para proteger los tejidos del posible daño causado por las heladas.

Además de las condiciones climáticas, el contenido de CNES está afectado por el genotipo, el cual pudo tener un efecto muy fuerte sobre la expresión del potencial de producción de los mismos. Contreras-Govea y Albretch (2006) reportaron un contenido promedio de CNES del 18% /MS en planta entera de avena cosechada en otoño. A su

vez, Acosta et al., (2007) reportaron contenidos de CNES en avena, cosechada durante la mañana, en el período otoñal de 21,1%. Méndez y Davies, (2003) reportan contenidos de CNES de 3,7 a 8,2% en verdeos de avena cosechados en mayo y junio respectivamente. En nuestro estudio, para el C1 realizado en otoño, encontramos un contenido de 11,59% en promedio de ambos años.

Altos contenidos de CNES permitirían mitigar parcialmente el efecto del alto contenido de PS a nivel ruminal. La presencia de CNES estimula una rápida fermentación así como también la captura de N en proteína microbiana en el rumen. La relación PB/CNES es un indicador del balance energético-proteico. Forrajes con relaciones PB/CNES de 1:1 o inferiores y contenidos de PB entre 15 y 18% correlacionan con altos aumentos de peso (Pordomingo et al., 2002)

La relación PB/CNES tiene implicancias en el desempeño productivo del animal. Una alta relación produce un desbalance de nutrientes a nivel ruminal que afectan el tipo y la cantidad de metabolitos disponibles para el rumiante, afectando la eficiencia con que los nutrientes absorbidos son utilizados (Elizalde y Santini, 1992; Gagliostro, 2000). Por ejemplo, Acosta et al., (2007) observaron GDP de 1,03 y 1,58 kg/animal/día en animales pastoreando forraje de avena con una relación PB/CNES de 3,53 y 1,56 respectivamente. En nuestro estudio el rango de la relación PB/CNES fue de 3,63 (Pilar en corte 1 2004) a 0,84 (Aurora, corte 2, 2005), lo cual indicaría que dicha relación no impactaría negativamente en la productividad animal.

Por lo tanto, el contenido de CNES observado en todos los cultivares evaluados no resultaría limitante para la productividad animal al relacionarlo con el contenido de PB y PS presentes en el forraje. De modo que, el nivel de CNES en el forraje resultaría de trascendencia en épocas del ciclo productivo en las cuales el contenido del mismo en relación al de N pudiera llegar a ser limitante. Este aspecto fue evaluado por

Pordomingo et al. (2007) los cuales realizaron un relevamiento sobre aumentos de peso y muestreo de forraje de invernadas comerciales y experimentales en establecimientos de la región del este de La Pampa y oeste de la provincia de Buenos Aires, con animales pastoreando verdeos de invierno. Estos autores concluyeron que el contenido de CNES es la variable independiente que mejor explica el potencial animal sobre pastoreo de verdeos de invierno.

### **3.4.3 Relación PS/CNES y PS/PB en ambos cortes de forraje**

La relación PS/CNES presenta valores más bajos en C2 debido al aumento en el contenido de CNES. A su vez son destacables los bajos valores obtenidos en el C1, los cuales mantuvieron una relación PS/CNES cercana o inferior a 1 para todos los cultivares evaluados. Una baja relación es recomendable para mejorar la eficiencia de utilización del N y así mejorar el desbalance N/C encontrado en etapas vegetativas tempranas de los verdeos invernales (Elizalde y Santini, 1992). Los valores más erráticos observados en el C2 se deben a la variabilidad de los datos encontrados para PS y CNES por separado.

A pesar de la gran variabilidad observada, todos los cultivares se destacan en cuanto a esta relación, con la excepción de Pilar en el corte 1 año 2004, el cual mostró una relación cercana a 1,4.

En cuanto a la relación PS/PB, se observa que el año 2004 fue el de menor variabilidad entre cultivares para ambos cortes, y a su vez fue el año con menores valores registrados. Una mayor relación PS/PB favorece la solubilidad de la proteína en rumen y no deja proteína para que pase directamente al intestino delgado sin ser degradada en el rumen. En cultivares con un alto nivel de N sería favorable que la relación PS/PB sea baja para mejorar la eficiencia de utilización del N por el animal.

Los cultivares evaluados han mostrado altos niveles de PB en ambos cortes, sin embargo tanto la relación PS/PB como el contenido de PS asociado al de CNES observado en estos cultivares atenuarían la posible pérdida energética al estar sincronizados, y de este modo poder ser utilizados por los microorganismos ruminales para producir proteína bacteriana.

Méndez y Davies (2003) desarrollaron una experiencia para evaluar el efecto de la composición química de la materia seca de un verdeo sobre la ganancia de peso en el primer pastoreo. Para ello trabajaron con tres verdesos (avena, triticale y raigrás), con y sin el agregado de 100 kg de urea a la siembra, de modo de incrementar el contenido de PB y PS para agravar el desbalance. Estos autores observaron que, para el caso de la avena, el agregado de N a la siembra elevó de 18 a 24% el contenido de proteína bruta y de 8 a 11% el de PS. Con respecto a los CNES, disminuyeron de 11% a 7,5%. Como consecuencia, dichos cambios en la composición química del forraje deprimieron la ganancia de peso durante el primer pastoreo aunque igualmente superaron los 0,75 kg/animal/día, ganancia que supera a los promedios históricos registrados en los sistemas de invernada. Además en dicho experimento se observó una tendencia decreciente de la ganancias de peso con los aumentos en las relaciones PS/CNES (0,95 y 0,76 kg/animal/día para una relación PS/CNES de 0,72 y 1,46 respectivamente). Estos resultados demostrarían que la composición del verdeo realmente influye en la respuesta animal pero, en vista de las ganancias de peso obtenidas tal vez no lo haga en la magnitud que comúnmente se le asigna. Por lo tanto sería de esperar que con los valores observados en los cultivares de avena evaluados en nuestro estudio, bajo condiciones de manejo adecuadas, se obtengan ganancias de peso similares a las reportadas en la bibliografía consultada.

#### 3.4.4 Contenido de FDN, FDA y LDA en ambos cortes de forraje

Si bien se observaron, en cada año, valores de FDN y FDA estadísticamente significativos entre los distintos cultivares, la variación porcentual posiblemente no ocasione cambios de trascendencia en el consumo voluntario de la materia seca, a excepción de los valores extremos. No se observaron mayores diferencias entre cortes ni entre años, a pesar de que los años hayan sido marcadamente diferentes. Por el contrario, Denda (2009) trabajando con trigo doble propósito en dos localidades diferentes (Cabildo y Pasman), observó que el C2 tuvo un porcentaje de FDN superior al C1 en ambas localidades, aunque la diferencia fue menor en Pasman (del orden del 1%) que en Cabildo (3%), lo que podría asociarse a la mayor precipitación registrada en Pasman. En nuestro estudio, las temperaturas medias entre el primer y segundo corte fue disminuyendo, de modo que no se puede observar un efecto de maduración de la avena en función de los cortes por la época del año en la cual se realizaron los cortes. Smith (1974) reportó que, en la avena, los cambios de temperatura de cálido a fresco retrasa la emergencia del panículo (asociado a un aumento en el contenido de pared celular), mientras que el cambio de fresco a cálido disminuye el tiempo para alcanzar dicho estado de madurez. En nuestro estudio el cambio de temperatura entre el corte 1 y 2 fue de fresco a frío, de modo que sería de esperar valores de fibra que no sean muy diferentes entre los cortes. Sin embargo, Acosta et al. (2007) reportó valores de FDN de 45,3 y 53,1 y de FDA de 20,5 y 22,5 para forraje de avena cortado en otoño e invierno respectivamente, mientras que Francia et al. (2006) trabajando con dos cortes de forraje de avena doble propósito sembrada en otoño reportaron valores de FDN de 37,6 y 39,5% y de FDA de 24,2 y 24,3% para el corte 1 y 2 respectivamente. En el presente estudio encontramos valores medios de FDN de 38,81 y 39,64% y FDA de 20,35 y 18,89% para el C1 y C2 respectivamente.

Maloney et al., (1999) reportaron valores de FDN y FDA de 44,1 y 23,9% en avenas sembradas en verano y cortadas en otoño, 70 días posteriores a la siembra. Estos autores además reportaron que cuando la avena era cosechada en otoño, los cultivares de maduración media a tardía tenían menor FDN y FDA que las de maduración temprana. Por lo tanto, en nuestro estudio, las diferencias encontradas entre cultivares para un mismo corte y año podría deberse al estado de madurez de los mismos al momento de realizar el corte.

Aunque es de esperar que el contenido de FDN aumente con el estado de madurez de la planta, no se observó ese fenómeno en este estudio. Esto pudo deberse a que el primer corte afectó el estado de madurez de la planta retrasando dicha maduración. Por otro lado, en promedio general anual, en 2004 el contenido de FDN para C2 fue 0,8% superior a C1, mientras que en 2005 C2 presentó un valor medio 3,4% superior a C1. Esta diferencia entre C1 y C2 para cada año en particular puede deberse a que el C2 se realizó en ambos años en fechas muy diferentes, dejando para el año 2004 un total de 58 días entre el corte 1 y 2, mientras que para 2005 los días entre ambos cortes fue de 79. El retraso en la fecha de corte para C2 en 2005 fue a causa de las bajas precipitaciones registradas durante dicho año, ya que las plantas no alcanzaban la altura estipulada de corte. De modo que el C2 en 2005 se realizó a mediados de agosto, fecha en la cual la temperatura media superó la media del mes de julio en 2004, lo cual podría haber acelerado el proceso de maduración de la avena con el consecuente incremento en el contenido de pared celular.

En nuestro estudio observamos valores promedio de LDA de 2,01 y 1,91% para el C1 y C2 respectivamente. Estos valores son coincidentes con los reportados por Francia et al. (2006) quienes reportaron valores de LDA de 2,2 y 2,1% para el corte 1 y 2 respectivamente. La lignina es una fracción indigestible de la pared celular debido a la

estructura química de sus componentes (Van Soest et al., 1991). No existen enzimas que puedan degradarla en el tracto gastrointestinal del rumiante (McDonald et al., 1995). En consecuencia, el grado de lignificación de la pared celular impacta en la degradación y digestión del forraje.

En nuestro estudio observamos que el año 2005, el cual presentó mayor déficit hídrico, presentó los mayores valores de LDA. Este hallazgo es coincidente con el reportado por Lascano (1979), quien observó que el proceso de lignificación de la fibra en las especies forrajeras se acentúa con la madurez de la planta y el déficit hídrico lo favorece. A pesar de ello y al igual que con las fracciones de FDN y FDA, los valores de LDA encontrados en los cultivares evaluados no impactarían en la productividad animal.

#### **3.4.5 DMS, IMS y VRF en ambos cortes de forraje**

La digestibilidad se obtuvo a través de una ecuación que utiliza la FDA para su estimación, por lo tanto los valores obtenidos estarán relacionados con el contenido de FDA. En 2004 se observa un valor medio superior para C2, debido a que la FDA en dicho corte fue inferior a la observada durante 2004. No ocurrió lo mismo en 2005, donde los promedios anuales fueron similares para ambos cortes.

Smith (1975) asoció una mayor digestibilidad del forraje y concentración de CNES con bajas temperaturas. En nuestro estudio las temperaturas fueron más bajas en el año 2005 respecto de 2004 para ambos cortes aunque los cultivares no presentaron menores valores de digestibilidad entre ambos años. Sin embargo la temperatura media en C2 fue menor que en C1 en ambos años, lo cual podría verse representado en el leve aumento de la digestibilidad media para C2 respecto de C1.

Vogel y Sleper (1994) han reportado que la mayoría de las gramíneas de zonas templadas y tropicales presentan una gran variación genética en la digestibilidad. Por otra parte, los coeficientes de heredabilidad para digestibilidad varían entre 0,5 y 0,7; lo cual sugiere que es un atributo bajo control genético. Un aspecto a destacar es que en la mayoría de los casos la varianza en digestibilidad asociada con el genotipo ha sido mayor que la varianza asociada con la interacción *genotipo x ambiente*, lo cual quiere decir que la digestibilidad es muy estable a través de ambientes y de ahí la justificación de seleccionar por este atributo (Vogel y Sleper, 1994). Sin embargo, Barnes (1990) reportó que la heredabilidad de la DMS es baja, con un gran número de genes involucrados, de modo que el potencial para mejorar la digestibilidad por métodos tradicionales es bajo. En nuestro estudio se puede observar que hubo un efecto muy marcado tanto del genotipo como del año en esta variable de modo que no podríamos concluir que la digestibilidad sea estable a través de los años. Sin embargo, al realizar este estudio durante sólo dos años, no podemos concluir que este rasgo sea estable a través de distintos ambientes. Pequeños incrementos en la digestibilidad se espera que tengan un impacto significativo en la calidad del forraje y por lo tanto en la producción animal. Por ejemplo, (Casler y Vogel, 1999) reportaron que un incremento del 1% en la digestibilidad *in vitro* de la materia seca aumentó en un 3,2% la ganancia media diaria de peso en ganado vacuno (*Bos taurus*). En nuestro estudio se pueden destacar algunos cultivares que presentan elevados valores de DMS (superiores al 75%), aunque todos presentaron valores superiores al 70%.

La FDN es usada para predecir la máxima ingestión de materia seca (IMS) y está negativamente correlacionada con ella, lo cual significa que cuando la FDN es alta, la calidad y la IMS son bajas (Horrocks and Vallentine, 1999). Los valores medios de IMS de nuestros cultivares fueron muy similares para ambos cortes debido a que la FDN no

presentó cambios entre los dos cortes realizados en el forraje. Dicho valor medio (cerca al 3%) indica la buena calidad del forraje.

El valor relativo del forraje es un índice que combina la FDN y la FDA en un valor que se desarrolló para evaluar la calidad del forraje de alfalfa (Becker et al., 1998; Kuehn et al., 1999) y de leguminosas, pasturas y mezclas de pasturas y leguminosas (Linn and Martin, 1989). También se utiliza para predecir la ingestión y la energía de los forrajes y es derivada de la DMS y la IMS.

Forrajes con valores de VRF  $> 151$  son considerados de primera calidad (Horrocks and Vallentine, 1999). Los valores de VRF obtenidos en nuestro estudio oscilaron entre 147 y 205, los cuales indican que la mayoría de los cultivares presentan valores óptimos de VRF, asociado a los altos valores de IMS y DMS obtenidos. A pesar de encontrar diferencias entre cultivares sería de esperar que tales diferencias no sean de mayor impacto en la performance de rumiantes a pastoreo.

### **3.5 Conclusiones**

Los cultivares evaluados presentaron diferencias en su composición química para todas las variables estudiadas. A su vez, los años fueron marcadamente diferentes en cuanto a la composición química de los cultivares evaluados.

El año de mayores precipitaciones (2004) fue el que presentó la mayor variabilidad para la mayoría de las variables estudiadas.

A pesar de encontrar diferencias significativas entre cultivares para ambos años de estudio, los valores obtenidos no son críticos para la performance animal, excepto algunos cultivares en 2004, los cuales presentaron muy bajos contenidos de materia seca, lo cual podría afectar el consumo voluntario de animales pastoreando un verdeo invernal.

## CAPÍTULO 4

### COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL GRANO DE AVENA.

#### 4.1 Introducción

La información relacionada al sitio experimental, características edafo-climáticas, genotipos y diseño experimental han sido detallados previamente en el Capítulo 2.

En cuanto a la metodología específica para determinar aspectos cualitativos de composición del grano cosechado luego de dos cortes de forraje, la misma se describe a continuación

#### 4.2 Materiales y Métodos

##### 4.2.1 Determinaciones químicas

Luego de realizar dos cortes de material forrajero en cada unidad experimental, se cosechó el grano obtenido (DP) el cual fue trillado y posteriormente se tomó una fracción y se realizó la molienda del mismo mediante el uso de molino Wiley con malla de 1 mm. A dichas muestras se le realizaron las siguientes determinaciones analíticas:

- **Cenizas totales** por incineración total en mufla a 550°C (AOAC, 2000).
- **Proteína bruta** por técnica macro Kjeldahl transformando el N obtenido en PB mediante el factor 6,25 (AOAC, 2000).
- **Fibra en detergente neutro, fibra en detergente ácido y lignina en detergente ácido** por el método secuencial, con  $\alpha$ -amilasa y sin sulfito de sodio, acorde al procedimiento descrito por Van Soest et al. (1991) en un baño procesador (Ankom Technology Corp., Fairpoint, NY, USA).
- **Almidón total** mediante técnica enzimática comercial (Megazyme, AOAC Method 996.11, 2000).

- **$\beta$ -Glucanos** mediante técnica enzimática comercial (Megazyme, MacCleary and Glennie-Holmes, 1985).
- **Extracto etéreo** con equipo Goldfish (Guiragossian et al.1977; AOAC, 2000)
- **Perfil de ácidos grasos:** mediante método directo de extracción y metilación (O'Fallon, 2007) y posterior separación en columna Varian CP – Select CB for FAME, 100 m x 0,25 mm x 0,20  $\mu$ m, instalada en un cromatógrafo gaseoso Hewlett Packard 4890 equipado con detector de ionización en llama e inyección split. La temperatura inicial fue de 140°C, la cual se mantuvo durante 5 minutos y subsecuentemente se incrementó hasta 240°C a razón de 4°C/min. Se utilizó hidrógeno como gas carrier a un flujo de 0,45 ml/min. La temperatura del inyector fue de 175°C y la del detector de 260°C. La relación de split fue de 90:1. Los ácidos grasos fueron identificados por comparación de los tiempos de retención obtenidos utilizando la mezcla estándar de metil ésteres (47885-U) de Supelco.

#### 4.2.2 Análisis estadístico

El análisis estadístico consistió en un análisis de la varianza para un diseño en bloques completos al azar, utilizando el programa estadístico Infostat (2008). Como las unidades experimentales son las mismas que se utilizaron para los cortes de material forrajero, el diseño experimental y los análisis estadísticos desarrollados son idénticos a los utilizados en las secciones 4 y 5. De este modo nos quedó un ANOVA Doble en parcela dividida, donde el factor de mayor jerarquía en el diseño (Años) tiene como unidad experimental a los bloques, que están divididos en parcelas donde se aplica el factor secundario (cultivares). Posteriormente se seleccionaron determinadas variables de calidad, con las cuales se calcularon los coeficientes de correlación de Pearson entre

dichas variables. Para realizar el análisis estadístico se utilizó el programa estadístico Infostat (2008).

### 4.3 Resultados

Todos los resultados de composición química reportados en esta sección están expresados en base seca, exceptuando el perfil de ácidos grasos los cuales son reportados como porcentaje del total de ácidos.

#### 4.3.1 ANOVA de la composición química en grano de avena doble propósito

En las tablas 4.1 y 4.2 se reporta el análisis de varianza para composición química y perfil de ácidos grasos respectivamente, del grano en los diferentes cultivares de avena en estudio. El análisis de varianza muestra que para el factor Cultivar todas las variables presentaron diferencias altamente significativas, mientras que para el factor Año, algunas variables no mostraron diferencias (PB, FDA, LDA, ALM y EE). Todas las variables presentaron interacción *Cultivar x Año* altamente significativa, por lo tanto los cultivares se compararon para cada año separadamente.

