

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES



TRABAJO FINAL DE CARRERA

“Variabilidad en el contenido de gluten en una colección internacional de
genotipos de trigo”

Carrera: Ingeniería Agronómica.

Alumno: Berrueta Waldo Andrés.

Legajo: 26314/6.

DNI: 35.100.717.

E-mail: berruetawaldoandres@gmail.com.

Directora: Dra. Ing. Agr. Ana Carolina Castro.

Co-directora: Dra. Ing. Agr. María Rosa Simón.

Fecha: 04 de Junio de 2019.

ÍNDICE

RESUMEN.....	3
INTRODUCCIÓN.....	3
Clasificación de las proteínas de la harina de trigo.....	6
Estructura del gluten	9
HIPÓTESIS	10
OBJETIVO GENERAL	10
OBJETIVO ESPECÍFICO	10
MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
Tabla 3. Genotipos de trigo utilizados y su origen.	12
RESULTADOS	13
Tabla 4. Análisis de varianza del gluten húmedo en una colección de trigos de origen internacional en 2017.....	15
Tabla 5. Contenido de gluten húmedo (%) en una colección de trigos de origen internacional en 2017.....	16
Tabla 6. Análisis de varianza del gluten seco en una colección de trigos de origen internacional en 2017.....	17
Tabla 7. Contenido de gluten seco (%) en una colección de trigos de origen internacional en 2017.....	17
DISCUSIÓN.....	20
CONCLUSIONES	22
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	23
ANEXO DE FOTOS.....	27

RESUMEN

El trigo (*Triticum aestivum* L.) es uno de los tres cereales de mayor producción mundial, junto con el arroz y el maíz y es considerado un producto panificable, destinado a la alimentación humana. La calidad del trigo es esencial para definir el destino industrial que tendrá la harina obtenida. La exigencia de la industria de la panificación y las amplias preferencias de los consumidores demandan diferentes calidades de productos. El mejoramiento de la calidad en trigo puede ser una estrategia interesante para acceder a nichos de mercado con sobreprecios que mejoren la rentabilidad del cultivo. La hipótesis planteada es que existe una amplia variabilidad genotípica para contenido de gluten en una colección internacional de trigo y es posible seleccionar genotipos destacados. El objetivo es contribuir al mejoramiento genético de la calidad del trigo a través de la identificación de genotipos sobresalientes en cantidad de gluten en una colección de 110 genotipos de trigo internacional. Se condujo un ensayo en la EEJH (FCAyF-UNLP) con 110 genotipos de trigo primaverales de una colección internacional previamente mapeada con marcadores moleculares con dos repeticiones. Se determinó el contenido de gluten húmedo y seco con Glutomatic 2200 y se analizaron los resultados mediante análisis de varianza. Los resultados obtenidos reflejan diferencias estadísticamente significativas entre los genotipos evaluados. La media para contenido de gluten húmedo fue de 29,6 % y para gluten seco 10,7 %. Las variedades botánicas destacadas fueron *Triticum aestivum* L. var. *aestivum*, *Triticum aestivum* L. var. *lutescens*, *Triticum aestivum* L. var. *ferrugineum*, presentando genotipos con valores de gluten sobresalientes y con un promedio superior a la media.

INTRODUCCIÓN

El trigo (*Triticum aestivum* L.) pertenece a la familia de las gramíneas y es uno de los tres cereales de mayor producción mundial junto con el arroz y el maíz. Además, es el más consumido por el hombre en la civilización occidental desde la antigüedad. En el mundo, el trigo es considerado principalmente como un producto panificable, destinado a la alimentación humana (Barberis, 2014).

Para el año 2050, se prevé que la población mundial alcanzará casi los 9.700 millones de habitantes (Jiménez Domínguez, 2010). Este crecimiento poblacional es acompañado por otro fenómeno ya que hace 35 años, más del 60 % de la población vivía en zonas rurales y desde entonces, el equilibrio urbano-rural ha cambiado notablemente. Hoy, poco más de la mitad de la población mundial (54 %) es urbana. Para el 2050, más de dos tercios de todas las personas podrían vivir en zonas urbanas (ONU, 2015). La urbanización creciente modifica los patrones de consumo de alimentos aumentando la demanda de alimentos procesados (FAO, 2017) en los cuales el trigo participa en alta proporción.

En el año 2016 se destinaron 220.107.551 hectáreas (ha) al cultivo, alcanzando una cosecha de 749.460.077 toneladas (t) con un rendimiento promedio de 3,4 t/ha. Como puede observarse en la Figura 1, la producción crece de manera sostenida en cada

año en base a mayores rendimientos, ya que se observa una reducción de la superficie desde el año 1982 (FAO, 2018). Asia y Europa son los continentes líderes en la producción del cereal, concentrando entre ambos el 74,4 % de la misma a nivel mundial. En el mismo período analizado, América participó con el 19,4 %. África y Oceanía sólo representaron el 6,1 %.

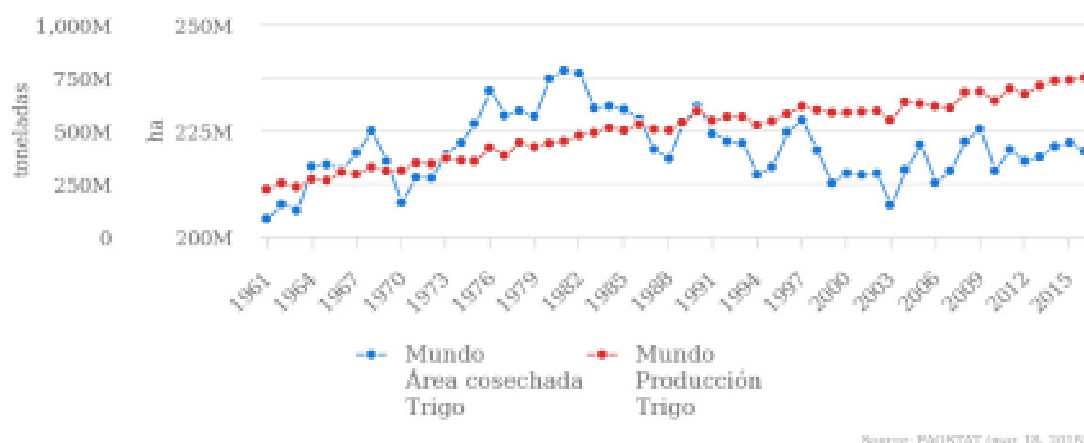


Figura 1. Superficie (ha) y producción (t) mundial de trigo para el periodo 1961-2015. Fuente: FAO, 2018.