Tabla 4.1 Resumen de los test F para composición química del grano en diferentes cultivares de avena doble propósito.

| Fuente de variación | gl | PB     | CEN   | FDN    | FDA    | LDA   | ALM    | B-GLU | EE    |
|---------------------|----|--------|-------|--------|--------|-------|--------|-------|-------|
|                     |    | %      |       |        |        |       |        |       |       |
| <b>Cultivar (C)</b> | 17 | **     | **    | **     | **     | **    | **     | **    | **    |
| <b>Año (A)</b>      | 1  | ns     | **    | **     | ns     | ns    | ns     | *     | ns    |
| <b>C x A</b>        | 17 | **     | **    | **     | **     | **    | **     | **    | **    |
| <b>Media</b>        | -  | 114,50 | 28,50 | 356,20 | 156,30 | 23,80 | 374,90 | 28,90 | 59,20 |
| <b>C. V. (%)</b>    | -  | 6,47   | 8,89  | 2,75   | 3,39   | 8,75  | 2,92   | 4,17  | 6,66  |

C.V.: coeficiente de variación

Tabla 4.2 Resumen de los test F para perfil de ácidos grasos del grano en diferentes cultivares de avena doble propósito.

| Fuente de variación | gl | % del total de ácidos grasos |       |       |       |       |       |       |       |
|---------------------|----|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                     |    | C16:0                        | C18:0 | C18:1 | C18:2 | C18:3 | C20:1 | C21:0 | C20:5 |
| <b>Cultivar (C)</b> | 17 | **                           | **    | **    | **    | **    | **    | **    | **    |
| <b>Año (A)</b>      | 1  | **                           | *     | *     | *     | **    | *     | **    | **    |
| <b>C x A</b>        | 17 | **                           | **    | **    | **    | **    | *     | **    | **    |
| <b>Media</b>        | -  | 23,23                        | 2,35  | 42,86 | 24,95 | 0,21  | 0,81  | 1,81  | 0,65  |
| <b>C. V. (%)</b>    | -  | 5,17                         | 9,93  | 3,24  | 6,87  | 7,93  | 9,40  | 19,54 | 13,21 |

C.V.: coeficiente de variación

#### 4.3.2 Contenido de Proteína, cenizas, carbohidratos y aceites en grano de diferentes cultivares de avena doble propósito

El contenido de proteína, cenizas, carbohidratos y aceites del grano entero de avena se muestra en la tabla 4.3. Para PB se encontró mayor variabilidad entre cultivares en 2004 respecto de 2005. Con excepción de U 16, la media se incrementó en 2005, sin embargo, los cultivares con mayor valor individual (Maja, Máxima, Pionera y U 16), así como los de menor valor (Boyera, Payé, Calén, Cristal, Millauquén y Tucana) fueron observados en 2004.

Similarmente los  $\beta$ -glucanos exhibieron valores más erráticos en 2004 que en 2005. Ningún genotipo, excepto Rocío excedió el valor medio general en 2005, mientras que en 2004 once cultivares superaron la media en el contenido de  $\beta$ -glucanos. Tres cultivares (Bw 103, Máxima y Rocío) exhibieron los mayores contenidos de  $\beta$ -glucanos en ambos años. Sin embargo, estos valores no fueron estables entre años ya que en promedio fueron un 15% menor en 2005.

Las cenizas, presentaron valores más bajos en 2005 (16% menor a 2004 aproximadamente), siendo la variabilidad entre cultivares similar para ambos años. Los cultivares que mostraron valores similares al valor medio (3,3% MS) reportado por

NRC (2000) fueron: Canai, Milagros y Payé en 2004, mientras que en 2005 ningún cultivar alcanzó dicho valor medio. Los cultivares que mantuvieron valores más estables durante ambos años fueron: Cristal, Maja, Máxima, Rocío, Suregrain, Tucana y U 16.

El contenido medio de EE no mostró estar influenciado por el año, y las medias anuales para esta variable fueron muy similares. La performance de Tucana fue destacada mostrando uno de los mayores valores de EE en ambos años, seguido por Pilar. Los genotipos más impredecibles para el contenido de EE fueron Maja y Polaris, los cuales exhibieron altos valores en 2005 y fueron los de menor contenido en 2004. Inversamente, Cristal presentó un alto contenido de EE en 2004 aunque fue uno de los de menor contenido en 2005.

Los contenidos de FDN y LDA presentaron mayor variabilidad entre cultivares en 2004 respecto de 2005, mientras que los de FDA y ALM no fueron tan influenciados por el año, observando similares valores medios anuales. Para el contenido de almidón, los cultivares más estables en ambos años fueron Milagros y Cristal, con valores de almidón mayores a 39%. Algunos cultivares presentaron valores superiores al 40% de ALM (Pilar en 2004 y U 16 en 2005) pero no mantuvieron esos valores elevados en ambos años.

Para el contenido de FDN y FDA, Tucana fue el cultivar más estable con valores inferiores a 35,0% y 14,4% respectivamente para ambos años, mientras que para LDA Aurora fue el cultivar que presentó valores inferiores al 2% en ambos años, mientras que el resto de los genotipos superó dicho valor en ambos o en un año en particular.

### **4.3.3 Perfil de ácidos grasos en grano de avena doble propósito**

El perfil de ácidos grasos se reporta en la tabla 6.4. Varios ácidos grasos fueron encontrados en todos los genotipos estudiados: caproico (C6:0), mirístico (C14:0), palmítico (C16:0), palmitoleico (C16:1), heptadecenoico (C17:0), esteárico (C18:0), oleico (C18:1), linoleico (C18:2), linolénico (C18:3), araquídico (C20:0), eicosenoico (C20:1), henicosenoico (C21:0), eicosatrienoico (C20:3), erúxico (C22:1), eicosapentaenoico (C20:5), tricosanoico (C23:0). En la tabla 5.4 se reportan los ácidos grasos más relevantes, los cuales representan aproximadamente el 97% del total encontrados, prevaleciendo los ácidos grasos palmítico, oleico y linoleico con el 91% del total. La mayor variabilidad para todos los ácidos grasos y los valores medios más elevados se presentaron en 2004 (excepto para linoleico y eicosanoico).

Tabla 4.3 Contenido de proteína, cenizas, carbohidratos y aceites en grano de diferentes cultivares de avena

| Cultivar             | MS (%) |      |       |       |      |       |              | EE   |
|----------------------|--------|------|-------|-------|------|-------|--------------|------|
|                      | PB     | CEN  | FDN   | FDA   | LDA  | ALM   | $\beta$ -GLU |      |
| <b>Año 2004</b>      |        |      |       |       |      |       |              |      |
| Aurora               | 11,62  | 2,98 | 33,95 | 14,72 | 1,89 | 36,88 | 2,38         | 6,60 |
| Boyera               | 9,39   | 2,98 | 35,62 | 16,63 | 2,52 | 34,57 | 2,99         | 6,33 |
| Bw 103               | 11,32  | 3,16 | 38,27 | 16,75 | 2,77 | 39,01 | 3,41         | 5,17 |
| Calén                | 9,86   | 3,24 | 35,51 | 16,94 | 3,10 | 37,15 | 3,40         | 6,08 |
| Canai                | 12,37  | 3,29 | 32,11 | 15,27 | 2,24 | 38,86 | 3,10         | 5,34 |
| Cristal              | 9,56   | 2,55 | 34,82 | 16,00 | 2,59 | 39,48 | 2,85         | 6,56 |
| Maja                 | 13,60  | 2,87 | 33,81 | 15,36 | 3,04 | 38,17 | 3,45         | 5,45 |
| Máxima               | 13,11  | 3,23 | 37,42 | 16,21 | 1,91 | 36,93 | 3,33         | 5,36 |
| Milagros             | 11,50  | 3,68 | 32,07 | 14,27 | 1,93 | 40,02 | 2,51         | 5,03 |
| Millauquén           | 9,49   | 3,23 | 35,08 | 16,04 | 2,11 | 37,74 | 2,67         | 5,69 |
| Payé                 | 8,46   | 3,28 | 37,60 | 17,27 | 2,05 | 35,13 | 2,84         | 6,21 |
| Pilar                | 12,39  | 3,16 | 33,44 | 14,90 | 3,17 | 40,24 | 3,20         | 6,44 |
| Pionera              | 13,79  | 3,19 | 36,71 | 15,51 | 1,91 | 35,47 | 2,66         | 6,63 |
| Polaris              | 11,42  | 3,07 | 32,09 | 14,57 | 2,64 | 37,65 | 3,23         | 4,87 |
| Rocío                | 10,54  | 2,49 | 34,95 | 15,78 | 2,42 | 36,76 | 3,63         | 5,54 |
| Suregrain            | 10,79  | 3,04 | 32,82 | 14,28 | 3,05 | 38,57 | 3,24         | 6,57 |
| Tucana               | 9,53   | 3,08 | 34,53 | 14,35 | 2,30 | 36,46 | 3,00         | 6,92 |
| U 16                 | 13,80  | 3,07 | 32,47 | 14,58 | 1,79 | 38,29 | 2,80         | 5,52 |
| <b>Año 2005</b>      |        |      |       |       |      |       |              |      |
| Aurora               | 12,08  | 2,58 | 36,04 | 15,06 | 1,99 | 33,65 | 2,59         | 5,19 |
| Boyera               | 11,93  | 2,61 | 37,91 | 16,12 | 2,21 | 38,78 | 2,68         | 5,69 |
| Bw 103               | 11,78  | 2,74 | 36,99 | 16,60 | 2,19 | 37,79 | 2,88         | 6,19 |
| Calén                | 12,67  | 2,50 | 36,38 | 15,40 | 2,06 | 37,20 | 2,68         | 5,67 |
| Canai                | 11,30  | 2,73 | 36,90 | 15,43 | 2,39 | 37,20 | 2,67         | 6,00 |
| Cristal              | 11,83  | 2,32 | 36,86 | 16,38 | 2,18 | 39,85 | 2,69         | 5,33 |
| Maja                 | 10,84  | 2,60 | 35,60 | 14,40 | 2,76 | 36,18 | 2,77         | 6,86 |
| Máxima               | 11,63  | 3,01 | 37,35 | 17,10 | 2,57 | 34,62 | 2,89         | 5,92 |
| Milagros             | 11,47  | 2,46 | 38,31 | 16,51 | 2,21 | 39,31 | 2,63         | 5,95 |
| Millauquén           | 11,69  | 2,31 | 38,44 | 17,38 | 2,37 | 36,62 | 2,89         | 5,99 |
| Payé                 | 11,92  | 2,29 | 34,54 | 14,44 | 2,17 | 35,13 | 2,73         | 5,96 |
| Pilar                | 12,01  | 2,28 | 36,83 | 15,67 | 2,74 | 38,96 | 2,64         | 6,21 |
| Pionera              | 11,53  | 2,69 | 38,38 | 16,22 | 2,41 | 37,63 | 2,55         | 5,91 |
| Polaris              | 10,94  | 2,31 | 36,77 | 16,03 | 2,85 | 35,43 | 2,76         | 6,29 |
| Rocío                | 12,25  | 2,55 | 36,57 | 15,36 | 2,03 | 39,20 | 2,96         | 6,09 |
| Suregrain            | 12,20  | 3,11 | 35,10 | 15,73 | 2,68 | 39,29 | 2,72         | 5,95 |
| Tucana               | 12,16  | 2,85 | 34,81 | 13,70 | 1,99 | 33,72 | 2,83         | 6,64 |
| U 16                 | 9,27   | 2,93 | 35,23 | 15,85 | 2,52 | 41,53 | 2,61         | 5,33 |
| <b>Media 2004</b>    | 11,25  | 3,09 | 34,63 | 15,52 | 2,41 | 37,63 | 3,04         | 5,88 |
| <b>Media 2005</b>    | 11,64  | 2,60 | 36,61 | 15,74 | 2,35 | 37,34 | 2,73         | 5,95 |
| <b>Media general</b> | 11,45  | 2,85 | 35,62 | 15,63 | 2,38 | 37,49 | 2,89         | 5,92 |
| <b>DMS</b>           | 1,21   | 0,40 | 1,60  | 0,86  | 0,33 | 1,78  | 0,16         | 0,65 |

Tabla 4.4 Perfil de ácidos grasos más relevantes encontrados en grano de diferentes cultivares de avena.

| Cultivar             | Ácidos grasos % |       |       |       |       |        |       |       |
|----------------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
|                      | C16:0           | C18:0 | C18:1 | C18:2 | C18:3 | C 20:1 | C21:0 | C20:5 |
| <b>Año 2004</b>      |                 |       |       |       |       |        |       |       |
| Aurora               | 22,10           | 1,79  | 42,25 | 27,43 | 0,16  | 0,80   | 1,64  | 0,89  |
| Boyera               | 22,76           | 2,38  | 47,98 | 20,18 | 0,19  | 0,79   | 2,52  | 0,58  |
| Bw 103               | 25,80           | 3,42  | 38,81 | 25,35 | 0,21  | 0,77   | 1,72  | 0,72  |
| Calén                | 25,91           | 2,99  | 43,67 | 20,35 | 0,28  | 0,75   | 2,49  | 0,62  |
| Canai                | 23,80           | 2,78  | 41,76 | 25,50 | 0,24  | 0,72   | 1,67  | 0,60  |
| Cristal              | 24,87           | 2,35  | 42,21 | 23,91 | 0,22  | 0,76   | 2,21  | 0,61  |
| Maja                 | 23,67           | 3,19  | 42,48 | 24,74 | 0,20  | 0,87   | 1,48  | 0,61  |
| Máxima               | 20,91           | 2,13  | 41,07 | 30,37 | 0,26  | 0,81   | 0,98  | 0,61  |
| Milagros             | 24,21           | 2,20  | 42,11 | 24,43 | 0,17  | 0,80   | 2,21  | 0,80  |
| Millauquén           | 24,99           | 2,49  | 44,63 | 20,60 | 0,16  | 0,73   | 2,84  | 0,65  |
| Payé                 | 21,31           | 1,71  | 48,95 | 20,89 | 0,21  | 0,99   | 2,44  | 0,76  |
| Pilar                | 24,88           | 2,30  | 45,52 | 20,16 | 0,18  | 0,78   | 2,84  | 0,58  |
| Pionera              | 23,20           | 2,48  | 43,69 | 24,36 | 0,18  | 0,67   | 1,89  | 0,73  |
| Polaris              | 24,42           | 2,12  | 37,86 | 29,79 | 0,14  | 0,59   | 1,28  | 0,73  |
| Rocío                | 23,69           | 2,14  | 42,67 | 25,34 | 0,18  | 0,72   | 1,90  | 0,64  |
| Suregrain            | 24,53           | 2,29  | 45,23 | 21,10 | 0,18  | 0,76   | 2,56  | 0,63  |
| Tucana               | 20,22           | 2,22  | 47,77 | 23,70 | 0,20  | 0,86   | 1,64  | 0,84  |
| U 16                 | 21,83           | 2,24  | 41,58 | 28,28 | 0,18  | 0,80   | 1,43  | 0,77  |
| <b>Año 2005</b>      |                 |       |       |       |       |        |       |       |
| Aurora               | 23,09           | 2,29  | 40,15 | 26,86 | 0,23  | 0,97   | 1,30  | 0,72  |
| Boyera               | 23,73           | 2,25  | 40,74 | 26,78 | 0,23  | 0,76   | 1,66  | 0,63  |
| Bw 103               | 22,73           | 2,36  | 41,13 | 27,63 | 0,21  | 0,76   | 1,51  | 0,68  |
| Calén                | 22,13           | 2,40  | 40,80 | 27,77 | 0,21  | 0,88   | 1,43  | 0,57  |
| Canai                | 22,66           | 2,18  | 44,42 | 23,76 | 0,22  | 0,79   | 1,77  | 0,63  |
| Cristal              | 22,88           | 2,05  | 43,00 | 25,71 | 0,25  | 0,87   | 1,61  | 0,54  |
| Maja                 | 21,97           | 2,03  | 45,85 | 23,57 | 0,22  | 0,86   | 1,95  | 0,71  |
| Máxima               | 22,89           | 2,38  | 40,75 | 26,13 | 0,20  | 0,92   | 1,57  | 0,59  |
| Milagros             | 23,10           | 2,12  | 42,62 | 25,51 | 0,28  | 0,79   | 1,87  | 0,57  |
| Millauquén           | 23,54           | 2,54  | 43,15 | 24,05 | 0,19  | 0,90   | 1,84  | 0,55  |
| Payé                 | 21,75           | 2,19  | 45,06 | 24,81 | 0,26  | 0,93   | 1,49  | 0,60  |
| Pilar                | 23,09           | 2,37  | 42,20 | 26,07 | 0,23  | 0,84   | 1,58  | 0,65  |
| Pionera              | 23,50           | 2,18  | 42,31 | 25,87 | 0,19  | 0,74   | 1,65  | 0,64  |
| Polaris              | 23,73           | 2,36  | 41,83 | 25,60 | 0,21  | 0,75   | 1,80  | 0,55  |
| Rocío                | 22,17           | 2,17  | 42,89 | 26,39 | 0,23  | 0,91   | 1,42  | 0,61  |
| Suregrain            | 22,42           | 2,16  | 41,96 | 26,77 | 0,21  | 0,80   | 1,59  | 0,62  |
| Tucana               | 22,73           | 2,66  | 42,08 | 25,57 | 0,25  | 0,78   | 1,34  | 0,62  |
| U 16                 | 25,21           | 2,61  | 41,76 | 22,75 | 0,25  | 0,78   | 2,08  | 0,51  |
| <b>Media 2004</b>    | 23,51           | 2,40  | 43,35 | 24,25 | 0,20  | 0,78   | 1,99  | 0,69  |
| <b>Media2005</b>     | 22,96           | 2,29  | 42,37 | 25,64 | 0,23  | 0,84   | 1,64  | 0,61  |
| <b>media general</b> | 23,23           | 2,35  | 42,86 | 24,95 | 0,21  | 0,81   | 1,81  | 0,65  |
| <b>DMS</b>           | 1,96            | 0,36  | 2,26  | 2,79  | 0,03  | 0,16   | 0,59  | 0,16  |

#### **4.3.4 Coeficientes de correlación de Pearson entre variables de calidad seleccionadas de avena doble propósito**

El grado de asociación entre variables de calidad seleccionadas para cada año separadamente se reporta en la tabla 6.5 mientras que, los coeficientes de correlación entre varias fracciones lipídicas se reporta en la tabla 6.6. Debido a que los coeficientes de correlación fueron muy similares en 2004 y 2005, para las diferentes fracciones lipídicas se reporta el promedio de ambos años.

A pesar de ser significativos, en 2004 se encontraron moderados coeficientes de correlación entre ALM con REND ( $r = 0,45$ ), ALM con FDN ( $r=-0,41$ ) y ALM con PH ( $r=0,38$ ); así como también entre REND con  $\beta$ -GLU ( $r= 0,55$ ). Para el año 2005 sólo FDN fue moderadamente correlacionada con PH ( $r= -0,41$ ).

Los coeficientes de correlación para los lípidos fueron calculados para el EE y los ácidos grasos encontrados en mayores concentraciones. La mayor correlación entre EE y ácidos grasos fue una correlación positiva con ácido oleico ( $r = 0,57$ ). En lo que respecta a la relación entre los diferentes ácidos grasos, cabe destacar la relación entre ácido palmítico y esteárico ( $r= 0,54$ ), esteárico y linolénico ( $r= 0,60$ ) y una fuerte asociación negativa entre los ácidos oleico y linoleico ( $r= -0,72$ ). Otras asociaciones relevantes fueron entre EE y los ácidos oleico y linoleico; palmítico y oleico; palmítico y linoleico; y esteárico y oleico, aunque a pesar de ser asociaciones significativas ( $p<0,01$ ), los coeficientes de correlación entre estas fracciones fueron muy bajos.

Tabla 4.5 Coeficientes de correlación de Pearson entre variables de calidad seleccionadas de grano de avena en 2004 (encima de la diagonal) y en 2005 (debajo de la diagonal).

|              | PB     | FDN     | EE     | $\beta$ -GLU | ALM     | REND   | PH     |
|--------------|--------|---------|--------|--------------|---------|--------|--------|
| PB           |        | -0.24   | -0.32* | 0.05         | 0.21    | 0.26   | -0.16  |
| FDN          | -0.08  |         | 0.19   | 0.14         | -0.41** | -0.37* | -0.37* |
| EE           | -0.06  | -0.09   |        | -0.18        | -0.25   | -0.30* | 0.09   |
| $\beta$ -GLU | -0.14  | 0.01    | 0.26   |              | 0.05    | 0.55** | -0.01  |
| ALM          | -0.28* | 0.07    | -0.20  | -0.03        |         | 0.45** | 0.38** |
| REND         | -0.16  | 0.04    | 0.14   | 0.11         | 0.17    |        | 0.21   |
| PH           | -0.23  | -0.41** | 0.26   | -0.02        | 0.30*   | 0.29*  |        |

Tabla 4.6 Coeficientes de correlación entre varias fracciones lipídicas del grano en diferentes genotipos de avena en ambos años.

| Variable | EE      | C16:0   | C18:0   | C18:1   | C18:2  | C18:3 |
|----------|---------|---------|---------|---------|--------|-------|
| EE       | 1.00    |         |         |         |        |       |
| C16:0    | -0.27** | 1.00    |         |         |        |       |
| C18:0    | -0.19*  | 0.54**  | 1.00    |         |        |       |
| C18:1    | 0.57**  | -0.30** | -0.30** | 1.00    |        |       |
| C18:2    | -0.39** | -0.36** | -0.16   | -0.72** | 1.00   |       |
| C18:3    | -0.03   | 0.15    | 0.60**  | -0.12   | -0.15* | 1.00  |

(C16:0), palmítico; (C18:0) esteárico; (C18:1) oléico; (C18:2) linoleico; (C18:3) linolénico

## **4.4 Discusión**

### **4.4.1 Influencia del año y del genotipo en la composición química del grano de avena doble propósito**

La influencia del ambiente en los atributos de calidad del grano de avena parece variar de estudio en estudio. Por ejemplo, en un experimento se observó que el contenido de almidón, proteínas y aceite presentan diferencias significativas entre genotipos (Doehlert and McMullen, 2000), mientras que en otro estudio, con los mismos cultivares, se reportó que el contenido de almidón y cenizas fue más fuertemente afectado por el ambiente que por el genotipo (Doehlert et al., 2001).

### **4.4.2 Contenido de PB, CEN y BGLU en grano de avena doble propósito**

Debido a la alta variabilidad en el contenido de proteínas del grano, reportado en diferentes estudios, el contenido de PB parece estar influenciado por factores genéticos. Por ejemplo, de 664 cultivares chinos de avena desnuda, 47 mostraron valores superiores a 18% de PB (Cui and Li, 1989), mientras que genotipos Australianos variaron de 10 a 18% de PB (Farrell et al., 1991). El rango de valores en este estudio fue de 8,46% (Paye) a 13,80% (U 16) ambos en 2004. Las condiciones ambientales parecen tener influencia en la variabilidad de la PB en los diferentes cultivares, mucho más acentuadas con altas que con bajas precipitaciones. El contenido medio de PB en el grano entero de avena fue menor del 13,5% reportado por NRC (2000) para ambos años. Estos bajos valores pueden estar relacionados a la fertilidad del suelo ( $1.0 \text{ g kg}^{-1}$  de N total). En experimentos en los cuales se incrementó la aplicación de N se obtuvo una amplia variación en el contenido de N del grano (Eppendorfer, 2006). Óptimas tasas de fertilización con N han mostrado incrementar el contenido de PB en dos genotipos de

avena (Givens et al., 2004). Dado que la fertilización e irrigación de los cultivos de avena en áreas extensivas de Argentina no es común, podemos preveer que los valores de PB del grano de avena pueden incrementarse por estas prácticas de manejo. Por ejemplo, en un trabajo con 10 cultivares de avena (los mismos utilizados en este experimento), durante 2004 y 2005 con fertilización previa a la siembra utilizando 200 kg/ha de fosfato diamónico, Wehrhahne (2009) reportó valores de PB entre 11,8 y 15,3%.

Para las cenizas, Doehlert et al. (2001) encontraron que las diferencias fueron más fuertemente afectadas por el ambiente que por el genotipo, y que las cenizas fueron correlacionadas positivamente con altas temperaturas en todos los meses y con las precipitaciones para los meses de julio y agosto. Las razones fisiológicas para estas correlaciones no fueron claras. Los valores de cenizas observados en este estudio muestran valores similares a los encontrados en NRC (2000), excepto para algunos cultivares en el año 2005, los cuales mostraron valores más bajos, aunque el porcentaje de disminución respecto del valor de referencia, en algunos cultivares supera el 26,5%. También se encuentra un cultivar en el año 2004 (Milagros) el cual presenta un valor 18,8% mayor a dicho valor de referencia.

La avena podría potenciar la ingesta de fibra en humanos. (Givens et al., 2000) Los polisacáridos no almidón no presentan una gran variación entre los cultivares cubiertos. La pepita de avena está asociada a la concentración de  $\beta$ -glucanos, exhibiendo el mayor contenido de  $\beta$ -glucanos de todos los granos cerealeros (Demirbas, 2005). A pesar de que estudios previos demuestran que existen cultivares de avena y cebada con iguales cantidades de  $\beta$ -glucanos totales, los  $\beta$ -glucanos solubles se encuentran en mayor concentración en las avenas (Lee et al., 1997). El mayor rango (0,77 – 8,37%) en el contenido de  $\beta$ -glucanos en cultivares de avenas cubiertas y

desnudas fue reportado por Givens et al. (2000). A pesar de que diversos factores agronómicos podrían influenciar el contenido de  $\beta$ -glucanos, los autores concluyen que las avenas cubiertas contienen significativamente más cantidad de  $\beta$ -glucanos que las avenas desnudas y, que los mejoradores pueden seleccionar avenas por este rasgo. De acuerdo a estos valores, los 18 cultivares incluidos en el presente estudio exhibieron bajo a medio potencial para este factor de calidad. El valor medio general fue de 2,89 con un rango de 2,38 a 3,63% para Aurora y Rocío respectivamente, ambas en 2004. Los  $\beta$ -glucanos podrían estar asociados negativamente con las precipitaciones y positivamente con la temperatura, tal como es indicado por Manthey et al. (1999). Por el contrario, en nuestro estudio, los mayores contenidos de  $\beta$ -glucanos fueron reportados en 2004, acompañado de una mayor precipitación y heladas tempranas. Sin embargo, Doehlert et al. (2001) reportaron una correlación positiva entre el contenido de  $\beta$ -glucanos y las precipitaciones, lo que está de acuerdo a los resultados obtenidos en nuestro estudio.

#### **4.4.3 Contenido de pared celular y almidón en grano de avena doble propósito**

La influencia del año en particular fue baja para el contenido de pared celular expresada como FDN, FDA y LDA. Los valores medios encontrados en los cultivares durante los dos años de estudio resultaron ligeramente mayores que los contenidos medios reportados por NRC (2000), pero algunos valores fueron menores que los encontrados en dos cultivares de UK (Givens et al., 2004). Contrariamente a lo hallado en nuestro experimento, en un estudio con seis cultivares de avena, Manthey et al. (1999) no encontró interacción *Año x Tratamiento* para las diferentes fracciones de fibra, y ellos concluyeron que los genotipos de avena pueden ser seleccionados para el contenido de fibra. La capacidad de Tucana de mantener un nivel bajo de FDA en

ambos años es destacable. En todos los casos, el rango de valores en el contenido de pared celular encontrados pueden no tener un impacto biológico significativo cuando nos referimos a productividad animal. La FDN efectiva (FDNe) se utiliza para predecir el pH ruminal y a través de ella ajustar la tasa de digestión de la fibra y el rendimiento microbiano. El NRC (2000) reporta que es necesario superar el 8% de FDNe en la dieta de animales en crecimiento y terminación en sistemas de engorde intensivo. Dado que en la avena la FDNe representa un 34% de la FDN total (NRC, 2000), y el menor contenido de FDN reportado en este estudio fue de 32,07% (Milagros en 2004), el contenido de FDNe de una dieta intensiva con grano de avena sería de  $0,34 * 32,07 = 10,90\%$ , valor que supera al reportado por el NRC (2000). Por lo tanto, los valores obtenidos en este estudio superarían dicho límite sin ser limitantes para el consumo y la función ruminal.

El contenido de almidón en cultivares de avena no se reporta habitualmente. Como referencia el contenido de almidón se encontró en un rango de 40,00 a 42,90% en dos cultivares de UK (Givens et al., 2004) y de 62,95 a 64,37% en cinco cultivares canadienses (Rhymer et al., 2005). En este experimento los menores y mayores valores de almidón fueron encontrados en el mismo año (2005) para Aurora (33,65%) y U 16 (41,53%). En cinco genotipos de avena canadiense se encontró una variabilidad significativa en el contenido de almidón, pero el ambiente contribuyó muy poco a la variabilidad total (Rhymer et al., 2005). Esta variabilidad puede estar asociada con el genotipo pero más fuertemente influenciada por el año.

#### **4.4.4 Contenido de aceites y perfil de ácidos grasos en grano de avena doble propósito**

El contenido de aceites en las avenas tiene un alto potencial nutricional. Los mejoradores buscan avenas con altos contenidos de aceite ya que están genéticamente determinados (Zhou et al., 1999). En promedio, los cultivares de avena cubierta contienen más aceites que otros granos cerealeros (Zhou et al., 1999; NRC, 2000). Sin embargo el contenido de aceites es altamente variable. Un estudio con una colección mundial de más de 4000 genotipos indica un rango de 3,1 a 11,6% MS (Brown and Craddock, 1972). Diferentes cultivares de avena en todo el mundo mostraron que 27 genotipos en China tuvieron más de 8% de aceite (Cui et al., 1989), en Australia 3 a 12% (Farrell et al., 1991), y en Inglaterra por encima de 12,1% de aceite (Valentine et al., 1994). En Argentina se han reportado avenas con valores entre 2,8 y 7,4% sobre grano entero (Wehrhahne et al., 2007). El NRC (2000) reporta un valor promedio de EE de 5,2% el cual es 12,2% menor que la media general obtenida en este estudio durante ambos años y cultivares. A pesar de que la fibra y el almidón puedan permanecer constantes, un alto contenido de aceites podría mejorar el valor alimenticio relativo de la avena al incrementar el contenido de energía. En un estudio se encontró que novillos pastoreando avena suplementada con 1220 g/día de grano entero de avena ganaron peso a una tasa de 1138 g d<sup>-1</sup>, comparado con 792 g/día para el tratamiento control sin suplementación. (Marinissen et al., 2004a).

El desarrollo de avenas a bajas temperaturas favorece la concentración de aceites en el grano (Saastamoinen et al., 1990; Saastamoinen, 1998). El contenido de aceites para 2005 fue solamente 1,2% superior que en 2004, lo cual es coincidente con las heladas tardías y algunas bajas temperaturas en septiembre y octubre. Además de estimular el aumento en el contenido de aceites, las bajas temperaturas también

incrementan el contenido de los ácidos oleico y linoleico (Sastamoinen et al., 1989). En nuestro estudio, probablemente la diferencia en magnitud de las temperaturas medias durante octubre y noviembre no fueron suficientes para promover diferencias substanciales observadas por los promedios anuales en los ácidos oleico y linoleico entre cultivares. Para el resto de los ácidos grasos, la mayor variabilidad fue observada en 2004.

El perfil de ácidos grasos del grano de avena es de interés tanto para nutrición humana como animal. En un gran número de experimentos se han encontrado presentes los ácidos palmítico, oleico, linoleico, linolénico y eicosenoico (Saastamoinen et al., 1989).

Además de estos ácidos grasos mencionados, en este experimento se hallaron substanciales cantidades de ácido henicosenoico y eicosapentaenoico en todas las muestras, además de menores cantidades de otros ácidos grasos menos reportados comunmente. Aun así, la avena no se ha considerado como fuente de aceite comestible debido a su bajo contenido de aceite comparado con otras semillas (Zhou et al., 1999). Cereales tales como el maiz son utilizados para producir aceite para consumo humano. En este caso el uso está probablemente asociado a un alto grado de desarrollo en la industria de la la refinería a una escala no existente para el procesamiento de avena.

Sin embargo, el grano de avena es una destacable fuente de ácidos grasos insaturados (oleico y linoleico), como se ha encontrado en los genotipos evaluados en coincidencia con las revisiones de Zhou et al. (1999) y Givens et al. (2004) reportando altos niveles de ácido linoleico por encima de 37%, y Saastamoinen et al. (1989) indicando que el ácido linoleico representa por encima del 42,5% del total de ácidos grasos bajo ciertas condiciones en el sitio de siembra. El rango de ácido linoleico

encontrado en este experimento fue de 20,16% (Pilar) a 30,37% (Máxima) ambos en 2004.

En grano de avena, las bajas temperaturas no sólo incrementan el contenido total de aceites, sino que también incrementan las concentraciones de ácido oleico y linoleico (Sastamoinen et al., 1989). Una especulación importante sobre el contenido de ácido linoleico y linolénico en el grano de avena está relacionada al potencial de los mismos para convertirse, a través de animales rumiantes, en ácido linoleico conjugado, siendo cis-9, trans-11 y trans-10, cis-12 CLA las estructuras bioactivas más importantes (Mulvihill, 2001). Como es conocido, el CLA presente en productos de rumiantes tales como leche o carne, tiene el potencial de inhibir la carcinogénesis, aterosclerosis además de otros beneficios para la salud (Pariza et al., 2000). Por lo tanto productos de rumiantes con altos contenidos de CLA podrían adquirir cierto valor económico. En este estudio la concentración total de ácido linoleico representó un cuarto del contenido total de aceites, mientras que el contenido de ácido linolénico fue insignificante. Cuando se suministraron 577 o 1220 g d<sup>-1</sup> de grano de avena entero a novillos que pastoreaban forraje de avena fresco, una disminución no significativa en el contenido de CLA (11 a 15%) fue hallada en el contenido de lípidos intramusculares del músculo *longissimus dorsi*, comparado con el tratamiento control sin suplementación (Marinissen et al., 2006).

#### **4.4.5 Coeficientes de correlación en variables de calidad seleccionadas de grano de avena doble propósito**

Probablemente limitado por los objetivos por los cuales los cultivares fueron seleccionados y la magnitud de la interacción, los coeficientes de correlación determinados entre las diferentes variables y entre la fracción lipídica, resultaron de escaso sentido biológico. Sin embargo, las asociaciones entre variables fueron mayores para el año 2004 respecto de 2005. Esto puede ser debido principalmente a la diferencia en las precipitaciones entre ambos años. La mayor variabilidad en los componentes químicos parece estar asociada a los patrones climáticos de cada año. Doehlert et al. (2001) sugirieron que el rendimiento de grano, contenido de almidón y cenizas fueron más fuertemente afectados por el ambiente que por el genotipo; el peso hectolítrico, contenido de proteína y  $\beta$ -glucanos fueron igualmente influenciados por el ambiente y por el genotipo; mientras que el contenido de aceites fue más fuertemente influenciado por el genotipo. Adicionalmente, se sugiere que la avena presenta la mayor variabilidad en la composición química influenciada por factores ambientales, respecto de los demás cereales (Biel et al., 2009; Pettersson et al., 1996).

La mayor correlación entre dos variables fue hallada en 2004 entre  $\beta$ -GLU y REND. A pesar de ser altamente significativa ( $p < 0,01$ ) el grado de asociación fue bajo ( $r = 0,55$ ). Cuando los cultivares de avena crecen en la misma localización, las diferencias en el contenido de almidón, proteína y aceites puede estar atribuida a cambios en la proporción de cáscara, causadas por las diferencias climáticas en los años de experimentación (Givens et al., 2004). Sin embargo, para los genotipos de este estudio, los coeficientes de correlación entre FDN, como mayor indicador del contenido de cáscara, y tales variables fueron muy bajos y no significativos.

Muy bajos coeficientes de correlación fueron encontrados en este estudio para las asociaciones de REND con FDN, PB, EE o PH. Generalmente, para estas variables, son reportadas correlaciones negativas, o bien positivas o sin correlación alguna con rendimiento de grano (Doehlert et al., 2001; Peterson et al., 2005; Buerstmayr et al., 2007).

En el caso del contenido de proteína en el grano, usualmente se reportan correlaciones negativas entre esta variable con el rendimiento de grano. Por el contrario, ciertos cultivares de avena no han mostrado disminuciones en el contenido de proteínas, y aun pequeños incrementos fueron reportados asociados con el incremento en el rendimiento de grano (Welch y Leggett, 1997). En un extensivo estudio con cebada en diferentes localizaciones Europeas, se observó que la composición nutricional del grano fue afectada por el nivel de rendimiento, pero la mayor variación fue atribuida a diferencias en las condiciones ambientales (Torp et al., 1981)

La relación entre proteína y aceites fue de  $r = -0,32$  en 2004 y  $r = -0,06$  en 2005. Este hallazgo es coincidente con el de Welch (1995), quien mencionó correlaciones negativas no consistentes las cuales parecen haber estado influenciadas tanto por factores genéticos como ambientales.

Excepto por la asociación entre diferentes fracciones lipídicas, las condiciones climáticas parecen no influenciar el tipo y grado de asociación entre las variables de composición química. Los coeficientes de correlación entre fracciones químicas no lipídicas fueron mayores para el año con mayores precipitaciones (2004) involucrando principalmente al ALM y REND, asociación que desaparece cuando las precipitaciones son menores.

La asociación entre el contenido de aceites y la composición de ácidos grasos parece no haber sido muy consistente. En este estudio se encontraron correlaciones

significativas, una positiva para EE con ácido oleico, y otra negativa con el ácido palmítico y linoleico. Este hallazgo es coincidente con lo reportado por Zhou et al. (1999) y Welch (1995). Por otro lado, se encontró un alto grado de asociación entre ciertos ácidos grasos, en concordancia con lo reportado por Zhou et al. (1999) quien describe correlaciones significativas, la mayoría negativas, entre ácidos grasos individuales en grano de avena. Estos autores reportaron un rango de coeficientes de correlación para ácidos grasos que varía de -0,55 a -0,91; -0,47 a -0,68; y -0,20 a -0,30; en coincidencia con los coeficientes hallados en este estudio, de -0,72; -0,36 y -0,30 para el ácido oleico con linoleico, palmítico con linoleico, y palmítico con oleico respectivamente. Adicionalmente se encontró una correlación positiva altamente significativa de 0,60 y 0,54 para los ácidos esteárico con linoleico, y esteárico con palmítico respectivamente. Zhou et al. (1999) también menciona correlaciones positivas, pero entre sets de diferentes ácidos grasos. Esta fuerte asociación negativa entre ácido oleico y linoleico se puede explicar por el mecanismo de síntesis de ambos ácidos, el cual ocurre por sucesiva desaturación del ácido oleico (Saastamoinen et al., 1989).

#### 4.5 Conclusiones

A pesar de que los diferentes genotipos evaluados se utilizan para diferentes propósitos, los atributos del grano parecen no responder a ningún patrón de selección, probablemente debido a que han sido seleccionados principalmente para producción de forraje.

La mayoría de los genotipos tuvieron respuestas diferentes para las variables medidas en cada año lo cual se vio reflejado por la interacción *Cultivar x Año*.

Todas las variables parecen ser más dependientes de las condiciones ambientales, del año en particular, que del genotipo. A pesar de ello algunos cultivares parecen no ser tan influenciados por el año, por ejemplo, para ambos años se observaron valores estables para Milagros y Cristal (Alto contenido de almidón), Tucana y Pilar (alto contenido de lípidos) y Tucana con bajos valores de FDN. Excepto por Tucana, no se hallaron cultivares con más de una variable estable en ambos años. Desafortunadamente, Tucana fue uno de los cultivares con menor rendimiento de grano.

De acuerdo con datos de la literatura, y algunos resultados de nuestro estudio, los cultivares podrían ser seleccionados para obtener altos rendimientos y con una diversidad de características genéticas.

Debido a la versatilidad y al potencial del grano de avena, los esfuerzos de los mejoradores podrían ser dirigidos hacia tres objetivos diferentes: cultivares seleccionados para la industria (contenido de  $\beta$ -glucanos y almidón), Consumo humano (fibra, contenido y composición de aceites) y alimentación animal (FDN, proteína, almidón y contenido de aceites y composición lipídica).