El uso del trigo como alimento, resulta el principal impulsor del crecimiento de la utilización total de este cereal y es el responsable de que éste pueda aumentar de 485 Mt en 2014 a 536 Mt en 2024. A su vez se espera que el consumo humano de trigo y sus derivados se mantenga en una proporción estable de 68 % del total como hasta ahora, el resto de su utilización será como forraje y en la producción de biocombustibles (OCDE/FAO, 2015). En Argentina, la producción estimada se encuentra en 18,5 millones de t, la molienda en 6,2 millones de t, exportaciones en 11,7 millones de t y existencias finales en 1,42 millones de t. Actualmente, nuestros principales destinos son Brasil (1,74 millones de t), Argelia (1,26 millones de t), Tailandia (704.000 t), Indonesia (663.000 t), Bangladesh (471.000 t), entre otros más (El Cronista, 2018).

Como país productor, debe competir con Canadá - que es el productor de trigo de mayor calidad del mundo -, con EE.UU., Australia y la Unión Europea, que clasifican su producción en diferentes clases y tipos según la aptitud de uso final, ofreciendo diversidad y garantía de calidad (Celentano y Montero, 2004). La CONASE (Comité de Cereales de Invierno), categoriza anualmente las variedades de trigo pan presentadas a inscripción según su calidad. La clasificación divide en 3 grupos de calidad distintos (GC1, GC2 y GC3), siendo las variedades pertenecientes al GC1 las de mejor calidad panadera y las del GC3 las de calidad más pobre (Abbate, 2014). Los genotipos de GC1 son trigos de alta calidad panadera, correctores de otros de inferior calidad, indicados para el método de panificación industrial. Los del GC2 son trigos de muy buena calidad panadera adecuados para la panificación tradicional, con tiempos de

fermentación superiores a 8 hs, mientras que los del GC3 se caracterizan por ser trigos de buen rendimiento, pero de mediana a baja calidad panadera, indicados para el método de panificación directa con tiempos de fermentación inferiores a 8 hs (Cuniberti, 2003). El mejoramiento de la calidad en trigo puede ser una estrategia interesante para acceder a nichos de mercado con sobrepuestos que mejoren la rentabilidad del cultivo. Para definir calidad es necesario ubicarse en algún eslabón de la cadena agroalimentaria del trigo. Desde esta perspectiva, la calidad es la capacidad que tiene el producto de satisfacer las necesidades de los consumidores o usuarios del mismo.

Para el productor agropecuario (eslabón primario de la cadena), un trigo de calidad será aquel que le permita alcanzar altos rendimientos y mayores márgenes de ganancia. Para la industria molinera, las propiedades evaluadas serán, por ejemplo, rendimiento en la molienda, peso de mil granos, cenizas en grano entero, etc. Desde el punto de vista de la calidad panadera, los atributos más importantes a tener en cuenta son el contenido de proteínas del trigo, gluten húmedo, propiedades reológicas de las masas medidas por alveógrafo, farinógrafo y ensayo de panificación (Celentano y Montero, 2004).

Asimismo, la calidad del grano de trigo es esencial para definir el destino panadero o industrial que tendrá la harina obtenida. Las proteínas de los granos de trigo se pueden dividir en dos grandes grupos: las formadoras de gluten y aquellas que no lo forman. Las primeras se denominan proteínas de almacenamiento o reserva y constituyen alrededor del 75-80 % del total. Entre las proteínas no formadoras de gluten, que representan el 20-25 % del contenido total, se encuentran la mayoría de las enzimas (Gómez Pallarés *et al.*, 2007). Con respecto a la calidad panadera, el gluten se correlaciona con la concentración de proteína que determina el valor nutricional y está formado por las gliadinas que aportan extensibilidad y las gluteninas que aportan tenacidad y elasticidad (MacRitchie, 1994) confiriéndole a la masa las características viscoso-elásticas, que permiten la elaboración de panificados. Tanto la concentración de proteína como de gluten están fuertemente influenciadas por el ambiente y el genotipo, ya que son caracteres cuantitativos que se componen de numerosas características individuales. La mayoría de estas características se heredan en forma poligénica y su manifestación depende de las condiciones ambientales y de las prácticas agronómicas realizadas como la fertilización nitrogenada.

Para el productor y acopiador, la proteína es importante ya que incide en el precio del grano al formar parte del estándar de comercialización, con bonificaciones y descuentos por encima o por debajo de la base de comercialización del 11 %. En cambio, al molinero le interesa el contenido de gluten más que la proteína y eso se debe a que la proteína puede estar desnaturalizada por un almacenaje inadecuado o por secado del grano a altas temperaturas, haciendo que no formen gluten (Cuniberti, 2001). De allí que el gluten pasó a ser un parámetro clave en la comercialización interna.

La proteína tiene su origen en el nitrógeno inorgánico del suelo, natural o químico, que se transforma luego en nitrógeno orgánico en el grano. Por eso es muy importante realizar fertilizaciones en siembra-macollaje, que es el mejor momento para mejorar rendimiento y calidad a la vez. Aplicaciones en prefloración o floración plena no siempre tienen respuesta a proteína, ya que depende mucho del ambiente (Cuniberti, 1996).

La proteína es un estimador rápido y aproximado, no exacto, de la cantidad de gluten probable en una muestra de trigo. Es así como la relación gluten/proteína es muy demandada, de manera que, conociendo la cantidad de proteína, se puede estimar el gluten que puede tener una muestra. Esa relación es variable dependiendo del año, la región, el ambiente y el cultivar. Sin embargo, en trigo la cantidad de gluten y de proteína no siempre están directamente asociados a la calidad, ya que altos contenidos de proteína y/o gluten podrían no estar indicando buen comportamiento en la fuerza panadera (W), debido a la influencia de otros factores genéticos en la expresión de la calidad.