## **CAPÍTULO 5**

### **ANÁLISIS MULTIVARIADO Y RANKING DE CULTIVARES DE AVENA**

#### **DOBLE PROPOSITO**

##### **5.1 ANÁLISIS MULTIVARIADO**

###### **5.1.1 Metodología**

Para poder visualizar las posibles asociaciones entre los cultivares evaluados y diferentes variables de interés nutricional seleccionadas se realizaron análisis de componentes principales (ACP) para forraje y grano doble propósito. Los ACP se realizaron para cada año por separado. Las variables seleccionadas para forraje fueron MS, PB, PS/CNES, utilizando el promedio de ambos cortes en cada año y el rendimiento total acumulado (REND), calculado por la suma del rendimiento en cada corte, mientras que para grano DP fueron PB, FDN, ALM,  $\beta$ -GLU, EE y REND. Adicionalmente, tanto para forraje como para grano DP, se realizó un análisis de agrupamientos utilizando un ligamiento promedio y distancia Euclídea. Los análisis previamente descriptos fueron realizados con el programa estadístico Infostat (2008).

###### **5.1.2 Resultados**

La tabla 5.1 muestra, para el año 2004, la correlación entre las variables seleccionadas y las 3 primeras componentes, junto con los porcentajes de reconstrucción de cada variable. Se observa que las variables con gran asociación en el CP1 son PB (positiva) y REND (negativa), mientras que en el CP2 se observa sólo PS/CNES con la mayor asociación (positiva). A partir de la CP3 se observan bajos coeficientes de correlación. A su vez, puede observarse que en las dos primeras CP las variables con mayor porcentaje de reconstrucción son PB, PS/CNES y REND, superando el 70%. Las

variables MS y FDN, las cuales no se encuentran bien representadas por las CP1 y CP2, se encuentran bien representadas utilizando las tres primeras componentes.

En la figura 5.1 se observa el biplot de los cultivares en estudio (puntos) y las variables analizadas (vectores). Se puede observar que el porcentaje de reconstrucción de las dos primeras componentes es de 75,3%. En la figura 5.2 se esquematiza el dendograma en el cual se observan los diferentes agrupamientos entre los cultivares en estudio, en función de sus distancias euclídeas, luego de que las mismas sean recalculadas por medio de un ligamiento promedio. La correlación entre las distancias originales y las distancias cofenéticas fue de 0,76. En esta figura puede observarse a los cultivares Millauquén, Pionera, Cristal, Suregrain, Pilar, Boyera y Aurora en un mismo grupo, asociados al contenido de PB, mientras que los restantes cultivares se ubican en otro grupo asociado a REND.

Tabla 5.1 Año 2004, correlación entre variables y componentes y porcentajes de reconstrucción de cada variable en el plano de las 2 y 3 primeras coordenadas principales para el forraje de avena.

| Variables | CP 1  | CP 2  | CP 3 | % reconstrucción<br>entre CP1 y CP2 | % reconstrucción<br>entre CP1, CP2 y CP3 |
|-----------|-------|-------|------|-------------------------------------|--|
| MS        | 0,62  | -0,49 | 0,61 | 62,4                                | 99,7                                     |
| PS/CNES   | 0,64  | 0,70  | 0,01 | 89,9                                | 89,9                                     |
| PB        | 0,97  | 0,04  | 0,16 | 94,2                                | 96,8                                     |
| FDN       | -0,54 | 0,55  | 0,59 | 59,4                                | 94,2                                     |
| REND      | -0,83 | -0,13 | 0,26 | 70,6                                | 77,3                                     |

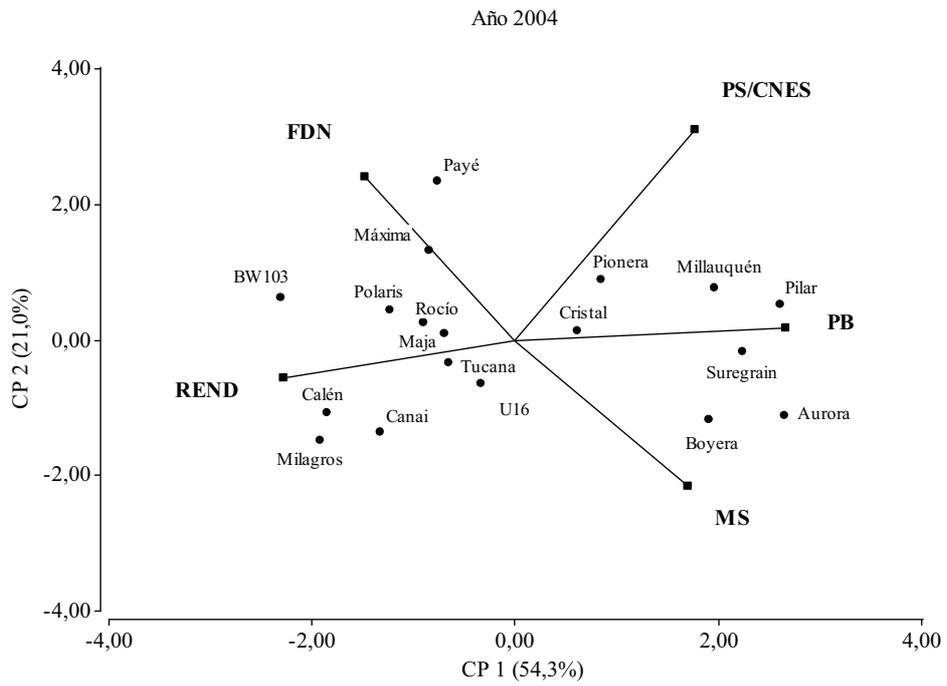


Figura 5.1 Biplot de los cultivares y las variables estudiadas en el plano de las dos primeras componentes principales para el forraje en el año 2004.

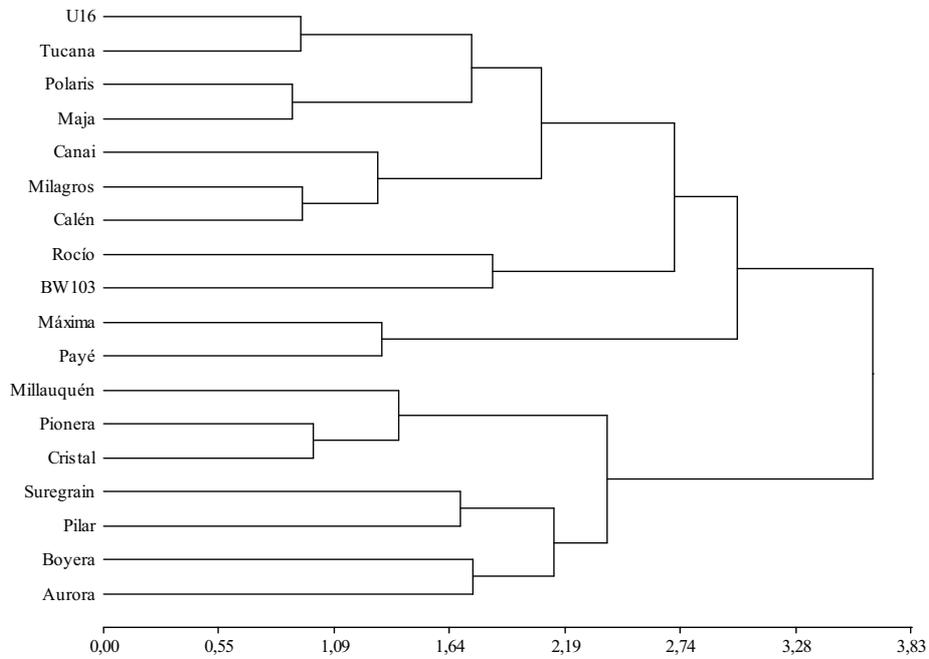


Figura 5.2 Dendrograma de los cultivares de forraje de Avena estudiados en 2004.

La tabla 5.2 muestra, para el año 2005, la correlación entre las variables y las tres primeras CP, junto con los porcentajes de reconstrucción de cada variable en particular. Se observa que la FDN y REND son las únicas variables con una moderada asociación (positiva) con la CP1, mientras que sólo la relación PS/CNES mostró una gran asociación (positiva) con la CP2. En la CP3 no se observaron fuertes asociaciones entre las variables y la componente.

Las variables con mayor porcentaje de reconstrucción en las dos primeras componentes son PS/CNES y FDN con 79,2% de reconstrucción, y luego se observa al REND, aunque éste no supera 61%. Las demás variables no tienen altos porcentajes de reconstrucción en las dos primeras CP aunque, considerando las tres primeras CP se mejora mucho el porcentaje de recuperación, superando el 80%, excepto para PS/CNES y REND que no mejoran la proporción obtenida en las dos primeras CP.

En la figura 5.3 se observa el biplot de los cultivares y las variables en estudio. Se puede ver que el porcentaje de recuperación de las dos primeras componentes para el 2005 es de 60,1%. En la figura 5.4 se esquematiza el dendograma en el cual se puede observar que existen varios agrupamientos aunque de pocos cultivares cada uno. La correlación entre las distancias originales y las distancias confenéticas fue de 0,66.

Tabla 5.2 Año 2005, correlación entre variables y componentes y porcentajes de reconstrucción de cada variable en el plano de las 2 y 3 primeras coordenadas principales para el forraje de avena.

| Variabes | CP 1  | CP 2  | CP 3  | % reconstrucción<br>entre CP1 y CP2 | % reconstrucción<br>entre CP1, CP2 y CP3 |
|----------|-------|-------|-------|-------------------------------------|--|
| MS       | -0,45 | -0,47 | -0,65 | 42,3                                | 84,6                                     |
| PS/CNES  | -0,01 | 0,89  | 0,03  | 79,2                                | 79,3                                     |
| PB       | -0,46 | -0,35 | 0,69  | 33,4                                | 81,0                                     |
| FDN      | 0,70  | -0,55 | 0,16  | 79,2                                | 81,8                                     |
| REND     | 0,78  | 0,03  | -0,11 | 60,9                                | 62,1                                     |

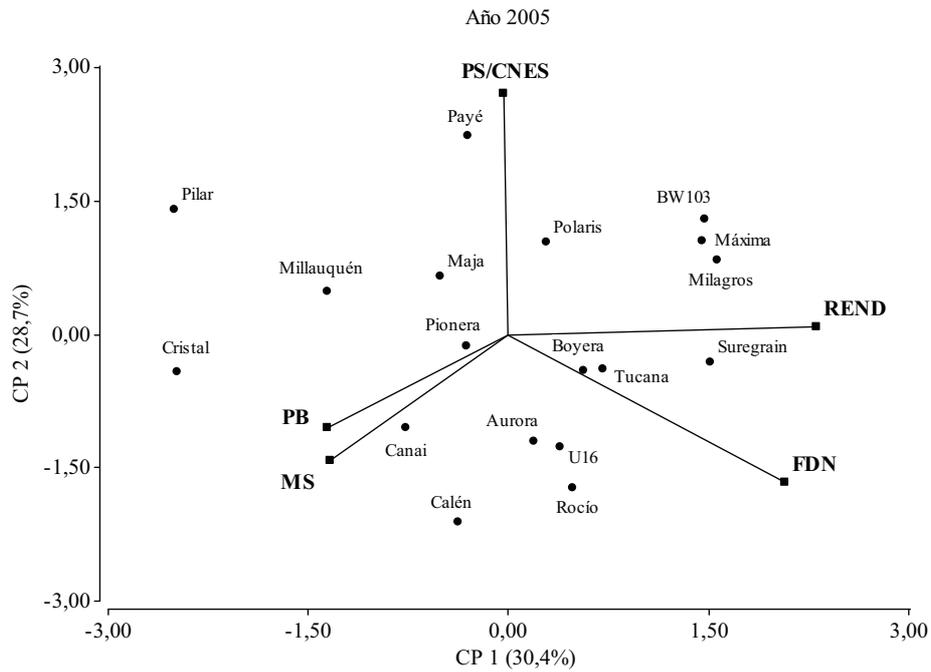


Figura 5.3 Biplot de los cultivares y las variables estudiadas en el plano de las dos primeras componentes principales para el forraje en el año 2005.

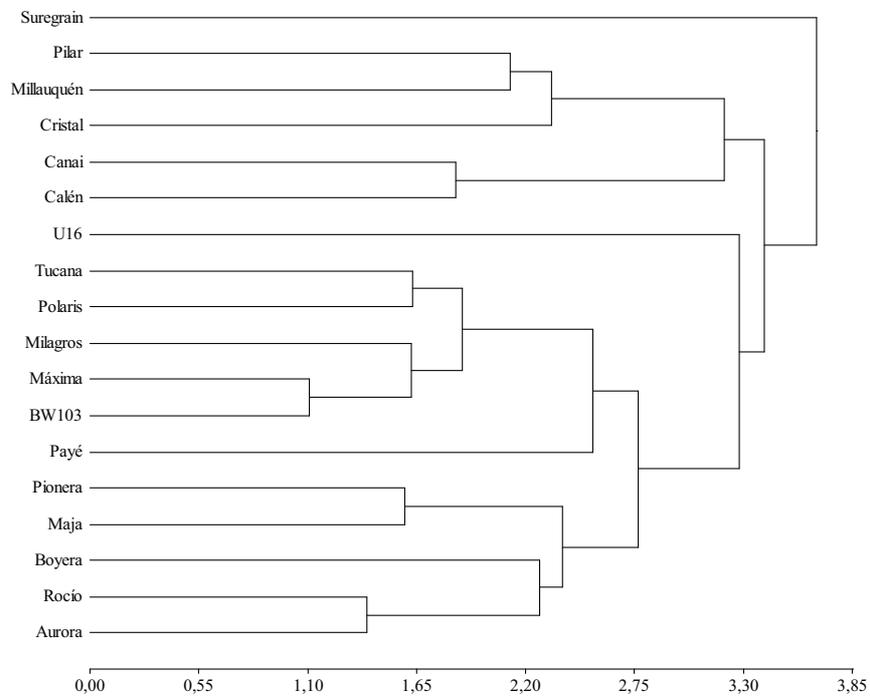


Figura 5.4 Dendrograma de los cultivares de forraje de Avena estudiados en 2005.

En la tabla 5.3 se muestra, para grano DP, la correlación entre las variables y las tres primeras CP, junto con los porcentajes de reconstrucción de cada variable en particular para el año 2004. Se puede observar que las variables mejor representadas en las dos primeras componentes fueron BGLU y REND seguidas de ALM y FDN, las cuales están moderadamente representadas mientras que PB y EE no están representados en dichas componentes. Las tres primeras CP muestran una buena representación para todas las variables excepto para EE que no llega al 70%. En la Fig. 5.5 se muestra la CP1 y CP2 para los 18 genotipos de avena en 2004. Se observa que las CP1 y CP2 presentan un bajo porcentaje de explicación de la varianza, alcanzando un porcentaje de representación de 63,3%. En la figura 5.6 se esquematiza el dendograma en el cual se puede observar que existen tres grandes agrupamientos de cultivares aunque dichos agrupamientos no están definidos por una variable en particular. La correlación entre las distancias originales y las distancias confenéticas fue de 0,66.

Tabla 5.3 Año 2004, correlación entre variables y componentes y porcentajes de reconstrucción de cada variable en el plano de las 2 y 3 primeras coordenadas principales para el grano de avena doble propósito

| Variables | CP 1  | CP 2  | CP 3  | % reconstrucción<br>entre CP1 y CP2 | % reconstrucción<br>e/CP1, CP2 y CP3 |
|-----------|-------|-------|-------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| PB        | 0,55  | -0,2  | 0,62  | 34,2                                | 72,7                                 |
| FDN       | -0,6  | 0,58  | 0,31  | 69,6                                | 79,2                                 |
| EE        | -0,61 | -0,07 | -0,52 | 37,7                                | 64,7                                 |
| BGLU      | 0,4   | 0,86  | -0,08 | 89,9                                | 90,6                                 |
| ALM       | 0,77  | -0,26 | -0,27 | 66,1                                | 73,3                                 |
| REND      | 0,83  | 0,33  | -0,28 | 79,8                                | 87,6                                 |

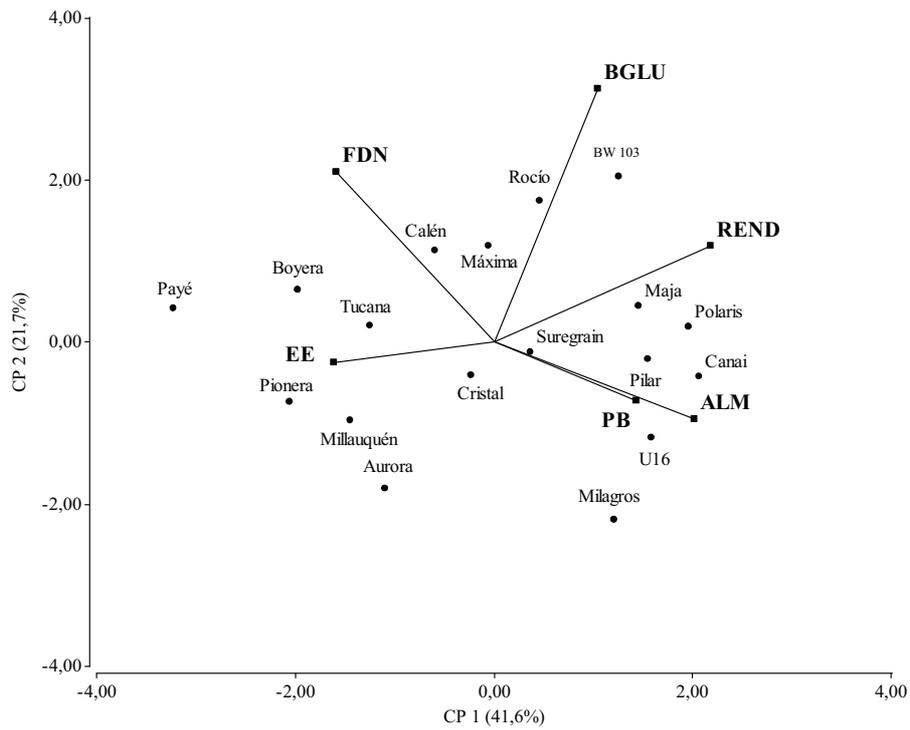


Figura 5.5 Biplot de los cultivares y las variables estudiadas en el plano de las dos primeras componentes principales para el grano doble propósito en el año 2004.

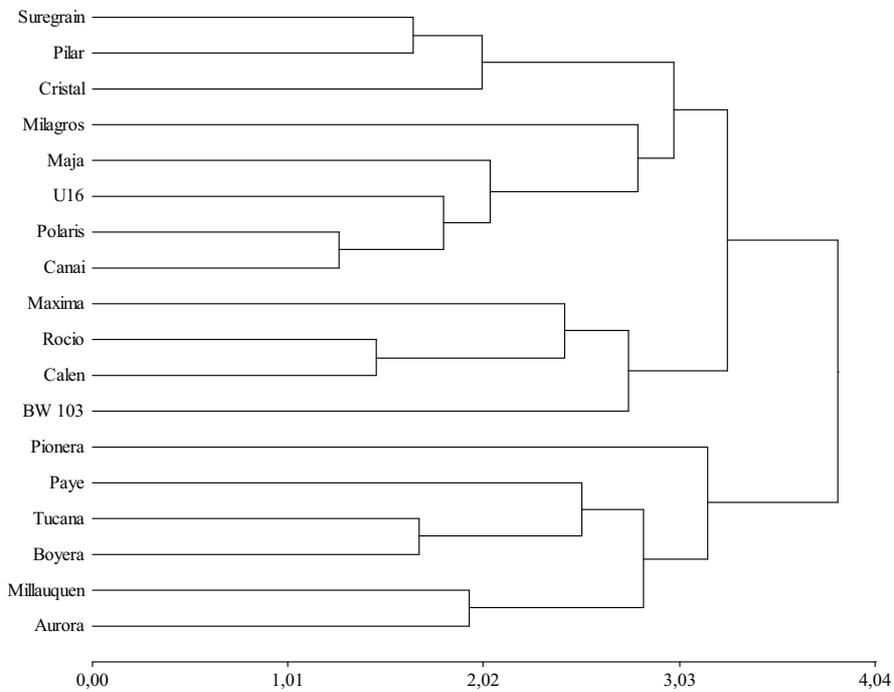


Figura 5.6 Dendrograma de los cultivares de grano de Avena estudiados en 2004.