La composición de proteínas del gluten se encuentra en gran medida determinada genéticamente. Es por ello que en países donde el trigo se comercializa teniendo en cuenta la calidad como rubro, se premia a los granos con mayor contenido proteico, pero también se incluye la separación de variedades en distintos grupos de calidad, teniendo en cuenta la calidad de sus proteínas.

Clasificación de las proteínas de la harina de trigo

Las proteínas de la harina de trigo pueden clasificarse con base en: solubilidad y funcionalidad.

Clasificación de las proteínas de trigo con base en su solubilidad

Esta clasificación fue desarrollada por Osborne (1924) y consiste en una serie de extracciones consecutivas con: agua, solución de sal diluida, solución de alcohol y solución de ácidos o álcalis diluidos. Usando esta secuencia de separación, las proteínas se pueden clasificar en albúminas, globulinas, gliadinas y gluteninas respectivamente. Una fracción importante de proteínas se excluye de las fracciones de Osborne porque no son extraíbles con ninguno de los disolventes utilizados. Las fracciones de Osborne no proporcionan una clara separación entre las proteínas para poder diferenciarlas bioquímicamente, genéticamente o en funcionalidad durante la elaboración de pan. Actualmente los nombres gliadinas y gluteninas son generalmente usados para indicar la relación bioquímica/funcionalidad de las proteínas en lugar de la exclusiva solubilidad de la fracción de Osborne. Este fraccionamiento se usa todavía extensamente en estudios que relacionan la composición de proteínas con su funcionalidad, en la elaboración de pan. Además, debido a que este método de separación es relativamente simple, a menudo es muy usado como una etapa de separación inicial para obtener fracciones semipuras de proteína. La Tabla 1, muestra las proteínas presentes en las diferentes fracciones, entre ellas las formadoras de gluten, además de su papel biológico y funcional (Goesaert *et al.*, 2005).

Tabla 1. Proteínas presentes en las fracciones de Osborne.

Fracción Osborne	Comportamiento en solubilidad	Composición	Papel Biológico	Papel Funcional
Albúminas	Extraíbles en agua	Proteínas no formadoras de gluten (principalmente monoméricas)	Proteínas estructurales y metabólicas	Variable
Globulinas	Extraíbles en sales diluidas	Proteínas no formadoras de gluten (principalmente monoméricas)	Proteínas estructurales y metabólicas	Variable
Gliadinas	Extraíbles en soluciones de alcohol	Proteínas del gluten (principalmente gliadinas monoméricas y polímeros de glutenina de bajo peso molecular)	Proteínas de almacenamiento de la semilla tipo prolaminas	Viscosidad a la masa/ extensibilidad
Gluteninas	Extraíbles en ácido acético diluido	Proteínas del gluten (principalmente polímeros de glutenina de alto peso molecular)	Proteínas de almacenamiento de la semilla tipo prolaminas	Elasticidad a la masa/ tenacidad
Residuo	Sin extraer	Proteínas del gluten (polímeros de alto peso molecular) y proteínas no del gluten poliméricas (triticinas)	Proteínas de almacenamiento de la semilla, tipo prolamina (gluten) y tipo globulinas (triticinas)	Variable

Clasificación de las proteínas de trigo con base en su funcionalidad

Desde el punto de vista de la funcionalidad de las proteínas, se pueden distinguir dos grupos de proteínas de trigo. Proteínas pertenecientes al gluten con un desempeño muy importante en la elaboración del pan y proteínas no pertenecientes al gluten, con un desempeño secundario en la elaboración del pan. Las proteínas no pertenecientes al gluten representan entre un 15-20 % del total de las proteínas del trigo, principalmente se encuentran en las capas externas del grano y en bajas

concentraciones en el endospermo. La Tabla 2, muestra la clasificación de las proteínas con base en su funcionalidad.

Estas proteínas son extraídas en soluciones de sales diluidas y por lo tanto se encuentran en las fracciones de Osborne de albúminas y globulinas. En su mayor parte son proteínas monoméricas, estructurales o fisiológicamente activas (enzimas). No obstante, a estas proteínas también pertenecen un grupo secundario de proteínas poliméricas de almacenamiento, llamadas tritricinas, que pertenecen a la clase globulinas de las proteínas de almacenamiento de la semilla. Están relacionadas con la mayoría de las proteínas de almacenamiento de legumbres y en otros cereales, como la avena y el arroz (Shewry *et. al.*, 1995). Estas proteínas se han encontrado en el residuo que queda después del fraccionamiento de Osborne. Su papel en la formación de pan no está muy claro (Veraverbeke y Delcour, 2002). Las proteínas del gluten representan entre un 80-85 % del total de las proteínas del trigo, representando la mayor parte de las proteínas de almacenamiento. Pertenecen a la clase de prolaminas (Shewry *et. al.*, 1995). Las proteínas del gluten se encuentran en el endospermo del grano de trigo maduro donde forman una matriz continua alrededor de los gránulos de almidón. Las proteínas de gluten son en gran parte insolubles en agua o en soluciones de sales diluidas. Pueden distinguirse dos grupos funcionalmente distintos de proteínas de gluten: gliadinas que son monoméricas y gluteninas que son poliméricas y estas últimas se subclasifican en extraíbles y no extraíbles.

Tabla 2. Clasificación de las proteínas de la harina de trigo con base en su funcionalidad.

Clasificación de acuerdo a su funcionalidad	Ubicación en el grano	% en la harina de trigo	Proteínas monoméricas	Proteínas poliméricas
Proteínas no pertenecientes al gluten	Principalmente en las capas externas del grano de trigo y en muy bajas concentraciones en el endospermo	15-20 %	Albúminas	Triticinas
			Globulinas	
Proteínas pertenecientes al gluten	En el endospermo del grano de trigo	80-85 %	Gliadinas	Gluteninas

Propiedades funcionales de las proteínas de la harina de trigo

Las proteínas de la harina de trigo, específicamente las proteínas del gluten le confieren a la masa una funcionalidad única que la diferencia del resto de las harinas de otros cereales, la masa de harina de trigo se comporta desde el punto de vista reológico como un fluido viscoelástico, esta propiedad hace que la masa sea elástica y extensible. En la etapa de mezclado se desarrolla la malla de gluten, los cambios

reológicos que ocurren en esta etapa son monitoreados por medio de un reómetro llamado farinógrafo. Con el alveógrafo y el extensógrafo se realizan otras pruebas reológicas a la masa. Los ensayos reológicos son muy empleados en la industria, ya que de los resultados que se obtienen, permiten clasificar a las harinas de trigo en tres grupos principalmente: para panificación, para la elaboración de pastas y para la elaboración de galletas. Dada la importancia que se tiene por conocer las propiedades reológicas de la harina de trigo, se describe la información que se obtiene de los reómetros.

Estructura del gluten

Las proteínas que integran el gluten se encuentran localizadas en cuerpos proteicos en el endosperma del grano; durante el amasado se produce la ruptura de estos cuerpos y su hidratación, formando una red tridimensional continua en donde se encuentra embebido el almidón. Las interacciones de tipo covalentes y no covalentes entre los polipéptidos más grandes que forman la masa producen una matriz elástica y extensible. El gluten es una mezcla compleja de proteínas que varían en su proporción, estructura y propiedades.

A pesar de los numerosos estudios realizados sobre la estructura de las proteínas del gluten y la base molecular existente, su rol en el procesamiento del pan no es totalmente comprendido (Shewry *et al.*, 2001, Wang *et al.*, 2016). Las subunidades de gluteninas de alto peso molecular están presentes en forma de polímeros (macropolímero de gluteninas). La importancia de tales polímeros en la viscoelasticidad del gluten ha sido apreciada durante muchos años, aunque su tamaño, complejidad y baja solubilidad limita el estudio detallado. La importancia de los puentes disulfuro en estabilizar estos polímeros ha sido extensamente demostrada. Hay evidencia de la formación de puentes disulfuro intermoleculares entre gluteninas de alto peso molecular, y de éstas con LMW-GS (Shewry y Tatham, 1997; Kasarda, 1999).

Los enlaces disulfuro son entonces considerados esenciales para la viscoelasticidad del gluten. Sin embargo, entre las proteínas del gluten se supone que hay gran cantidad de puentes de hidrógeno debido a la alta proporción de glutamina y prolina. Otro aporte importante son las interacciones hidrofóbicas, ya que aproximadamente el 35 % de los aminoácidos poseen cadenas laterales de naturaleza polar (Hoseney, 1994).

Las gluteninas de alto peso molecular forman la columna vertebral del polímero; estas HMW-GS se encuentran unidas entre sí a través de puentes disulfuro intermoleculares ubicados en los extremos. Esta columna vertebral de gluteninas de alto peso molecular sirve de base para que se unan a ella las subunidades de bajo peso molecular (LMW-GS) mediante puentes disulfuro formando puntos de ramificación. Las gliadinas, consideradas tradicionalmente por contribuir a la viscosidad del gluten, interactúan principalmente con los polímeros de gluteninas mediante interacciones no covalentes. Interacciones puentes de hidrógeno ocurren probablemente entre las amidas de los residuos de glutamina presentes en el dominio

central HMW-GS. Estas interacciones son muy importantes porque contribuyen a la viscoelasticidad de la masa (Ewart, 1989; Jeffrey y Saenger, 1994; Belton, 1999).

En resumen, la calidad de una harina que permita desarrollar un gluten con buenas propiedades viscoelásticas va a depender del tipo y la cantidad de gluteninas y gliadinas que posee y de la capacidad de estas proteínas de formar enlaces intermoleculares mediante puentes disulfuro. En este sentido, promover un mayor grado de entrecruzamiento en la red polimérica podría traducirse en mejores características reológicas de las masas. Las harinas que presentan una mayor proporción de gluteninas son más fuertes y tenaces, mientras que las harinas que presentan una mayor proporción de gliadinas son más viscosas y extensibles, las harinas con una relación balanceada de gliadinas y gluteninas presentan una fuerza media y son utilizadas para panadería, las harinas que presentan una mayor proporción de gluteninas se utilizan para elaborar pastas y las harinas que presentan una mayor proporción de gliadinas se utilizan para elaborar galletas (De La Vega Ruiz, 2009).

La exigencia de la industria de la panificación y las amplias preferencias de los consumidores demandan diferentes calidades para la obtención de productos tales como panes, galletitas, tartas, cereales para el desayuno, crackers, pastas, etc. (Kerfal *et al.*, 2010). Como resultado de esto, los programas de mejoramiento genético han incluido “la calidad del grano de trigo” como un objetivo primordial en las investigaciones (Bushuk, 1998; Donaire *et al.*, 2010; Lombardo *et al.*, 2011; Cuniberti *et al.*, 2011; Cuniberti, 2014), siendo el contenido de gluten fundamental para dicha calidad.

Considerando lo antes mencionado, encontrar variabilidad para contenido de gluten y seleccionar genotipos con altos valores, resulta esencial en programas de mejoramiento, lo que da lugar a la hipótesis de este trabajo.

HIPÓTESIS

Existe una amplia variabilidad genotípica para contenido de gluten en una colección internacional de trigo y es posible seleccionar genotipos destacados.

OBJETIVO GENERAL

Contribuir al mejoramiento genético del trigo a través de la identificación de genotipos sobresalientes en contenido de gluten en una colección internacional de 110 genotipos de trigo.

OBJETIVO ESPECÍFICO

Determinar el contenido de gluten húmedo y seco en cada uno de los genotipos evaluados.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se condujo en la Estación Experimental Julio Hirschhorn de Los Hornos, perteneciente a la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata (EEJH-FCAyF-UNLP). Se utilizó un diseño en bloques al azar con 110 genotipos de trigo primaverales (Tabla 3) de una colección internacional previamente mapeada con marcadores moleculares con dos repeticiones. La colección de genotipos primaverales con caracteres contrastantes fue obtenida de una colección más amplia que incluía también trigos invernales seleccionados de 32 países del German Federal ex situ Genebank, Gatersleben, Alemania.

La preparación de la cama de siembra consistió en un esquema de labranza convencional con utilización de disco, rastra y rolo, así como de un barbecho químico, el cual estuvo constituido por una aplicación en pre-siembra con Glifosato. Durante el ciclo del cultivo se realizó una aplicación en post-emergencia temprana de Misil® 100 cm³/ha + 5 g/ha (Dicamba 48 % - Metsulfurón Metil 60 %).