En la tabla 5.4 se muestra la correlación entre las variables y las tres primeras CP, junto con los porcentajes de reconstrucción de cada variable en particular para grano DP en el año 2005. En este año, la variable mejor representada en las dos primeras componentes fue REND superando el 75% de representación, mientras que el resto de las variables no mostraron buena representación en las dos primeras CP. A pesar de ello las tres primeras CP mejoran dicha representación observando porcentajes de representación superiores al 70% para PB, FDN y BGLU, mientras que EE y ALM no alcanzaron dicho valor. En la Fig. 5.7 se muestra el biplot de los cultivares de avena y las variables de calidad seleccionadas. Se observa que las CP1 y CP2 presentan un bajo porcentaje de explicación de la varianza, alcanzando una representación de 52,9%. En la Fig. 5.8 se esquematiza el dendograma en el cual se puede observar que existen tres grandes agrupamientos de cultivares sumado a dos cultivares que se encontraron en forma aislada (Aurora y U 16). Al igual que en 2004, la agrupación de los cultivares en 2005 no está definida por una variable en particular. La correlación entre las distancias originales y las distancias confenéticas fue de 0,86.

Tabla 5.4 Año 2005, correlación entre variables y componentes y porcentajes de reconstrucción de cada variable en el plano de las 2 y 3 primeras coordenadas principales para el grano de avena doble propósito

| Variabes | CP 1  | CP 2  | CP 3  | % reconstrucción<br>entre CP1 y CP2 | % reconstrucción<br>e/CP1, CP2 y CP3 |
|----------|-------|-------|-------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| PB       | -0,51 | -0,56 | 0,46  | 57,4                                | 78,5                                 |
| FDN      | 0,27  | 0,07  | 0,88  | 7,8                                 | 85,2                                 |
| EE       | -0,7  | 0,44  | -0,07 | 68,4                                | 68,8                                 |
| BGLU     | -0,71 | 0,41  | 0,25  | 67,2                                | 73,5                                 |
| ALM      | 0,72  | 0,24  | 0,15  | 57,6                                | 59,9                                 |
| REND     | 0,14  | 0,86  | 0,1   | 75,9                                | 76,9                                 |

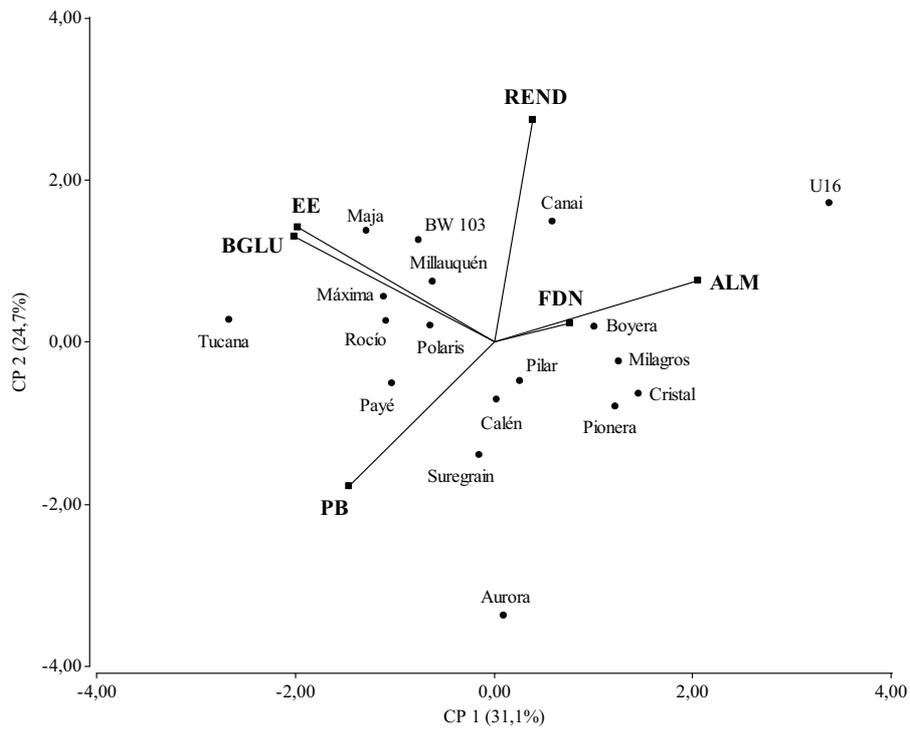


Figura 5.7 Biplot de los cultivares y las variables estudiadas en el plano de las dos primeras componentes principales para el grano doble propósito en el año 2005.

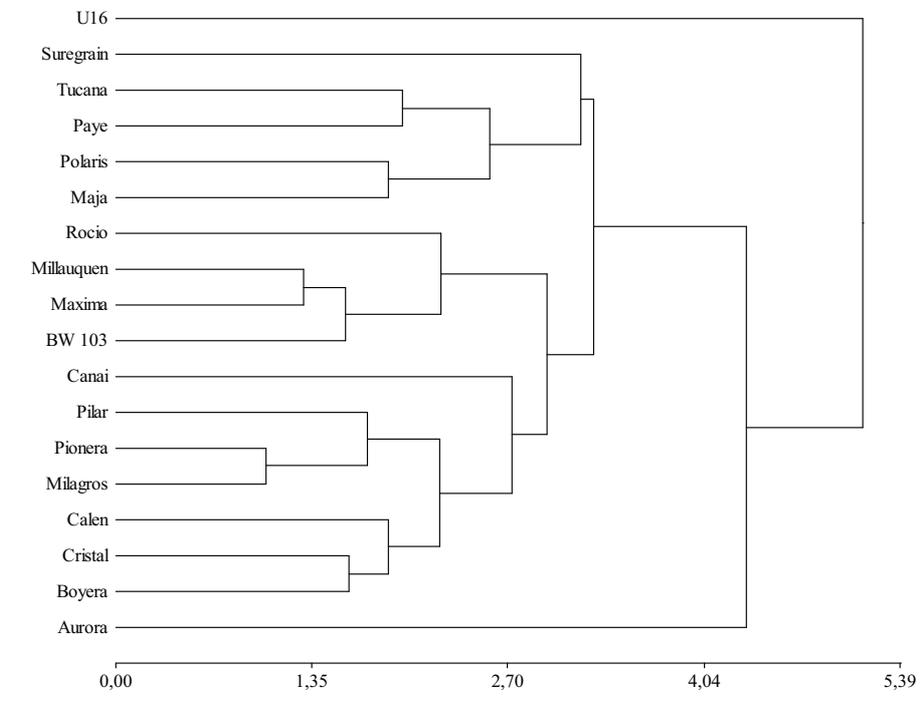


Figura 5.8 Dendrograma de los cultivares de grano de Avena estudiados en 2005.

### 5.1.3 Discusión

Para el forraje, se puede ver que el porcentaje de reconstrucción de las dos primeras componentes, en 2004, es de 75,3%, lo cual indica que se podrían ver bien representadas las variables en dicho plano. Para dicho año los cultivares como Aurora, Millauquén, Pilar, y Suregrain presentan un alto contenido de PB, mientras que Calén y Milagros están asociados positivamente al REND. Por lo tanto, podría decirse que la selección de cultivares para altos rendimientos estaría afectando negativamente al contenido de PB que esos cultivares puedan alcanzar. Otro parámetro que se encuentra negativamente asociado con REND es la relación PS/CNES, aunque parece no tener el mismo grado de asociación negativo que posee con PB. La baja representación de la MS y FDN en las dos primeras CP hace que no se pueda discutir sobre los cultivares que se encuentran próximos a dichos vectores.

En el dendograma se puede observar el agrupamiento de dos grandes grupos de cultivares, uno asociado a PB (Millauquén, Pionera, Cristal, Suregrain, Pilar, Boyera y Aurora) y otro grupo en el cual se pueden observar tres subgrupos, uno asociado a REND (U 16, Tucana, Polaris, Maja, Canai, Milagros y Calén), otro asociado a altos valores de FDN y REND (Rocío y Bw 103) y por último un subgrupo asociado a altos valores de FDN y moderado REND (Máxima y Payé). Por lo tanto si quisiéramos seleccionar cultivares por determinadas características podría utilizarse esta herramienta para decidir que cultivares elegir, de acuerdo al criterio de selección utilizado.

En 2005, el porcentaje de reconstrucción de las dos primeras componentes alcanza 60,1%, lo cual indica que las variables no se encuentran bien representadas en dichas componentes. Las únicas variables que presentan un alto porcentaje de explicación para ambas componentes son PS/CNES y FDN mientras que PB, MS y REND presentan valores bajos de explicación. Por lo tanto, en 2005, el ACP estaría mostrando una gran

dispersión entre los cultivares evaluados en función de las variables seleccionadas. El dendograma para dicho año muestra a su vez la gran diversidad de comportamientos de los cultivares lo cual hace que estos no se puedan organizar en grupos de varios cultivares con asociaciones entre ellos por una determinada variable. Sin embargo la correlación cofenética para dicho año fue de 0,66; la cual no sería suficiente para afirmar que las distancias observadas estén bien representadas.

Así mismo, es de destacar que los cultivares presentaron una distribución y un comportamiento muy diferente cada año ya que, en 2004 se pudo observar una mayor asociación entre algunas de las variables seleccionadas, lo cual permitió realizar un agrupamiento de cultivares de acuerdo a características en común, mientras que en 2005 no se pudieron observar asociaciones de relevancia entre las variables, ni agrupamientos de cultivares que sean similares a los observados en 2004. De este modo, el ACP muestra que no es posible realizar un agrupamiento de cultivares por características en común debido a que dichas características no son estables en los diferentes años de estudio.

Sin embargo es de destacar que a pesar de los bajos porcentajes de representación de las CP se puede observar que la PB y el REND se comportan de manera opuesta, de modo que la selección de cultivares para altos rendimientos estaría en detrimento del contenido de PB. Esto es coincidente con lo reportado por Zamora Villa et al. (2002) quien reportó que diferentes parámetros de calidad, entre los que se encuentra la proteína, están asociados negativamente al rendimiento de MS y contenido de fibra en cultivares de triticale forrajero. A su vez, García del Moral et al. (1995) reportaron en triticale una asociación negativa entre el rendimiento de forraje y el contenido de PB, sugiriendo que esto suceda probablemente por un efecto de dilución. Para forraje de

avena no se han publicado estudios que comparen cultivares mediante la técnica de ACP.

En grano DP, a pesar de que las correlaciones entre las variables no fueron muy fuertes, el ACP confirma la asociación negativa entre FDN con ALM y entre EE con REND, así como también la relación positiva entre ALM con REND, todas en 2004. Sin embargo, en 2005 el ACP parece no reflejar las correlaciones significativas encontradas entre las diferentes variables.

En 2004, Maja, Polaris, Canai y U 16, en el cuadrante izquierdo del gráfico, son los cultivares caracterizados por presentar los mayores rendimientos y contenido de ALM. En el cuadrante opuesto, se localizan Payé, Boyera y Pionera debido a su bajo rendimiento y contenido de ALM. Aurora y Milagros, los cuales presentan bajos contenidos de  $\beta$ -GLU, están localizados en el extremo inferior del gráfico.

En 2005, U 16 se ubica alejado del resto de los cultivares en el gráfico debido a que posee el mayor contenido de ALM y el menor de PB. Canai está cerca del vector de REND por poseer el mayor rendimiento de grano. Tucana se localiza en el extremo superior izquierdo, en ambos años, cercano al vector de EE porque mantuvo alto contenido de aceites durante 2004 y 2005.

No se pudo apreciar una clara separación de los cultivares basada en los dos componentes principales para ambos años. La observación del CP1 y CP2 para cada año no permitió agrupar cultivares por características en común debido a las bajas correlaciones entre las variables evaluadas. Sin embargo, el ACP ha sido exitosamente aplicado en otros estudios, cuando las variables fueron de rendimiento de grano o atributos físicos asociados con el rendimiento (Buerstmayr et al., 2007; Achleitner et al., 2008). Pocas referencias bibliográficas fueron encontradas acerca del uso del análisis de componentes principales para componentes químicos en grano de avena. Peterson et al.

(2005) estudió la relación entre características físicas del grano y algunas fracciones químicas, concluyendo que algunas relaciones entre rasgos del grano y el ambiente podrían ayudar a los mejoradores a optimizar algunas características simultáneamente.

#### **5.1.4 Conclusiones**

La selección de cultivares para altos rendimientos de forraje se relaciona negativamente con algunos parámetros de calidad de los mismos.

El año de mayor precipitación mostró una mayor variabilidad en las distintas fracciones nutricionales estudiadas, lo cual permitió obtener agrupamientos por características en común. Si embargo, el año 2005, el cual presentó menor precipitación no presentó agrupamientos definidos de cultivares por características en común.

Cada año en particular presentó diferentes formas de agrupar a los cultivares, de modo que el ACP muestra que no es posible realizar un agrupamiento de cultivares por características en común para un año al azar.

## 5.2 PROPUESTA DE RANKING DE CULTIVARES DE AVENA

### 5.2.1 Metodología

Para poder clasificar a los cultivares de avena de acuerdo a su capacidad doble propósito se propone realizar un ranking de calidad y otro de rendimiento (forraje + grano). Para realizar el ranking de calidad se seleccionaron variables de calidad del forraje (para ambos cortes) y del grano doble propósito, teniendo en cuenta cada año por separado.

Las variables de calidad seleccionadas para forraje fueron: PB, MS, FDN y CNES (de cada corte), mientras que para GDP fueron: PB, FDN, ALM, EE y BGLU.

Para realizar el ranking de rendimiento se utilizaron los rendimientos de forraje de cada corte y el rendimiento del grano DP.

Con el fin de eliminar el efecto de las unidades utilizadas para cada variable en particular se utilizó un sistema de estandarización por rangos. Posteriormente se realizó una sumatoria del valor estandarizado de todas las variables seleccionadas. El sistema de estandarización consistió en calcular un número (R) proveniente de tomar el valor de la variable, restarle el valor mínimo encontrado entre todos los cultivares y dividir esa resta por el rango (máximo-mínimo). De este modo los valores obtenidos se encontrarán entre 0 (el cultivar con valor más bajo) y 1 (el cultivar con valor más alto)

$$R = (\text{valor} - \text{mín}) / (\text{máx} - \text{mín})$$

Como es favorable obtener bajos valores de FDN para mejorar la calidad del forraje y el grano, el cálculo del valor estandarizado, en este caso, se calcula:

$$R_{(FDN)} = 1 - [(\text{valor-mín}) / (\text{máx} - \text{mín})]$$

Por ejemplo, el REND de forraje para C1 en 2004 posee un valor mínimo de 435 kg/ha (Suregrain) y un máximo de 2150 kg/ha (Tucana). Por lo tanto el valor estandarizado para el cultivar Payé (1272 kg/ha) será de:

$$R = (1272 - 435) / (2150 - 435) = 0,49$$

Para calcular el puntaje de dicho cultivar (en calidad) se realizará la sumatoria de todas las variables seleccionadas:

$$\text{Puntaje} = \text{PB-C1} + \text{PB-C2} + \text{MS-C1} + \text{MS-C2} + \text{FDN-C1} + \text{FDN-C2} + \text{CNES-C1} \\ + \text{CNES-C2} + \text{PB-DP} + \text{FDN-DP} + \text{ALM-DP} + \text{EE-DP} + \text{BGLU-DP}$$

En el caso del cultivar Payé la sumatoria sería:

$$\text{Puntaje} = 0,33 + 0,42 + 0,14 + 0,00 + 0,25 + 0,39 + 0,00 + 0,14 + 0,00 + 0,89 + \\ 0,89 + 0,65 + 0,37 = \mathbf{4,46}$$

### 5.2.2 Resultados y discusión

En las tablas 5.5 y 5.6 se muestra el ranking de calidad para el año 2004 y 2005 respectivamente. Se puede observar el punto de corte por encima del cual se encuentran los cultivares que presentan valores superiores al valor medio del ranking de puntuación. Los cultivares que presentan valores superiores a la media en ambos años se encuentran resaltados en negrita y son: Boyera, Pilar, Pionera, Calén, Cristal y Millauquén.

Tabla 5.5 Ranking de Calidad, 2004.

|                   |             |
|-------------------|-------------|
| Aurora            | <b>9,22</b> |
| <b>Boyera</b>     | <b>8,59</b> |
| <b>Pionera</b>    | <b>7,99</b> |
| <b>Pilar</b>      | <b>7,52</b> |
| Suregrain         | <b>7,50</b> |
| <b>Calén</b>      | <b>7,16</b> |
| Tucana            | <b>7,04</b> |
| <b>Cristal</b>    | <b>6,88</b> |
| <b>Millauquén</b> | <b>6,81</b> |
| Máxima            | 6,69        |
| Maja              | 6,68        |
| Rocío             | 6,30        |
| U 16              | 6,21        |
| Bw 103            | 6,21        |
| Canai             | 5,83        |
| Milagros          | 5,35        |
| Payé              | 4,46        |
| Polaris           | 4,29        |
| <i>Media</i>      | <i>6,71</i> |

Tabla 5.6 Ranking de Calidad, 2005.

|                   |             |
|-------------------|-------------|
| <b>Millauquén</b> | <b>8,63</b> |
| <b>Cristal</b>    | <b>8,04</b> |
| <b>Pilar</b>      | <b>8,01</b> |
| <b>Boyera</b>     | <b>7,86</b> |
| Rocío             | <b>7,75</b> |
| <b>Calén</b>      | <b>7,64</b> |
| <b>Pionera</b>    | <b>7,59</b> |
| Canai             | <b>7,18</b> |
| Milagros          | <b>6,96</b> |
| Bw 103            | 6,80        |
| Maja              | 6,65        |
| Máxima            | 6,53        |
| Tucana            | 6,38        |
| Aurora            | 6,21        |
| Polaris           | 6,13        |
| Suregrain         | 4,81        |
| Payé              | 4,77        |
| U 16              | 4,43        |
| <i>Media</i>      | <i>6,80</i> |

En las tablas 5.7 y 5.8 se muestra el ranking de rendimiento para el año 2004 y 2005 respectivamente. Al igual que en el ranking de calidad, se puede observar el punto de corte por encima del cual se encuentran los cultivares que presentan valores superiores al valor medio del ranking de puntuación. Los cultivares que presentan valores superiores a la media en ambos años, resaltados en negrita, son: Bw 103, Maja, Canai, Calén y Milagros.

Tabla 5.7 Ranking de Rendimiento, año 2004

|                 |             |
|-----------------|-------------|
| Polaris         | <b>2,50</b> |
| <b>Bw 103</b>   | <b>2,46</b> |
| <b>Maja</b>     | <b>2,15</b> |
| Rocío           | <b>2,07</b> |
| <b>Canai</b>    | <b>2,04</b> |
| <b>Calén</b>    | <b>2,02</b> |
| U 16            | <b>1,98</b> |
| <b>Milagros</b> | <b>1,86</b> |
| Tucana          | <b>1,85</b> |
| Cristal         | <b>1,85</b> |
| Pilar           | <b>1,79</b> |
| Boyera          | 1,47        |
| Máxima          | 1,39        |
| Suregrain       | 1,35        |
| Pionera         | 1,24        |
| Millauquén      | 1,14        |
| Aurora          | 1,09        |
| Payé            | 1,02        |
| <i>Media</i>    | <i>1,74</i> |

Tabla 5.8 Ranking de Rendimiento, año 2005

|                 |             |
|-----------------|-------------|
| Boyera          | <b>2,32</b> |
| <b>Bw 103</b>   | <b>2,16</b> |
| Máxima          | <b>1,99</b> |
| <b>Canai</b>    | <b>1,89</b> |
| <b>Milagros</b> | <b>1,86</b> |
| <b>Maja</b>     | <b>1,71</b> |
| <b>Calén</b>    | <b>1,63</b> |
| U 16            | 1,49        |
| Tucana          | 1,49        |
| Aurora          | 1,47        |
| Rocío           | 1,44        |
| Polaris         | 1,31        |
| Payé            | 1,24        |
| Cristal         | 1,14        |
| Pionera         | 1,09        |
| Millauquén      | 1,08        |
| Suregrain       | 1,05        |
| Pilar           | 0,92        |
| <i>Media</i>    | <i>1,52</i> |

### 5.2.3 Conclusiones

Se podría seleccionar cultivares utilizando el ranking propuesto, teniendo en cuenta qué cultivares se mantienen estables y con altos puntajes en ambos años.