La siembra se realizó en el mes de Junio y se llevó a cabo utilizando una sembradora experimental, con una distancia entre hileras de 20 cm y una densidad de 250 plantas/m². Cada parcela presentó un largo de 3,40 m y un ancho de 1,40 m (4,8 m²). La cosecha se realizó de manera manual con hoz en tres segmentos de 1 metro lineal por parcela.

En el laboratorio, se limpiaron todas las muestras, descartando materias extrañas. Se determinó la humedad inicial del trigo y considerando este valor, se calculó la cantidad de agua necesaria para acondicionar la muestra para lograr 15,5 % de humedad final. La muestra así acondicionada permaneció durante 24 h en reposo. En el transcurso de este período se agitó la muestra para impedir que los granos se pegaran a las paredes del recipiente y homogeneizar la humedad.

Para la determinación de gluten húmedo (GH), el ensayo se realizó por duplicado, utilizando el equipo Glutomatic 2200. Se colocaron 10 g de harina y 4,9 ml de agua destilada en cada vaso. La temperatura del agua de lavado debe ser de 24 °C (IRAM 15864-1). Luego de pasar por la centrifuga para eliminar el exceso de humedad, se pesó el gluten húmedo con balanza analítica precisa y el dato obtenido se multiplicó por 10, expresando el resultado al décimo. Para obtener el gluten seco (GS) se colocaron los dos bollitos de gluten (uno de cada vaso) en el Glutork (equipo de secado) y se dejó 4 min 30 s. Por último, se pesó el gluten seco y se multiplicó por 10, expresando el resultado al décimo.

$$GH = \text{Peso del gluten húmedo} \times (100 - 14,0) / (100 - \text{humedad de referencia}).$$

$$GS = \text{Peso del gluten seco} \times (100 - 14,0) / (100 - \text{humedad de referencia}).$$

Las diferencias en las variables entre los genotipos se analizaron mediante análisis de varianza (ANAVA) con el programa estadístico GenStat 12 Ed. (VSN, 2009) y las medias se compararon mediante test LSD ($P < 0,05$). El genotipo 58 *Triticum aestivum* L. var. *lutescens* (Chile) no ligó, por lo tanto, su valor de gluten fue cero, motivo por el

cual no se incluyó en el ANAVA. Se graficaron los tratamientos y bloques para comprobar la aditividad del modelo. Se realizaron pruebas de normalidad (gráficos QQ y Shapiro Wilks) y de homogeneidad de varianzas (Bartlett).

Tabla 3. Genotipos de trigo utilizados y su origen.

Nº	Código	Nombre	Variedad botánica	Origen	Nº	Código	Nombre	Variedad botánica	Origen
1	TRI 403	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>lutescens</i>	EE.UU.	58	TRI 4549	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>lutescens</i>	Chile
2	TRI 2513	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>lutescens</i>	China	59	TRI 4551	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>leucospermum</i>	Chile
3	TRI 2619	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>suberythrospes</i>	Nepal	60	TRI 4563	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>milturum</i>	Italia
4	TRI 2656	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>milturum</i>	India	61	TRI 4919	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>graecum</i>	Austria
5	TRI 2679	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>aestivum</i>	India	62	TRI 4940	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>aestivum</i>	EE.UU.
6	TRI 2835	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>meridionale</i>	Afghanistan	63	TRI 4942	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>ferrugineum</i>	EE.UU.
7	TRI 2889	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>lutescens</i>	Nepal	64	TRI 4943	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>lutescens</i>	Suecia
8	TRI 3126	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>milturum</i>	Portugal	65	TRI 5262	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>lutescens</i>	Estonia
9	TRI 3244	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>lutescens</i>	EE.UU.	66	TRI 5304	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>ferrugineum</i>	Francia
10	TRI 3438	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>ferrugineum</i>	Alemania	67	TRI 5310	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>aestivum</i>	Argentina
11	TRI 3477	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>lutescens</i>	Nueva Zelanda	68	TRI 5315	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>ferrugineum</i>	Argentina
12	TRI 3492	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>desconocido</i>	Nepal	69	TRI 5325	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>ferrugineum</i>	EE.UU.
13	TRI 3511	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>lutescens</i>	Portugal	70	TRI 5332	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>ferrugineum</i>	España
14	TRI 3515	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>lutescens</i>	Reino Unido	71	TRI 5333	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>ferrugineum</i>	Alemania
15	TRI 3526	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>lutescens</i>	Portugal	72	TRI 5342	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>aestivum</i>	Reino Unido
16	TRI 3564	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>ferrugineum</i>	Portugal	73	TRI 5357	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>aestivum</i>	Bulgaria
17	TRI 3569	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>lutescens</i>	Uruguay	74	TRI 5386	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>aestivum</i>	España
18	TRI 3570	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>aestivum</i>	India	75	TRI 5425	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>aestivum</i>	Suecia
19	TRI 3631	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>lutescens</i>	Canadá	76	TRI 5426	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>ferrugineum</i>	EE.UU.
20	TRI 3633	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>lutescens</i>	Canadá	77	TRI 5438	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>aestivum</i>	Irán
21	TRI 3664	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>lutescens</i>	Alemania	79	TRI 5603	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>aestivum</i>	Irán
22	TRI 3831	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>ferrugineum</i>	Portugal	81	TRI 5653	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>aestivum</i>	Irán
23	TRI 3839	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>ferrugineum</i>	Francia	82	TRI 5692	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>aestivum</i>	Irán
24	TRI 3842	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>milturum</i>	Portugal	84	TRI 5984	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>delfi</i>	Irán
25	TRI 3874	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>milturum</i>	Italia	85	TRI 6094	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>subgraecum</i>	Irán
26	TRI 3881	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>ferrugineum</i>	Italia	86	TRI 6108	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>graecum</i>	Irán
27	TRI 3895	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>aureum</i>	Francia	87	TRI 6129	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>graecum</i>	Irán
28	TRI 3925	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>aestivum</i>	Uruguay	88	TRI 6148	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>aestivum</i>	Irán
29	TRI 3926	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>aestivum</i>	Uruguay	89	TRI 10296	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>aestivum</i>	México
30	TRI 3929	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>pyrothrix</i>	China	90	TRI 10297	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>aestivum</i>	Brasil