Cabe destacar al cultivar Calén, el cual presentó valores por encima de la media tanto para rendimiento como para calidad en ambos años. De este modo, Calén sería el cultivar con mayores atributos.

Wehrhahne (2009) reportó que los cultivares Payé, Cristal, U 16, Polaris, Canai, Milagros, Maja y Calén fueron los que presentaron un índice de calidad molinera superior a Suregrain (cultivar testigo), de modo que esta información combinada con la obtenida en esta tesis podría orientar a los productores a la hora de seleccionar cultivares que se adapten a la producción de avena para uso animal (doble propósito) o en la industria alimenticia.

## **CONSIDERACIONES FINALES**

En los genotipos, se observó una gran variabilidad en producción de forraje, rendimiento de grano (DP y GC), así como también en todas las fracciones nutricionales estudiadas.

El efecto ambiental tuvo un fuerte impacto sobre las características nutricionales y productivas del forraje y grano. Sin embargo, algunos genotipos mostraron una mayor adaptación al ambiente presentando, ciertas fracciones nutricionales, mayor estabilidad en atributos deseables en ambos años de estudio.

Los genotipos evaluados han sido seleccionados principalmente para forraje, pero aun así, para las características nutricionales deseables en el forraje parece existir potencial de mejora. Esto surge del contraste entre los valores obtenidos para ciertas fracciones de valor nutricional con aquellos reportados para cultivares generados en otros países.

Parece biológicamente posible obtener cultivares con mejoras para ciertos rasgos de interés nutricional tanto para forraje como para grano.

**BIBLIOGRAFÍA**

- A.O.A.C., 2000. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists. Washington D.C. (17<sup>th</sup> edition).
- A.A.C.C. American Association of Cereal Chemists, 2000. Approved Methods of the AACC. 10th Edition the Association. USA.
- Achleitner, A., Tinker, N.A., Zechner, E., Buerstmayr, H., 2008. Genetic diversity among oat varieties of worldwide origin and associations of AFLP markers with quantitative traits. *Theor Appl Genet.* 117, 1041-1053
- Ackman, R.G., Eaton, C.A., Sipos, J.C., and Crewe, N.F., 1981. Origin of cis-9, trans-11 and trans-9, trans 11-octadecadienoic acid in the depot fat of primates fed a diet rich in lard and corn oil and implications for the human diet. *Can Inst Food Sci Technol J.* 14, 103-107.
- Acosta, G., Mirco, V., Brinch, J., Acosta, A, Ayala Torales, A., 2007. Variación en la respuesta productiva de novillos asociada a los momentos de asignación diaria de un verdeo invernal durante el otoño. XX Reunión Latinoamericana de Producción Animal. V Congreso Internacional de Doble Propósito. CD: Sesión Producción de Bovinos (25).Cuzco, Perú. Octubre 2007.
- Alam, S. M., Adams, W. A., 1979. Effect of soil pH on the growth and mineral content of oats. *Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research.* 22, 147-151.
- Altuve S., 2005. Evaluación de variedades de avena y raigrás en Corrientes. *Noticias y Comentarios INTA N° 397.* ISSN: 0327-3059.
- Amigone, M., 2003. Verdeos de invierno. Sugerencias para la correcta elección de cultivares, implantación y aprovechamiento. *Información para extensión.* N° 22. INTA EEA-Marcos Juarez.
- Anderson, D.P., 1992. Immunostimulants, adjuvants, and vaccine carriers in fish: applications to aquaculture. *Ann. Rev. Fish Dis.* 1, 281-307.
- Arelovich H.M., Arzadún M.J., Laborde H.E., Vasquez M.G., 2003. Performance of beef cattle grazing oats supplemented with energy, escape protein or high quality hay. *Anim. Feed Sci.Tech.* 105, 29-42.
- Arelovich, H. M., Miranda, R., Horn, G.W., Meiller, C., Torrea, M.B., 1996. Oats varieties: forage production, nutritive value and grain yield. *Anim. Sci. Res. Rep Okla Agr. Exp. Sta.* P-951, 104-108.

- Arelovich, H.M., Laborde, H.E., Arzadún M.J., Vasquez M.G., 2004. Influence of hay quality and pasture location on performance of beef cattle grazing oats. *Spa. J. Agric. Res.* 2 (1), 53-61.
- Arelovich, H.M., Abney, C.S., Vizcarra, J.A., Galyean, M.L., 2008. Effects of dietary neutral detergent fiber on intakes of dry matter and net energy by dairy and beef cattle: Analysis of published data. *The Professional Animal Scientist* 24, 375–383.
- Aro, A., Mannisto, S., Salminen, I., Ovaskainen, M.L., Kataja, V., Uusitupa, M., 2000. Inverse association between dietary and serum conjugated linoleic acid and risk of breast cancer in postmenopausal women. *Nutr Cancer* 38, 151-157.
- Arzadún, M., Freddi, J., Pissani, A., Sastre, P., 1996. Composición del forraje de avena y respuesta a la suplementación. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 16, 140-141.
- Ball, B., Collins, M., Lacefield, G., Martin, N., Mertens, D., Olson, K., Putnam, D., Undersander, D., Wolf, M. 2000. Understanding forage quality. [Online] available: <http://www.agfoundation.org/projects/FQ.pdf> [15 Apr. 2003].
- Barker, G. 1985. Prehistoric farming in Europe. Cambridge University Press, Cambridge.
- Barnes, R.F., 1990. Importance and problems of tall fescue. pp. 2–12, En: M.J. Kasperbauer (ed). *Biotechnology in Tall Fescue Improvement*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Bauman, D.E., Corl, B.A., Baumgard L.H., Griinari, J.M., 2001. Conjugated linoleic acid (CLA) and the dairy cow. In P.C. Garnsworthy and J. Wiseman, (eds.) *Recent Advances in Animal Nutrition*. Nottingham University Press, Nottingham, UK. pp. 221-250.
- Baumont, R., Prache, S., Meuret, M., Morand-Fehr, P., 2000. How forage characteristics influence behaviour and intake in small ruminants: A review. *Livestock Prod Sci* 64: 15–28.
- Becker, R.L., Sheaffer, C.C., Miller, D.W., Swanson, D.R., 1998. Forage quality and economic implications of systems to manage giant foxtail and oat during alfalfa establishment. *J. Prod. Agric.* 11, 300–308.
- Beratto Medina, E., 1994. Mejoramiento Genético de Avena y su Influencia en el Rendimiento de Grano. In *Second South American Oat Congress*, pp. 8 - 10. Porto Alegre, Brazil, 30 October - 5 November 1994.

- Berkelo, C.P., Lounsbery, J., 1991. Oat mill by-product as a roughage source in feedlot finishing diets. *South Dakota Beef Rep. Agric-Exp-Stn. South Dakota State University.* 91, 5-8.
- Biel, W., Bobko, K., Maciorowski, R., 2009. Chemical composition and nutritive value of husked and naked oats grain. *Journal of Cereal Sci* 49, 413-418.
- Bodine, T.N., Purvis, H.T., Lalman, D.L., 2001. Effects of supplement type on animal performance, forage intake, digestion and ruminal measurements of growing beef cattle. *J. Anim. Sci.* 79, 1041-1051.
- Boerger, A., 1943. *Investigaciones Agronômicas. Vol. 2. Montevideo: Bamiro & Ramos S.A.* 1043 pp.
- Boudon, A., Peyraud, J.L., 2001. The release of intracellular constituents from fresh ryegrass (*Lolium perenne* L.) during ingestive mastication in dairy cows: effect of intracellular constituent, season and stage of maturity. *Anim. Feed Sci. Technol.* 93, 229-245.
- Braaten, J.T., Wood, P.J., Scott, F.W., Wolynetz, M.S., Lowe, M.K., Bradley-White, P., Collings, M.W., 1994. The effect of oat gum on serum cholesterol levels of hypercholesterolemic subjects. *European J. Clinical Nut.* 48, 465-474.
- Brown, C.M., Craddock, J.C., 1972. Oil content and groat weight of entries in the world oat collection. *Crop Science*, 12, 514-515.
- Brown, R.H., Blaser, R.E., 1970. Soil moisture and temperature effects on growth and soluble carbohydrates of orchardgrass (*Dactylis glomerolata*). *Crop Sci.* 5, 557-582.
- Buddle, B.M., Pulford, H.D., Ralston, M., 1988. Protective effect of glucan against experimentally induced *Staphylococcal* mastitis in ewes. *Vet. Microbiol.* 16, 65-76.
- Buerstmayr, H, Krenn, N., Stepha, U., Grausgruber, H., Zechner, E., 2007. Agronomic performance and quality of oat (*Avena sativa* L.) genotypes of worldwide origin produced under Central European growing conditions. *Field Crops Res.* 101, 343-351.
- Busso, C. A., Richards, J.H., Chatterton, N.J., 1990. Nonstructural carbohydrates and spring regrowth of two cool-season grasses: Interaction of drought and clipping. *Journal of Range Management* 43, 336- 343.

- Caballero, R., Goicoechea, E.L.; Hernaiz, P.J., 1995. Forage yields and quality of common vetch and oat sown at varying seeding ratios and seeding rates of vetch. *Field Crops Res.* 41, 135-140.
- Cangiano, C.A., 1982. Comportamiento de la ingestión de novillos en pastoreo. Tesis de Magister. Universidad Nacional de Mar del Plata.
- Carr, P.M., Poland, W.W., Tisor, L.J., 2001. Barley versus oat: which makes the superior forage crop. Annual reports. Agronomy section. Dickinson Research Extension Center, ND, USA.
- Casler, M.D., Vogel, K.P., 1999. Accomplishments and impact from breeding for increased forage nutritional value. *Crop Sci.* 39, 12-20.
- Cecconi I. 2005. Variación diurna y estacional de los componentes de la materia seca de raigrás anual (*Lolium multiflorum* L.) fertilizado con dos niveles de nitrógeno. Tesis de Magister. Universidad Nacional de Mar del Plata.
- Chang, C.F., Chen, H.Y., Su, M.S., Liao, I.C., 2000. Immuno-modulation by dietary beta-1,3-glucan in the brooders of the black tiger shrimp *Penaeus monodon*. *Fish Shellfish Immunol.* 10, 5005-514.
- Cherney, D.J.R., 2000. Pages 281-300 In *Forage Evaluation in ruminant nutrition*. CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Cherney, J.H., Marten, G.C., 1982. Small grain crop forage potential:II. Interrelationships among biological, chemical, morphological, and anatomical determinants of quality. *Crop Sci.* 22, 240–245.
- Chifflet de Verde, S., Torres, F., Otero, J., Ovejero, F., Rosso, O.R., 1974. Disponibilidad y consumo en pastoreo: II. Consumo y su relación con la disponibilidad de forraje. *Producción Animal* 5, 69-67.
- CNA, 2002. Censo Nacional Agropecuario 2002. [www.mecon.gov.ar](http://www.mecon.gov.ar)
- Coffman, F.A., Frey, K.J., 1961. Influence of climate and physiological factors on growth in oat. Pages 420-464 in F.A. Coffman, (ed). *Oats and oat improvement*. American Society of Agronomy, Madison, WI, USA.
- Coleman, S.W., Moore, J.E., 2003. Feed quality and animal performance. *Field. Crops. Res.* 84, 17-26.
- Contreras-Govea, F.E., Albrecht, K.A., 2006. Forage Production and Nutritive Value of Oat in Autumn and Early Summer. *Crop Sci.* 46, 2382–2386.
- Crosbie, G.B., Tarr, A.W., Portmann, P.A., Rowe, J.B., 1985. Variation in hull composition and digestibility among oat genotypes. *Crop Sci.* 25, 678-680.

- Cui, L., Li, C., 1989. Studies on the quality of naked oats in China. *Zuowu-Pinzhong-Ziyuan.*, 3, 32-33.
- Cui, W., Wood, P.J., 2000. Relationships between structural features, molecular weight and rheological properties of cereal b-D-glucan. In: Nishinari, K., (ed.), *Hydrocolloids—Part 1*, Elsevier Science BV, Amsterdam, pp. 159–168.
- Czerkawski, J.W., 1986. Digestion of carbohydrates. In: *An introduction to rumen studies*. Pergamon Press. N.Y. pp 151-172.
- Delagarde, R., Peyraud, J.L., Delaby, L.; Faverdin, P., 2000. Vertical distribution of biomass, Chemicals composition and pepsin – cellulase digestibility in a perennial ryegrass sward: interaction with month of year, regrowth age and time of day. *Anim. Feed Sci. Technol.* 84, 49-68.
- Demirbas, A., 2005.  $\beta$ -Glucan and mineral nutrient contents of cereals grown in Turkey. *Food Chemistry* 90, 773-777.
- Denda, 2009. Trigo doble propósito. Impacto de la fertilización nitrogenada sobre la producción y composición química del forraje. Tesis de Magister. Universidad Nacional del Sur.
- Díaz, M., Echenique, V. Schrauf, G., Cardone, S., Polci, P., Lutz, E., Spangenberg, G., 2004. Biotecnología y mejoramiento genético de especies forrajeras. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*. Ediciones INTA v.3, n.3, 77-104.
- Diaz-Zorita, M., Gonella C., 1995. Fertilización nitrogenada en verdes de invierno en la región noroeste bonaerense. I. Producción primaria neta. *Rev. Arg. Prod. Animal*, 15 (1), 216-218.
- Doehlert, D.C., McMullen, M.S., 2000. Genotypic and Environmental Effects on Oat Milling Characteristics and Groat Hardness. *Cereal Chem.* 77, 148-154.
- Doehlert, D.C., McMullen, M.S., Hammond, J. J., 2001. Genotypic and Environmental Effects on Grain Yield and Quality of Oat Grown in North Dakota. *Crop. Sci.* 41, 1066-1072.
- Duble, R.L., Lancaster, J.A., Holt, E.C., 1971. Forage characteristics limiting animal performance on warm-season perennial grasses. *Agron. J.*, 68, 795-798.
- Duckett, S.K., Andrae, J.G., Owens, F.N., 2002. Effect of high oil corn or addea corn oil on ruminal biohydrogenation of fatty acids and conjugated linoleic acid formation in beef steers fed finishing diets. *J. Anim. Sci.* 80, 3353-3360.

- Edmisten, K.L., Green, J.T., Mueller, J.P., Burns, J.C., 1998. Winter annual small grain forage potential. II. Quantification of nutritive characteristics of four small grain species at six growth stages. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 29, 881–899.
- Elizalde, J.C., Santini, F., 1992. Factores nutricionales que limitan las ganancias de peso en bovinos en el período otoño-invierno. *Boletín Técnico N° 104*. EEA Balcarce, INTA, Argentina, 27 p.
- Elizalde, J.C., Santini, F.J., Pasinato, A.M., 1994. The effect of stage of harvest on the processes of digestion in cattle fed winter oats indoors. 1. Digestion of organic matter, neutral detergent fibre and water soluble carbohydrates. *Anim. Feed Sci. Technol.* 47, 201-211.
- Elizalde, J.C., Santini, F.J., Pasinato, A.M., 1996. The effect of stage of harvest on the processes of digestion in cattle fed winter oats indoors. 2. Nitrogen digestion and microbial protein synthesis. *Anim. Feed Sci. Technol.* 63, 245–255
- Eppendorfer, W. H., 2006. Nutritive value of oat and rye grain protein as influenced by nitrogen and amino acid composition. *J.Sci. Food Agric.* 28, 152-156.
- FAO., 2002. *Production Yearbook Vol. 55 - 2001*. FAO Statistics Series.
- FDA, 1996. Food labeling: health claims; oats and coronary heart disease. Food and Drug Administration, HHS. Proposed rule. 61, 296–313.
- Farrell, D.J., Takhar, B.S., Barr, A.R., Pell, A.S., 1991. Naked oats: their potential as a complete feed for poultry. In: Farrell D.J. (Ed.), *Recent advances in animal nutrition in Australia*, pp. 312-325.
- Federizzi, L.C., Milach, S.C.K., Pacheco, M.T., Barbosa Neto, J.F., Sereno, M.J.C.M., 1999. Melhoramento da Aveia. pp. 131 - 157, In A. Borem (ed). *Melhoramento das espécies cultivadas*. Editora Viçosa.
- Feletti, F., De Bernardi di Valserra, M., Contos, S., Mataboni, P., Gemogli, R., 1992. Chronic toxicity study on a new glucan extracted from *Candida albicans* in rats. *Drug Res.* 42, 1363-1367.
- Ferri, C.M., Stritzler, N.P., Brizuela, M.A., Piper, F.I., Petruzzi, H.J., 2001. Efecto de la oferta de pasto sobre la ingestión de ovinos en pastoreo de *Panicum coloratum* L. diferido. *Invest. Agr.: Prod. Sanid. Anim.* 16, 281-289.
- Floss, E. L., 1998. Efeito do genotipo, ambiente, anos, e controle de moléstias na esspesura de graos de aveia. En: *Resumen 18 Reuniao da Comissão Brasileira de Pesquisa de Aveia*. Londrina, Paraná (Brasil). p. 53, 54.

- Forsberg, R.A., Reeves, D.L., 1995. Agronomy of oats. In Welch, R.W. (ed.) The oat crop. London: Chapman and Hall, 1995. p. 222-251
- Forsberg, R.A., Shands, H.L., 1989. Oat breeding. In J. Janick (ed). Plant breeding reviews. Vol. 6, pp. 167 - 207. Portland, OR, USA, Timber Press.
- Francia, E., Peccioni, N., Li Destri Nicosia, O., Paoletta, G., Taibi, L., Franco, V., Odoardi, M., Stanca, A.M., Delogu, G., 2006. Dual-purpose barley and oat in a Mediterranean environment. *Field Crops Res.* 99, 158-166.
- Frank, A.B., 1994. Physiological comparisons of crested wheatgrass and western wheatgrass to water. *J. Range Manage.* 47, 460-466.
- Frey KJ, Holland JB. 1999. Nine cycles of recurrent selection for increased grain-oil content in oat. *Crop Science* 39, 1636–1641.
- Gagliostro, G., 2000. Principios de la nutrición y suplementación de bovinos en pastoreo. Publicación EEA. INTA Balcarce, Área de Producción Animal. 108p.
- García del Moral, L.F., Boujenna, a., Yañez, J.A., Ramos, J.M., 1995. Forage Production, Grain Yield, and Protein Content in Dual-Purpose Triticale Grown for Both Grain and Forage. *Agron. J.* 87, 902-908.
- García, S.C., Santini, F.J., Elizalde J.C., 2000. Sites of digestion and bacterial protein synthesis in dairy heifers fed fresh oats with or without corn or barley grain. *J. Dairy Sci.* 83, 746–755.
- Garleb, K.A., Bourquin, L.D., Hsu, J.T., Wagner, G.W., Schmidt, S.J., Fahey, Jr., G.C., 1991. Isolation and chemical analysis of nonfermented fiber fractions of oat hulls and cottonseed hulls. *J. Anim. Sci.* 69, 1255-1271.
- Garza, R., Barnes, R.F., Mott, G.O., Rhykerd, C.L., 1965. Influence of light intensity, temperature and growing period on the growth, chemical composition and digestibility of culver and tanverde alfalfa seedlings. *Agron. J.* 57, 417-420.
- Gastal, F., Nelson, C.J., 1994. Nitrogen use within the growing leaf blade of tall fescue. *Plant Physiology.* 105, 191-197.
- Genc, H., Ozdemir, M., Demirbas, A., 2001. Analysis of mixed-linked (1→3), (1→4)- $\beta$ -D-glucans in cereal grains from Turkey. *Food Chemistry* 73, 221-224
- Givens, D. I., Davies, T. W., Laverick, R. M. 2004. Effect of variety, nitrogen fertilizer and various agronomic factors on the nutritive value of husked and naked oats grain. *Anim. Feed Sci. Technol.* 113, 169-181.