31	TRI 3931	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>subhostianum</i>	China	92	TRI 10311	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>aestivum</i>	Japón
32	TRI 3955	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>desconocido</i>	Nepal	93	TRI 10336	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>variable</i>	China
33	TRI 3964	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>nigricans</i>	Nepal	94	TRI 10338	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>hostianum</i>	China
34	TRI 3987	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>pyrothrix</i>	India	95	TRI 10340	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>leucospermum</i>	China
35	TRI 4013	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>aestivum</i>	Italia	96	TRI 10591	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>aestivum</i>	Chipre
36	TRI 4041	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>ferrugineum</i>	Canadá	97	TRI 10593	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>murinumcompactoides</i>	Chipre
37	TRI 4042	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>lutescens</i>	China	98	TRI 10620	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>murinumcompactoides</i>	Chipre
38	TRI 4056	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>villosum</i>	India	99	TRI 10625	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>aestivum</i>	Chipre
39	TRI 4081	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>ferrugineum</i>	Portugal	100	TRI 10654	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>ferrugineum</i>	Chipre
40	TRI 4112	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>fulvocinereum</i>	Afghanistan	102	TRI 10688	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>aestivum</i>	Grecia
41	TRI 4113	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>ferrugineum</i>	Afghanistan	103	TRI 10692	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>ferrugineum</i>	Grecia
42	TRI 4116	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>aureum</i>	Italia	104	TRI 10693	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>aestivum</i>	Grecia
43	TRI 4117	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>aestivum</i>	Italia	105	TRI 10697	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>ferrugineum</i>	Grecia
44	TRI 4118	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>aestivum</i>	Italia	106	TRI 10702	<i>T. species</i>	<i>(population)</i>	Desconocido
47	TRI 4126	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>milturum</i>	Italia	107	TRI 10703	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>lutescens</i>	Grecia
48	TRI 4130	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>milturum</i>	Italia	108	TRI 10704	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>lutescens</i>	Grecia
49	TRI 4141	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>aestivum</i>	Italia	109	TRI 10705	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>aestivum</i>	Grecia
50	TRI 4144	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>aestivum</i>	Italia	110	TRI 10707	<i>T. species</i>	<i>(population)</i>	Desconocido
51	TRI 4145	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>aestivum</i>	Italia	111	TRI 10709	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>aestivum</i>	Grecia
52	TRI 4148	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>aestivum</i>	Italia	112	TRI 10710	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>lutescens</i>	Grecia
53	TRI 4149	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>ferrugineum</i>	Italia	113	TRI 10780	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>aestivum</i>	Grecia
54	TRI 4171	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>aestivum</i>	Italia	114	TRI 10781	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>lutescens</i>	Grecia
55	TRI 4540	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>melanopogon</i>	Rusia	115	TRI 10785	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>aestivum</i>	Grecia
56	TRI 4545	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>aestivum</i>	Austria	116	TRI 11020	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>lutescens</i>	EE.UU.
57	TRI 4547	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>milturum</i>	Chile	117	TRI 11082	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>lutescens</i>	Alemania

RESULTADOS

El análisis de varianza para gluten húmedo (Tabla 4) y para gluten seco (Tabla 6) demostró diferencias estadísticamente significativas entre los genotipos evaluados. Para ambas variables se comprobó gráficamente la aditividad del modelo. Para gluten húmedo la prueba de Shapiro Wilks dio un valor de $P=0,159$ y para GS $P=0,06$, en tanto que la prueba de Bartlett dio para GH $P=0,511$ y para GS $P=0,26$. Los gráficos QQ sugirieron también la normalidad de los residuos, por lo que no se realizaron transformaciones. El valor promedio de gluten húmedo fue de 29,6 % y el de gluten seco 10,7 %. Se graficó el número de genotipos según rangos de porcentaje de gluten húmedo obtenido (Figura 2). De esto surge que, de los 110 genotipos analizados, 85 superan el 25 % en contenido de gluten húmedo, representando el 77,3 %.

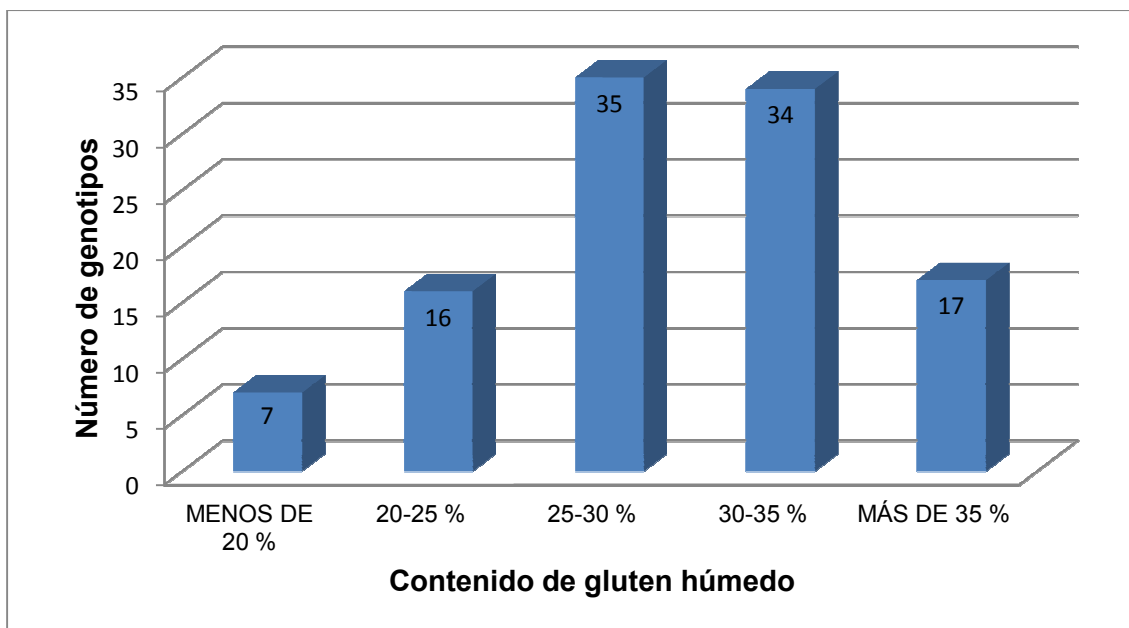


Figura 2. Número de genotipos según contenido de gluten húmedo.

El análisis de los valores de GH considerando el test LSD permitió diferenciar estadísticamente a grupos de genotipos con valores bajos y valores altos de GH. Se mencionan a continuación solo aquellos genotipos que por su valor establecieron grupos (líneas de corte) diferentes destacándose del resto y en la Tabla 5 se presentan todos los genotipos con las letras que indican las diferencias estadísticas.

El genotipo con el valor más alto de gluten fue el 108 *Triticum aestivum* L. var. *lutescens* (Grecia) 49,49 %, seguido por el 26 *Triticum aestivum* L. var. *ferrugineum* (Italia) 42,33 %, 74 *Triticum aestivum* L. var. *aestivum* (España) 40,65 %, 11 *Triticum aestivum* L. var. *lutescens* (Nueva Zelanda) 40,02 %, 98 *Triticum aestivum* L. var. *murinumcompactoides* (Chipre) 39,97 %, 103 *Triticum aestivum* L. var. *ferrugineum* (Grecia) 39,51 % y 66 *Triticum aestivum* L. var. *ferrugineum* (Francia) 38,59 %, que a su vez no se diferenciaron significativamente de varios otros. En tanto que los genotipos con contenidos más bajos de gluten fueron el 59 *Triticum aestivum* L. var. *leucospermum* (Chile) 16,06 % y el 92 *Triticum aestivum* L. var. *aestivum* (Japón) 16,87 %, seguidos por el 111 *Triticum aestivum* L. var. *aestivum* (Grecia) 18,18 % y 4 *Triticum aestivum* L. var. *milturum* (India) 18,55 %. Los genotipos que presentaron valores de alrededor del 25 % fueron el 68 *Triticum aestivum* L. var. *ferrugineum* (Argentina) 24,68 %, 64 *Triticum aestivum* L. var. *lutescens* (Suecia) 25,06 %, 41 *Triticum aestivum* L. var. *ferrugineum* (Afghanistan) 25,06 % y, 37 *Triticum aestivum* L. var. *lutescens* (China) 25,13 %. Los genotipos que presentaron los valores más bajos fueron el 92 *Triticum aestivum* L. var. *aestivum* (Japón) 16,87 %, el 59 *Triticum aestivum* L. var. *leucospermum* (Chile) 16,06 %.

Del mismo modo, el análisis de los valores de GS considerando el test LSD permitió diferenciar estadísticamente a grupos de genotipos con valores bajos y valores altos. Se mencionan a continuación solo aquellos genotipos que por su valor establecieron

grupos diferentes destacándose del resto y en la Tabla 7 se presentan todos los genotipos con las letras que indican las diferencias estadísticas.

El genotipo de mayor valor fue el 108 *Triticum aestivum* L. var. *lutescens* (Grecia) 17,91 %, seguido por el 98 *Triticum aestivum* L. var. *murinum compactoides* (Chipre) 15,05 %, 26 *Triticum aestivum* L. var. *ferrugineum* (Italia) 14,98 %, 11 *Triticum aestivum* L. var. *lutescens* (Nueva Zelanda) 14,10 % y 100 *Triticum aestivum* L. var. *ferrugineum* (Chipre) 13,91 %, que a su vez no difirieron de varios otros. En tanto los valores más bajos correspondieron al 92 *Triticum aestivum* L. var. *aestivum* (Japón) 6,11 %, 59 *Triticum aestivum* L. var. *leucospermum* (Chile) 6,17 %, 4 *Triticum aestivum* L. var. *milturum* (India) 6,69 %, 53 *Triticum aestivum* L. var. *ferrugineum* (Italia) 7,23 %, 44 *Triticum aestivum* L. var. *aestivum* (Italia) 7,32 % y 111 *Triticum aestivum* L. var. *aestivum* (Grecia) 7,33 % que a su vez no difirieron de varios otros.

Los genotipos de otras variedades botánicas con valores de GH a considerar por sus altos valores son, 48 *Triticum aestivum* L. var. *milturum* (Italia) 33,35 %, 6 *Triticum aestivum* L. var. *meridionale* (Afghanistan) 33,31 %, 38 *Triticum aestivum* L. var. *villosum* (India) 33,09 %, 42 *Triticum aestivum* L. var. *aureum* (Italia) 33,05 %, 86 *Triticum aestivum* L. var. *graecum* (Irán) 32,42 %, 31 *Triticum aestivum* L. var. *subhostianum* (China) 31,92 %.

Las variedades botánicas destacadas fueron *Triticum aestivum* L. var. *aestivum*, *Triticum aestivum* L. var. *lutescens*, *Triticum aestivum* L. var. *ferrugineum*, demostrando buena estabilidad en los diferentes genotipos con un promedio de gluten superior a la media. La Figura 3 muestra los resultados de *Triticum aestivum* L. var. *ferrugineum*, promedio de 32 %; los genotipos destacados fueron: 26 (Italia) 42,33 %; 103 (Grecia) 39,51 %; 66 (Francia) 38,59 %. La Figura 4 muestra los resultados de *Triticum aestivum* L. var. *aestivum*, promedio 29,1 %; los genotipos destacados fueron: 74 (España) 40,65 %; 52 (Italia) 37,87 %; 99 (Chipre) 37,41 %. La Figura 5 muestra los resultados de *Triticum aestivum* L. var. *lutescens*, promedio de 29,2 % sin tener en cuenta al genotipo 58 cuyo valor fue cero; los genotipos destacados fueron 108 (Grecia) 49,49 %; 11 (Nueva Zelanda) 40 %; 19 (Canadá) 36,01 %.

Analizando los orígenes de los genotipos (Tabla 8) se observa que los provenientes de Chipre (35,9 %) y Grecia (31,8 %), presentan el mayor contenido de GH, luego le siguen con poca diferencia entre ellos, Italia, Nepal, Portugal y EE.UU. presentando alrededor de 30 % de GH. Con menor promedio se encuentran Irán, China e India.

Tabla 4. Análisis de varianza del gluten húmedo en una colección de trigos de origen internacional en 2017.

Fuente de variación	Grados Libertad	Suma Cuadrados	Cuadrados Medios	F prob.
Repetición	1	0,449	0,449	
Genotipo	108	7263,247	67,252	<0,001
Error	108	237,745	2,201	
Total	217	7501,441		

Tabla 5. Contenido de gluten húmedo (%) en una colección de trigos de origen internacional en 2017.