- Givens, D.I., Davies T.W., Laverick, R.M., 2000. Dietary fibre fractions in hulled and naked winter oat grain: effects of cultivar and various agronomic factors. *J.Sci. Food Agric.* 80, 491-496.
- Griinari J.M, Bauman D.E., 1999. Biosynthesis of conjugated linoleic acid and its incorporation into meat and milk in ruminants. In Yurawecz MP, Mossoba MM, Kramer JKG, Pariza MW and Nelson GJ (eds.). *Advances in conjugated linoleic acid research.* AOCS Press, Champaign, IL, USA
- D.J., 1984. Mineral composition of wheat forage as related to metabolic disorders of ruminants. In: National Wheat Pasture Symposium Proc. Horn, G.W., ed., Okla. Agr. Exp.Sta. Pub. No.MP-115, pp: 99.
- Guiragossian, V.Y., Van Scoyoc, S.W., Axtell, J.D., 1977. *Chemical and Biological Methods for Grain and Forage Sorghum.* Dept. of Agronomy, Agric. Exp. Sta., Purdue Univ., West Lafayette, IN. pp 145.
- Hadjichristodoulou, A., 1991. Dual-purpose barley. *Rachis* 10, 13-16.
- Hatfield, J.L., Prueger, J.H., 2004. Agronomic Management to Achieve Water and Nutrient Use Efficiency. 12th Congreso de AAPRESID and III Simposio de Fertilidad y Fertilizacion. S.D. Rosario, Argentina. August 8-11, 2004. p. 279-388.
- Hayek, M.G., Hanm S.N., Wum D., Watkins, B.A., Meydani, M., Dorsey, J.L., Smith, D.E., Meydani, S.N., 1999. Dietary conjugated linoleic acid influences the immune response of young and old C57BL/6N CrIbR mice. *J Nutr.* 129, 32-38.
- Hersom, M.J., 2008. Opportunities to enhance performance and efficiency through nutrient synchrony in forage-fed ruminants. *J. Anim. Sci.* 86, 306-317.
- Hogan J.P., Weston, R.H., 1969. The digestion of pasture plants by sheep. III. The digestion of forage oats varying in maturity and in the content of protein and soluble carbohydrate. *Aust. J. Agric. Res.* 20, 347-363.
- Horn, G.W., Cravey, M.D., McCollum, F.T., Strasia, C.A., Krenzer, Jr. E. G., Claypool, P.L., 1995. Influence of high-starch vs. high-fiber energy supplements on performance of stocker cattle grazing wheat pasture and subsequent feedlot performance. *J. Anim. Sci.* 73, 45-54.
- Horrocks, R.D., Vallentine, J.F., 1999. *Harvested Forages.* Academic Press, London, UK.
- InfoStat (2008). *InfoStat, versión 2008.* Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina

- Ingalls, J.R., Thomas, J.W., Tesar, M.B., 1965. Comparison of responses to various feeds by sheep, rabbit and heifers. *J. Anim. Sci.* 24, 1165-1168.
- Ip, C., 1997. Review of the effects of trans fatty acid, oleic acid, n-3 polyunsaturated fatty acids, and conjugated linoleic acid on mammary carcinogenesis in animals. *Am J Clin Nutr.* 66, 1523-1529.
- Jaurena, G., Vidart, S., Danelon, J.L., 1994. Tablas de composición de forrajes de la región Pampeana. Suplementación de vacunos, CREA, Cuaderno de Actualización Técnica N° 53: 81-91.
- John A., Ulyatt, M.J., 1987: Importance of dry matter content to voluntary intake of fresh grass forages. *Proc. New Zeal. Soc. Anim. Prod.* 47, 13-16.
- Jung, H.G., M.S. Allen., 1995. Characteristics of plant cell walls affecting intake and digestibility of forages by ruminants *J. Anim. Sci.* 73, 2774-2790.
- Jung, H.G., Mertens, D.R., Payne, A.J., 1997. Correlation of acid detergent lignin and Klason lignin with digestibility of forage dry matter and neutral detergent fiber. *J. Dairy Sci.* 80, 1622-1628.
- Kahlon, T.S., Chow, F.I., Knuckles, B.E., Chiu, M.M., 1993. Cholesterol lowering effects in hamsters of  $\beta$ -glucan-enriched barley fraction, dehulled whole barley, rice bran, and oat bran and their combinations. *Cereal Chem.* 70, 435-440.
- Kalra, S., Jood, S., 2000. Effect of dietary barley  $\beta$ -glucan on cholesterol and lipoprotein fractions in rats. *J. Cereal Sci.* 31, 141-145.
- Kelling, K.A., Fixen, P.E., 1992. Soil and nutrient requirements for oat production. In H.G. Marshall and M.E. Sorells, (eds.). *Oat science and technology*. American Society of Agronomy and Crop Science Society of America, Madison, WI, USA. p165-190.
- Kianian, S.F., Phillips, R.L., Rines, H.W., Fulcher, R.G., Webster, F.H., Stuthman, D.D., 2000. Quantitative trait loci influencing beta-glucan content in oat (*Avena sativa*,  $2n=6x=42$ ). *Theoretical and Appl. Genetics.* 101 (7), 1039-1048.
- Kim, Y.J., Liu, R.H., Bond, D.R., Russell, J.B., 2000. Effect of linoleic acid concentration on conjugated linoleic acid production by *Butyrivibrio fibrisolvens* A38. *Appl Environ Microbiol* 12, 5226-5230.
- Klopfenstein, C.F., 1988. The role of cereal beta-glucans in nutrition and health. *Cereal Foods World* 33, 883-886.

- Kohlerova, P., Beschin, A., Silerova, M., De Baetselier, P., Bilej, M., 2004. Effect of experimental microbial challenge on the expression of defense molecules in *Eisenia foetida* earthworm. *Dev. Comp. Immunol.* 8, 701-711.
- Kuehn, C.S., Jung, H.G., Linn, J.G., Martin, N.P., 1999. Characteristics of alfalfa hay quality grades based on relative feed value index. *J. Prod. Agric.* 12, 681-684.
- Lascano, C., 1979. Determinants of grazed forage voluntary intake in cattle. Tesis Ph.D. Texas, EE.UU., Texas College Station, Texas A & M University. 215 p.
- Leaver J.D., 1985. Milk production from grazed temperate grasslands. *J. Dairy Res.* 52, 313-344.
- Lee, J., Horsley, R.D., Manthey, F.A., Schwarz, P.B., 1997. Comparisons of  $\beta$ -Glucan Content of Barley and Oat. *Cereal Chem.* 74, 571-575.
- Lee, K.N., Kritschewky, D., Pariza, M.W., 1994. Conjugated linoleic acid and atherosclerosis in rabbits. *Atherosclerosis* 108, 19-25.
- Lemaire, G., Gastal, F., 1997. N uptake and distribution in plant canopies. In: Lemaire, G. (ed.) *Diagnosis of the nitrogen status in crops*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. pp. 3-43.
- Letchenberg, V.L., Holt, D.A., Youngberg, H.W., 1972. Diurnal variation in nonstructural carbohydrates of *Festuca arundinacea* (Schreb.) with and without N fertilizer. *Agron. J.* 64, 302-305.
- Linn, J.G., Martin, N.P., 1989. Forage quality tests and interpretation. Minnesota Ext. Serv. AG-FO-2637. Univ. of Minnesota, Saint Paul.
- Livingston, D.P., Premakumar, R., 2002. Apoplastic carbohydrates do not account for differences in freezing tolerance of two winter-oat cultivars that have been second phase cold-hardened. *Cereal Res. Commun.* 30,375-381.
- Maddaloni, J., Josifovich, J., Frutos, E., 1980. Cadenas alimentarias de invernada. Informe Tecnico N°166 . E.E.R.A. Pergamino.
- Maddoni, G.A., Marban, L., Gonzalez Montaner, J.H., 1995. Mineralización del nitrógeno del suelo en el cultivo de trigo: comparaciones entre métodos de campo, laboratorio e invernáculo. *Ciencia del suelo.* 13 (2), 52-59; 32.
- Maloney, T.S., Oplinger, E.S., Albrecht, K.A., 1999. Small grains for fall and spring forage. *J. Prod. Agric.* 12, 488-494.
- Manthey, F.A., Hareland, G.A., Huseby, D.J., 1999. Soluble and Insoluble Dietary Fiber Content and Composition in Oat. *Cereal Chem.* 76, 417-420.

- Marinissen, J., Arelovich, H.M., Martínez, M.F., Zilio, L., Ombrosi, D. 2004 a. Oats grain supplementation of calves grazing oats pasture. 1. Diet composition, liveweight gain and blood parameters. *Rev. Arg. Prod. Anim*, 24, 80-81.
- Marinissen, J., Arelovich, H.M., Gardner, B.A., Martínez, M.F., Ombrosi, D. 2004 b. Oats grain supplementation of calves grazing oats pasture. 2. Carcass characteristics. *Rev. Arg. Prod. Anim*, 24, 81-82.
- Marinissen, J., Arelovich, H.M., Martínez, M.F., Ombrosi, D., 2006. Beef lipidic composition of steers grazing oats supplemented with oats grain. *Rev. Arg. Prod. Anim*. 26, 43-44.
- Marinissen, J., 2007. Suplementación con grano de avena de terneros a pastoreo sobre un verdeo invernal. Parámetros productivos y calidad de carne. Tesis de Magister. Univesidad Nacional del sur. 76 pp.
- Marsh, R., 1975. A comparison between spring autumn pasture for beef cattle at equal grazing pressures. *J. Br. Grassld. Soc.* 30, 165-170.
- Mayland H.F., Grunes D.L., 1979. Soil-climate-plant relationships in the etiology of grass tetany. In: V.V. Rendig and D. L. Grunes (ed.) *Grass tetany. Spec. Publ.* 35, p. 123-175. Am. Soc. Agrom. Madison. W.I.
- McCleary B.V. and Glennie-Homes M., 1985. Enzymatic quantification of (1→3) (1→4)-β-D-glucan in barley and malt. *Journal of the Institute of Brewing* 91, 285-295.
- 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 and T. Abadie (eds). *Third South American Oats Congress*, pp. 1 - 2. Colonia, Uruguay, 11 - 12 November 1997.
- McDonald, P., Edwards, R.A., Greenhalgh, J.F.D., Morgan, C.A., 1995. *Animal Nutrition*. 5th Ed. Longman, Singapore. 607 pp.
- McGarel, A.S.L., White, E.M., 1997. Effect of disease control and plant growth regulator treatment on quality characteristics of spring oat cultivars. *Proceedings of the V International Oat Conference and VII International Barley Genetics Symposium*, Univeristy of Saskatchewan, Saskatoon, Sask., Jul. 30 . Aug. 6. Poster #29, 86-88.
- Méndez, D., Davies, P., 2003. Calidad del forraje y bajas ganancias de peso otoñales. INTA EEA General Villegas, Argentina. En: *3º Jornada demostrativa Invierno al verdeo*. pp 7-9.

- Meyer, D., Zwingelberg, H., 1981. Untersuchungen zur Verwendung von ländischem Hafer in der Schälmlügerei. *Getreide Mehl Brot* 35, 230-234.
- Miller, C.C., Park, Y., Pariza, M.W., Cook, M.E., 1994. Feeding conjugated linoleic acid to animal partially overcomes catabolic responses due to endotoxin injectio. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 198, 1107-1112.
- Möckel F.E., Cantamutto, M.A. Gaido, E., Gullace, G., 1984. Efecto de las lluvias en el momento de la cosecha (lavado) sobre características físicas, químicas y reológicas del grano de trigo. *Rev. Fac. Agron., UBA*, 5, 1-6.
- Moore-Colyer, R.J., 1995. Oats and oat production in history and pre-history. Pages 1-33. In R.W. Welch (ed.). *The oat crop: Production and utilization*. Chapman & Hall, New York, NY, USA.
- Moreira N (1989). The effect of seed rate and nitrogen fertilizer on the yield nutritive value of oat-vetch mixture. *J. Agric. Sci.* 112, 57-66.
- Mulvihill, B., 2001. Ruminant meat as a source of conjugated linoleic acid (CLA). *Nutrition Bulletin*, 26, 295-299.
- Newman, R.K., Newman, C.W., Graham, H., 1989. The hypocholesteromic function of barley  $\beta$ -glucans. *Cereal Foods World* 34, 883-886.
- Nielsen, K.F., Halstead, R.L., Maclean, A.J., Holmes, R.M., Bourget, S.J., 1960. The influence of soil temperature on the growth and mineral composition of oats. *Can. J. Soil Sci.* 40, 255-263.
- Novak, M., Vetvicka, V., 2009. Glucans as biological response modifiers. *Endocrine, Metabolic & Immune Disorders* 9, 67-75.
- NRC, 1987. *Predicting feed intake of food-producing animals*. National Research Council. Washington D.C.
- NRC, 1996. *Nutrient Requirements of Beef Cattle. Seventh Revised Edition: Subcommittee on Beef Cattle Nutrition. Committee on Animal Nutrition, National Research Council*. Washington D.C.
- NRC, 2001. *Nutrient requirements of dairy cattle. 7th revised ed.* National Academy Press, Washington, DC, USA.
- Ørskov, E.R., 1982. *Protein nutrition in ruminants*. Academic Press. New York.
- Ørskov, E.R., 1986. Starch digestion and utilization in ruminants. *J. Anim. Sci.* 63, 1624-1633.

- O'Fallon J.V., Busboom J.R., Nelson M.L., Gaskins, C.T., 2007. A direct method for fatty acid methyl ester synthesis: Application to wet meat tissues, oils and feedstuffs. *J. Anim. Sci.* 85, 1511-1521.
- Odoardi M., Francia E., Pecchioni N., Li Destri Nicosia O., Paoletta G., Taibi L., Franco V., Stanca A.M., Delogu G., 2008. "Diomede", a winter barley for dual-purpose in comparison to oats in a Mediterranean environment. *Options Méditerranéennes. Serie A N° 81*, 407-409.
- Opatpatanakit, Y., Kellaway, R.C., Lean, I.J., Annison, G., Kirby, A., 1995. Effects of cereal grains on fibre digestion in vivo. *Aust. J. Agric. Res.* 46, 403-413.
- Orr R.J., Rutter, S.M., Penning, P.D., Yarrow, N.H., Atkinson, L.D., Champion, R.A., 1998: Matching grass supply to grazing patterns for dairy cows under stripgrazing management. *Proc. Br. Soc. Anim. Sci.*, 49.
- Osoro, M., Cebrian, M., 1989. Digestibility of energy and grass energy intake in fresh pastures. *G. F. Sci.* 44, 41-46.
- Otal, J., Martinez, M., Quiles, A., Perez\_Sempere J.I., Ramirez, A., Fuentes F., Hevia M.L., 2008. Effect of Location, Year and Variety on Winter Cereal Forage Yield and Quality in the Southern Plateau of the Spain *Asian-Australasian J of Anim. Sci.* 21, 1416-1424.
- Owens, V.N., Albrecht, K.A., Muck, R.E., Duke, S.H., 1999. Protein degradation and fermentation characteristics of red clover and alfalfa silage harvested with varying levels of total nonstructural carbohydrates. *Crop Sci.* 39,1873-1880.
- Pariza, M.W., Park, Y., Cook, M.E., 2000. Mechanisms of action of conjugated linoleic acid: evidence and speculation. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* 223, 8-13.
- Pariza, M.W., Park, Y., Cook, M.E., 2001. The biologically active isomers of conjugated linoleic acid. *Prog Lipid Res.* 40, 283-298.
- Peterson , D.M., 1992. Composition and nutritional characteristics of oat grain and products. Pages 265-292 in H.G. Marshall and M.E. Sorells (eds.). *Oat science and technology.* American Society of Agronomy and Crop Science Society of America, Madison, WI, USA.
- Peterson, D.M., Schrader, L.E., 1974. Growth and nitrate assimilation in oats as influenced by temperature. *Crop Sci.* 14, 857-861.
- Peterson, D.M., Wesenberg, D.M., Burrup, D.E., Erickson, C.A., 2005. Relationship among agronomic traits and grain composition in oat genotypes grown in different environments. *Crop Sci.* 45, 1249-1255.

- Peterson, D.M., Wesenberg, D.M., Burrup, D.E., Erickson, C.A., 2005. Relationship among agronomic traits and grain composition in oat genotypes grown in different environments. *Crop Sci.* 45, 1249–1255
- Petit, H. V., Alary, S., 1999. Milk yield and composition of dairy cows fed concentrate based on naked oats. *J. Dairy Sci.* 82, 1004-1007.
- Pettersson, A., Lindberg, J.E., Thomke, S., Eggum, B.O., 1996. Nutrient digestibility and protein quality of oats differing in chemical composition evaluated in rats and by an in vitro technique. *Anim. Feed Sci. Technol.* 62, 203–213.
- Peyraud J.L., Astigarraga, L., 1998: Review of the effect of nitrogen fertilization on the chemical composition, intake, digestion and nutritive value of fresh herbage: consequences on animal nutrition and N balance. *Anim. Feed Sci. Technol.* 72, 235-259.
- Polidoro O., García, R., Annone, J.G., Calzolari, A., 2004. Efecto de factores ambientales y sanitarios que afectan el peso hectolítrico del grano de trigo (*Triticum aestivum* L.). En: VI Congreso Nacional de Trigo y VI Simposio Nac. de Cereales de Siembra Otoño Invernal. p. 306 y 307
- Pordomingo, A.J., Juan, N.A., Pordomingo, A.B., 2007. Relación entre el aumento de peso de novillos sobre verdes de invierno y parámetros de calidad del verdeo (Comunicación). *Rev. Arg. Prod. Anim.*, 27, 83-84.
- Pordomingo, A.J., Quiroga, A., Jonas, O., Santucho, G., Otamendi, H., Azcárate, M. P., Buffa, H.G., Rolheiser, D.O., Albertario, P. D., 2002. Producción y calidad de verdes de invierno en siembra directa. *Boletín de divulgación técnica* N° 73 – INTA. 155 pp.
- Poulson, C.S., Dhiman, T.R., Ure, A.L., Comforth, D., Olson, K. C., 2004. Conjugated linoleic acid content of beef from cattle fed diets containing high grain, CLA, or raised on forages. *Livest. Prod. Sci.* 91, 117-128.
- Quinn, P.J., 1990. Mechanisms of action of some immunomodulators used in veterinary medicine. *Adv. Veter. Sci. Comp. Med.* 35, 43-99.
- Quiroga, A.; Ormeño, O. 1997. Fertilización en verdes de invierno. *Rev. Crea* N° 197, 66-69.
- Rebuffo, M., 1997. Oat use and production in Uruguay. In M. Rebuffo and T. Abadie (eds). *Proceedings of the Third South American Oats Congress*, pp. 25 - 28. INIA La Estanzuela, Colonia, Uruguay, 11 - 12 November 1997.

- Reeves, M., Fulkerson, W.J., Kellaway, R.C., 1996. Forage quality of kikuyu (*Pennisetum clandestinum*): the effect of time of defoliation and nitrogen fertilizer application and in comparison with perennial ryegrass (*Lolium perenne*). *Aust. J. Agric. Res.* 47, 1349-1359.
- Rhymer, C., Ames, N., Malcomson, L., Brown, D., Duguid, S., 2005. Effects of genotype and environment on the starch properties and end-product quality of oats. *Cereal Chem.* 82, 197–203.
- Rosso, O.R., de Verde, S.C., 1992. Oats: Forage Production and the Utilization in Cattle feeding. Balcarce, Argentina, *Agr. Exp. Sta. Tech. Bull. No. 109*. p. 3-27 Balcarce, Argentina.
- Rowe, J.B., May, P.J., Crosbie, G.B., 2001. Knowing your oats. *Recent Adv. Anim. Nutri. Aust.* 13, 211-221.
- Royo, C., 1999. Plant recovery and grain-yield formation in barley and triticale following forage removal at two cutting stages. *J. Agron. Crop Sci.* 182, 175–183.
- Royo, C., Lopez, A., Serra, J., Tribó, F., 1997. Effect of sowing date and cutting stage on yield and quality of irrigated barley and triticale used for forage and grain. *J. Agron. Crop Sci.* 179, 227–234.
- Saastamoinen, M. 1998. Effects of environmental factors on grain yield and quality of oats (*Avena sativa* L.) cultivated in Finland. *Acta Agriculturae Scandinavica. Section B, Soil and Plant Science*, 48, 129-137.
- Saastamoinen, M., Kumpulainen, J., Nummela, S. and Hakkinen, U., 1990. Effect of temperature on oil content and fatty acid composition of oat grains. *Acta Agriculturae Scandinavica.*, 40, 349-356.
- Saastamoinen, M., Kumpulainen, J., Nummela, S., 1989. Genetic and environmental variation in oil content and fatty acid composition of oats. *Cereal Chem.* 66, 296-300.
- SAGPyA 2008. Estimaciones Agrícolas. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación. Buenos Aires, Argentina. <http://www.sagpya.mecon.gov.ar>.
- Sahasrabudhe, M.R., 1979. Lipid composition of oats (*Avena sativa* L.). *J. Amer. Oil Chem. Soc.* 56, 80-84.
- Schricket, D.J., Burrows, V.D., Ingemansen, J.A., 1992. Harvesting, storing, and feeding of oat. Pages 223-245 in H.G. Marshall and M.E. Sorells (eds.). *Oat science and technology*. American Society of Agronomy and Crop Science Society of America, Madison, WI, USA.

- Shultz, T.D., Chew, B.P., Seaman, W., Leudecke, L.O., 1992. Inhibitory effect of conjugated linoleic acid and beta-carotene on the in Vitro Growth of Human cancer cells. *Cancer Lett.* 63, 125-133.
- Silva D.J., Queiroz A.C., 2002. Determinação dos carboidratos Solúveis. En UFV (Ed.). *Análise de Alimentos. Métodos Químicos e Biológicos.* Viçosa Brasil PP 143-147.
- Simmons, S.R., 1987. Growth, development and physiology. In: E. G. Heyne (Ed.) *Wheat and Wheat Improvement (2nd Ed.)*. ASA, CSSA and SSA, Madison, WI.
- Smith, D. 1975. Influence of temperature on growth of Froker oats for forage. II. Concentrations and yields of chemical constituents. *Can. J. Plant Sci.* 55, 897–901.
- Smith, D., 1974. Influence of temperature on growth of Froker oats for forage. I. Dry matter yields and growth rates. *Can. J. Plant Sci.* 54, 725–730.
- Soil Survey Staff, 2003, Official soil series descriptions: U.S Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE, accessed June 4, 2003 at URL <http://soils.usda.gov/technical/classification/osd/index.html>.
- Soltys J, Quinn M T. Modulation of endotoxin- and enterotoxin-induced cytokine release by in vivo treatment with beta-(1,6)-branched beta-(1,3)-glucan. *Infect Immun.* 1999;**67**:244–252.
- Sorrells, M.E. Simmons, S.R., 1992. Influence of environment on the development and adaptation of oat. Pages 115-164 in H.G. Marshall and M.E. Sorells (eds.). *Oat science and technology.* American Society of Agronomy and Crop Science Society of America, Madison, WI, USA.
- Steinhart, C., 1996. Conjugated linoleic acid the good news about animal fat. *J. Chem. Educ.* 73, A302.
- Stoskopf, N.C., 1985. *Cereal grain crops.* Reston Publishing Company, Reston, VA, USA.
- Sugano, M., Tsujita, A., Yamasaki, M., Noguchi, M., Yamada, K., 1998. Conjugated linoleic acid modulates tissue levels of chemical mediator and immune globulins in rats. *Lipids* 33, 521-527.
- Terry, R.A., Tilley, J.M.A., 1964. The digestibility of the leaves and items of perennial ryegrass, cocksfoot, Timothy, tall fescue, Lucerne and sainfoin, as measured by in vitro procedure. *J. Br. Grassl. Soc.* 19, 363-372.

- Theurer, B.C., 1986. Grain processing effects on starch utilization by ruminants. *J. Anim. Sci.* 63, 1649-1662.
- Thompson, R. K. 2001. Evaluation of ammonia treatment as a method of improving fiber digestion of oat hulls for ruminants. M.Sc. Thesis, University of Saskatchewan, Saskatoon, SK. 117 pp.
- Tomaso, J.C., y C.A Bucar. 1994. Programa de mejoramiento de avena en Bordenave. p. 19-21. Second South American Oats Congress, PortoAlegre/Passo Fundo, Rio Grande do Sul, Brasil. 30 de octubre a 5 de noviembre de 1994. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria, Passo Fundo, Rio Grande do Sul, Brasil.
- Torp, J. Doll, H., Haahr, V., 1981. Genotypic and environmental influence upon the nutritional composition of barley grain. *Euphytica*, 30, 719-728.
- USDA., 2010. Foreign Agricultural Service. Production Estimates Division – Grain. U.S. Dept. Agric. , Washington, D.C.
- Valentine, J., Bakewell, E., Welch, R.W., 1994. Exploitation of the genetic potential of oats for use in feed and human nutrition (second report). AFRC Inst.Grass. and Envir. Res., Plas Gogerddan, Aberystwyth, UK. HGCA Project Report 88, 22 pp.
- Valentine, J., Charles, A.H., 1979. The association of dry-matter yield with nitrogen and soluble-carbohydrate concentration in perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) *J. Agric. Sci. Camb.* 93, 657-667.
- Van Soest P.J., Robertson J.B., Lewis B.A., 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci* 74, 3583-3597.
- Van Soest, P. J. 1994. *Nutritional Ecology of the Ruminant* (2nd Ed.). Cornell University Press, Ithaca, NY.
- Van Vuuren, A.M., Tamminga, S., Ketelaar, R.S., 1990. Ruminant availability of nitrogen and carbohydrates from fresh and preserved herbage in dairy cows. *Netherlands J. Agric. Sci.* 38, 499-512.
- Verité, R., Journet, M., 1970. Influence de la teneur en eau et de la déshydratation de l'herbe sur sa valeur alimentaire pour les vaches laitières. *Ann. Zootech.* 10, 269-277.
- Visonneau, S., Cesano, A., Tepper, S.A., Scimeca, J.A., Santoli, D., Kritchevsky, D., 1997. Conjugated linoleic Acid suppresses the growth of human breast adenocarcinoma cells in SCID Mice. *Anticancer Res.* 17, 969-973.

- Vogel, K.P., D.A. Sleper., 1994. Alteration of plants via genetics and plant breeding. P.891-921. In C.G. Fahey, Jr. (ed.). Forage quality, evaluation and utilization. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI.
- Vough, L.R., Morris Decker, A., Taylor, T.H., 1995. Forage Establishment and renovation. In Barnes R. F., Miller, D.A and Nelson, C.J. (Eds.). Forages Vol II: The Science of Grassland Agriculture. Iowa State University Press. Ames, Iowa, USA. 357 pp.
- Waite, R., Boyd, J., 1953. The water-soluble carbohydrates of grasses. I – Changes occurring during the normal life-cycle. J. Agric. Sci. Camb. 74, 457-462.
- Waldo D.R., Goering H.K., 1979. Insolubility of protein in ruminant feeds by four methods. J. Anim. Sci. 49, 1560-1568.
- Wang, S., 2004. Fodder oats in China. In J. M. Suttie and S. G. Reynolds (eds) Fodder Oats: a world overview. pp. 123-143. Plant Production and Protection Series, No. 33, FAO, Rome.
- Wehrhahne, L., 2005. Nuevas variedades de avena. AgroBarrow N° 32. En: <http://www.inta.gov.ar/barrow/info/documentos/agrobarrow32/agrobarrow32.htm>
- Wehrhahne, L., Carbajo, H., 1997. Oat breeding at Barrow Research Station. p. 135-139. In Third South American Oats Congress, La Estanzuela, Colonia, Uruguay. 11-12 de noviembre de 1997. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, Colonia, Uruguay
- Wehrhahne, L.N., 2009. Evaluación de parámetros de calidad molinera de avenas en Argentina. Tesis de Magister Universidad Nacional del Sur.
- Wehrhahne, N.L., Seghezzo M.L., Molfese E.R., 2007. Protein and oil in Argentinian oats. Abstracts 1 Conferencia Latinoamericana ICC 2007. p. 191 y CD. Rosario
- Weiss, W.P., 1994. Pages 644-681 In Forage Quality, Evaluation, and Utilization. ASA, CSSA and SSSA, Madison, WI, USA.
- Welch, R. W., Leggett, J. M., 1997. Nitrogen content, oil content and oil composition of oat cultivars (*A. sativa*) and wild *Avena* species in relation to nitrogen fertility, yield and partitioning of assimilates. Journal of Cereal Sci. 26, 105-120.
- Welch, R.W., 1995. The chemical composition of oats. In: Welch, R.W. (Ed.), The Oat Crop – Production and Utilization. Chapman and Hall, London pp 279–320.
- Welch, R.W., Howard, M.V. and Jones, D.I.H., 1983. The composition of oat husk and its variation due to genetic and other factors. J. Sci. Food and Agri. 34, 417-426.

- Wheeler, J.L., 1981. Complementing Grassland with Forage Crops. In F. H. W. Morley (ed.) *Grazing Animals*. World Anim. Sci. B1, Elsevier, New York. p.239.
- Wilman, D., Altimini, M.A:K., 1984. The *in vitro* digestibility and chemical composition of plant parts in white clover, red clover and Lucerne during primary growth. *J. Sci. Food Agric.* 35, 133-138.
- Wilman, D., 1970. The effect of nitrogenous fertilizer on the rate of growth of Italian ryegrass. 2. Growth up to 10 weeks: dry-matter yield and digestibility. *J. Br. Grassl. Soc.* 25, 154-161.
- Wood, P.J., 1991. Oat  $\beta$ -glucan-physicochemical properties and physiological effects. *Trends in Food Science & Technology* 2, 311–314.
- Wood, P.J., Braaten, J.T., Scott, F.W., Riedel, K.D., Wolynetz, M.S., Collings, M.W., 1994. Effect of dose and modification of viscous properties of oat gum on plasma glucose and insulin following an oral glucose load. *British Journal of Nutrition* 72, 731–743.
- Wood, P.J., Weisz, J., Fedec, P., 1991. Potential for  $\beta$ -glucan enrichment in brans derived from oat (*Avena sativa* L.) cultivars of different (1-3), (1-4)- $\beta$ -D-glucan concentrations. *Cereal Chem.* 68, 48-51.
- Wright, M.J., Davinson, K.L., 1964. Nitrate accumulation in crops and nitrate poisoning in animals. *Adv. Agron.* 16, 197-247.
- Wu GL (2007). The status of oat in the course of sustainable development of stockbreeding in alpine meadow. *J. Herbage Feed* 1, 10-12.
- Wulfes, r., Myam, P., Korhner,A., 1999. Modeling non-structural carbohydrates in forage grasses with weather data. *Agric. Syst.* 61, 1-16.
- Yang FL, Hu ZZ (1991). The yield of oat artificial grassland nutrient and the conversion efficiency for solar energy at alpine district. *Acta Agrestia Sin.* 1, 106-111.
- Yemm E. W., Willis A. J., 1954. The estimation of Carbohydrates in Plant Extracts by Anthrone. *Biochem J.* 57(3),508–514.
- Youngs, V.L., 1986. Oat lipids and lipid-related enzymes. In F.H. Webster (ed.). *Oats: Chemistry and technology*. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN. p. 205–226.
- Yu, L., 2001. Free radical scavenging properties of conjugated linoleic acid. *J Agric Food Chem.* 49, 3452-3456.
- Yurawecz, M.P., Roach, J.A., Sehat, N., Mossoba, M.M., Kramer, J.K., Fristsche, J., Steinhart, H., and ku, K., 1998. A new conjugated linoleic acid isomers, 7 trans, 9

cis-octadecadienoic acid, in cow milk, cheese, beef and human milk and adipose tissue. *Lipids* 33, 803-809.

Zamora Villa, V.M., Lozano del Río, A.J., López Benítez, A., Reyes Valdés, M.H., Díaz Solís, H., Martínez Reyna, J.M., Fuentes Rodríguez, J.M., 2002. Clasificación de triticales forrajeros por rendimiento de materia seca y calidad nutritiva en dos localidades de Coahuila. *Téc. Pecu. Méx.* 40, 229-242.

Zanoniani, R.A., Ducamp, F., Bruni, M.A., 2003. Utilización de verdes de invierno en sistemas de producción animal. En [http://www.produccion-animal.com.ar/produccion\\_y\\_manejo\\_pasturas/pasturas\\_cultivadas\\_verdeos\\_invierno/66-verdeos.htm](http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas_cultivadas_verdeos_invierno/66-verdeos.htm)

Zhang, A., Chen, Z.Y., 1997. Oxidative stability of conjugated linoleic acid relative to the other polyunsaturated fatty acid. *J Am. Oil Chem. Soc.* 74, 1611-1613.

Zhang, Y.S., Zhou, X.M., Wang, Q.J., 1998. A preliminary analysis of production performance of Oat at alpine meadow pasture. *Acta Agrestia Sin.* 6, 115-123.

Zhou, M., Robards, K., Glennie-Holmes, M., Helliwell, S., 1999. Oat lipids: a review. *JAOCS*, 79, 585-592.

## ANEXO

## 1. Tablas de datos climáticos correspondientes a los años de experimentación

Tabla 1. Datos climáticos correspondientes a los años de experimentación.

| Mes | Precipitaciones (mm) |      |      | Temperatura Máxima (°C) |      |      | Temperatura Mínima (°C) |      |      | Heladas |      |
|-----|----------------------|------|------|-------------------------|------|------|-------------------------|------|------|---------|------|
|     | 2004                 | 2005 | MH   | 2004                    | 2005 | MH   | 2004                    | 2005 | MH   | 2004    | 2005 |
| ENE | 70,4                 | 25,8 | 67,0 | 34,2                    | 29,6 | 30,9 | 16,0                    | 13,9 | 16,1 | 0       | 0    |
| FEB | 43,0                 | 67,0 | 65,0 | 27,6                    | 29,3 | 29,2 | 12,3                    | 15,8 | 15,1 | 0       | 0    |
| MAR | 64,6                 | 41,8 | 74,0 | 30,0                    | 26,8 | 26,5 | 14,6                    | 11,6 | 13,0 | 0       | 0    |
| ABR | 102,2                | 28,8 | 62,0 | 22,0                    | 22,0 | 21,8 | 10,8                    | 7,2  | 9,1  | 0       | 0    |
| MAY | 3,8                  | 17,6 | 39,0 | 15,8                    | 18,0 | 17,3 | 3,2                     | 5,6  | 6,0  | 4       | 4    |
| JUN | 8,6                  | 21,0 | 31,0 | 15,7                    | 13,9 | 13,8 | 4,8                     | 3,7  | 3,0  | 2       | 6    |
| JUL | 85,2                 | 26,0 | 32,0 | 13,6                    | 13,8 | 13,6 | 3,7                     | 3,3  | 2,1  | 8       | 7    |
| AGO | 26,4                 | 28,8 | 32,0 | 14,7                    | 14,5 | 16,7 | 4,0                     | 4,2  | 4,5  | 6       | 5    |
| SEP | 26,0                 | 44,4 | 48,0 | 18,6                    | 17,9 | 18,2 | 5,4                     | 4,7  | 5,5  | 7       | 6    |
| OCT | 69,0                 | 16,0 | 69,0 | 20,2                    | 21,7 | 22,1 | 7,6                     | 6,4  | 8,2  | 0       | 2    |
| NOV | 56,2                 | 57,2 | 64,0 | 23,4                    | 26,3 | 25,9 | 10,1                    | 11,6 | 11,0 | 0       | 1    |
| DIC | 264                  | 48,6 | 67,0 | 28,0                    | 27,5 | 29,5 | 14,7                    | 11,9 | 15,0 | 0       | 0    |

MH: Media histórica (Precipitaciones: 1958/2005; Temperaturas: 1981/2000)

Tabla 2. Precipitaciones acumuladas, temperaturas medias y cantidad de días con heladas en diferentes momentos del ensayo.

|                   | 2004    |         |           | 2005    |         |           |
|-------------------|---------|---------|-----------|---------|---------|-----------|
|                   | Meses   | Precip. | T° media  | Meses   | Precip. | T° media  |
| 1° Corte          | Mar-Abr | 166,8   | 19,3 (0)  | Mar-May | 88,2    | 15,2 (4)  |
| 2° Corte          | May-Jun | 12,4    | 9,9 (6)   | Jun-Jul | 47,0    | 8,7 (13)  |
| Cosecha DP        | Jul-Nov | 262,8   | 12,1 (21) | Ago-Nov | 146,4   | 13,4 (14) |
| Cosecha GC        | Jul-Nov | 262,8   | 12,1 (21) | Jul-Nov | 172,4   | 12,5 (21) |
| Presiembra verdeo | Ene-Feb | 113,4   | 22,5 (0)  | Ene-Feb | 92,8    | 22,2 (0)  |
| Presiembra grano  | Abr-May | 106,0   | 12,9 (4)  | Abr-May | 46,4    | 13,2 (4)  |

Precip: precipitaciones (mm); T° media: temperatura media (°C); Ente paréntesis cantidad de días con heladas

## 2. Listado de trabajos presentados a congresos

- Martínez, M.F., Arelovich, H.M., Bravo, R.D., 2010. Caracterización de genotipos de avena para forraje por variables de interés nutricional (Comunicación). 33° Congreso Argentino de Producción Animal. Viedma (R.N.). Rev. Arg. Prod. Anim, 30 (Sup1): 317-318
- Martínez, M.F., Arelovich, H.M., Wehrhahne, L., Bravo, R.D. (2008). Influencia del genotipo en el valor nutritivo del grano de avena. 31° Congreso Argentino de Producción Animal. Potrero de los Funes. Rev. Arg. Prod. Anim., 28 (Supl 1): 45-46.
- Martínez, M. F., Arelovich, H. M., Wehrhahne, L. 2007. Composición química del forraje en cultivares de *Avena sativa*. 30° Congreso Argentino de Producción Animal. Santiago del Estero. Rev. Arg. Prod. Anim., 27 (Supl 1): 125-126.
- Martínez, M. F., Arelovich, H. M., Wehrhahne, L., Torrea, M. B., Marinissen J. 2006. Acumulación de forraje y rendimiento de grano en cultivares de *Avena sativa*. 29° Congreso Argentino de Producción Animal. Mar del Plata. Rev. Arg. Prod. Anim, 26 (Sup1): 180-182.
- Martínez, M. F., Arelovich, H. M., Wehrhahne, L., Laborde, H. E., Torrea, M. B., Oyola J. 2005. Evaluación de cultivares de Avena sativa. 1. Productividad forrajera y rendimiento de grano. 28° Congreso Argentino de Producción Animal. Bahía Blanca. Rev. Arg. Prod. Anim, 25 (Sup1): 162-163
- Martínez, M. F., Arelovich, H. M., Wehrhahne, L., Laborde, H. E., Torrea, M. B., Oyola J. 2005. Evaluación de cultivares de Avena sativa. 2. composición química de la materia seca del forraje. 28° Congreso Argentino de Producción Animal. Bahía Blanca. Rev. Arg. Prod. Anim, 25 (Sup1): 163-164.

## 3. Trabajos publicados respecto a la tesis

- Martinez, M.F., Arelovich, H.M., Wehrhahne, L.N., 2010. Grain yield, nutrient content and lipid profile of oat genotypes grown in a semiarid Environment. Field Crops. Res. 116, 92-100.