Genotipo	1	2	3	4	5	6
	24,32 gh	19,96 i	27,55 fg	18,55 ij	25,77 gh	33,31 de
Genotipo	7	8	9	10	11	12
	25,60 gh	30,59 ef	24,26 gh	32,69 de	40,02 bc	36,92 cd
Genotipo	13	14	15	16	17	18
	32,25 ef	33,95 de	32,69 de	27,14 fg	37,09 cd	28,54 fg
Genotipo	19	20	21	22	23	24
	36,01 cd	33,61 de	21,39 hi	30,21 ef	36,87 cd	24,33 gh
Genotipo	25	26	27	28	29	30
	28,49 fg	42,33 b	27,48 fg	33,26 de	29,56 ef	28,97 fg
Genotipo	31	32	33	34	35	36
	31,92 ef	33,55 de	27,69 fg	22,98 h	33,42 de	27,55 fg
Genotipo	37	38	39	40	41	42
	25,13 gh	33,09 de	32,91 de	28,61 fg	25,06 gh	33,05 de
Genotipo	43	44	47	48	49	50
	31,19 ef	20,27 hi	31,83 ef	33,35 de	23,10 h	33,06 de
Genotipo	51	52	53	54	55	56
	26,68 fg	37,87 cd	19,82 i	29,80 ef	26,57 fg	22,35 hi
Genotipo	57	59	60	61	62	63
	21,96 hi	16,06 j	29,70 ef	29,43 f	32,56 de	31,25 ef
Genotipo	64	65	66	67	68	69
	25,06 gh	19,97 i	38,59 c	32,45 e	24,68 gh	33,20 de
Genotipo	70	71	72	73	74	75
	31,99 ef	23,23 h	30,39 ef	24,56 gh	40,65 bc	23,50 gh
Genotipo	76	77	79	81	82	84
	35,45 d	28,73 fg	28,46 fg	29,08 fg	28,02 fg	24,16 gh

Genotipo	85	86	87	88	89	90
	28,12 fg	32,42 e	28,12 fg	29,14 fg	29,69 ef	29,66 ef
Genotipo	92	93	94	95	96	97
	16,87 j	30,07 ef	28,21 fg	30,96 ef	31,39 ef	32,24 ef
Genotipo	98	99	100	102	103	104
	39,97 bc	37,41 cd	38,23 cd	31,82 ef	39,51 bc	30,90 ef
Genotipo	105	106	107	108	109	110
	37,08 cd	31,46 ef	26,28 g	49,49 a	35,53 d	23,60 gh
Genotipo	111	112	113	114	115	116
	18,18 ij	27,06 fg	26,91 fg	30,48 ef	28,76 fg	27,40 fg
Genotipo	117					
	20,96 hi					

Las letras diferentes entre genotipos indican diferencias estadísticamente significativas $P < 0,05$, $LSD = 2,94$.

Tabla 6. Análisis de varianza del gluten seco en una colección de trigos de origen internacional en 2017.

Fuente de variación	Grados Libertad	Suma Cuadrados	Cuadrados Medios	F prob.
Repetición	1	0,4060	0,4060	
Genotipo	108	808,2882	7,4841	<0,001
Error	108	41,2725	0,3822	
Total	217	849,9667		

Tabla 7. Contenido de gluten seco (%) en una colección de trigos de origen internacional en 2017.

Genotipo	1	2	3	4	5	6	7
	9,14 gf	7,71 gh	9,73 gf	6,69 ih	9,41 gf	11,76 ed	9,47 gf
Genotipo	8	9	10	11	12	13	14
	11,18 ef	9,25 gf	12,11 ed	14,10 bc	13,41 cd	11,19 e	12,33 ed
Genotipo	15	16	17	18	19	20	21
	11,42 ed	10,02 ef	13,13 cd	11,86 ed	13,32 cd	12,00 ed	8,05 gh

Genotipo	22	23	24	25	26	27	28
	10,13 ef	13,01 cd	9,01 gf	10,16 ef	14,98 bc	9,94 ef	11,36 ed
Genotipo	29	30	31	32	33	34	35
	10,75 ef	10,37 ef	11,59 ed	12,07 ed	9,08 gf	8,37 gh	11,78 ed
Genotipo	36	37	38	39	40	41	42
	9,73 gf	9,42 gf	11,84 ed	12,20 ed	9,79 gf	9,10 gf	11,41 ed
Genotipo	43	44	47	48	49	50	51
	10,98 ef	7,32 ih	11,05 ef	11,57 ed	10,55 ef	11,63 ed	9,49 gf
Genotipo	52	53	54	55	56	57	59
	13,06 cd	7,23 ih	10,13 ef	9,66 gf	8,42 gh	8,13 gh	6,17 ih
Genotipo	60	61	62	63	64	65	66
	10,08 ef	10,61 ef	11,46 ed	11,02 ef	9,29 gf	7,37 h	13,55 cd
Genotipo	67	68	69	70	71	72	73
	11,88 ed	8,94 gf	11,29 ed	11,81 ed	10,25 ef	10,77 ef	8,96 gf
Genotipo	74	75	76	77	79	81	82
	13,77 c	9,50 gf	12,45 d	10,69 ef	10,34 ef	10,29 ef	9,92 ef
Genotipo	84	85	86	87	88	89	90
	9,30 gf	9,84 f	11,67 ed	9,84 f	10,09 ef	10,82 ef	10,81 ef
Genotipo	92	93	94	95	96	97	98
	6,11 i	11,08 ef	10,50 ef	11,81 ed	10,20 ef	12,27 ed	15,05 b
Genotipo	99	100	102	103	104	105	106
	12,95 cd	13,91 bc	11,26 ed	13,76 c	10,48 ef	12,68 cd	11,18 ef
Genotipo	107	108	109	110	111	112	113
	9,77 gf	17,91 a	12,79 cd	8,61 g	7,33 ih	10,90 ef	9,90 ef
Genotipo	114	115	116	117			
	10,72 ef	10,91 ef	10,00 ef	8,10 gh			

Las letras diferentes entre genotipos indican diferencias estadísticamente significativas $P < 0,05$, $LSD = 1,23$.

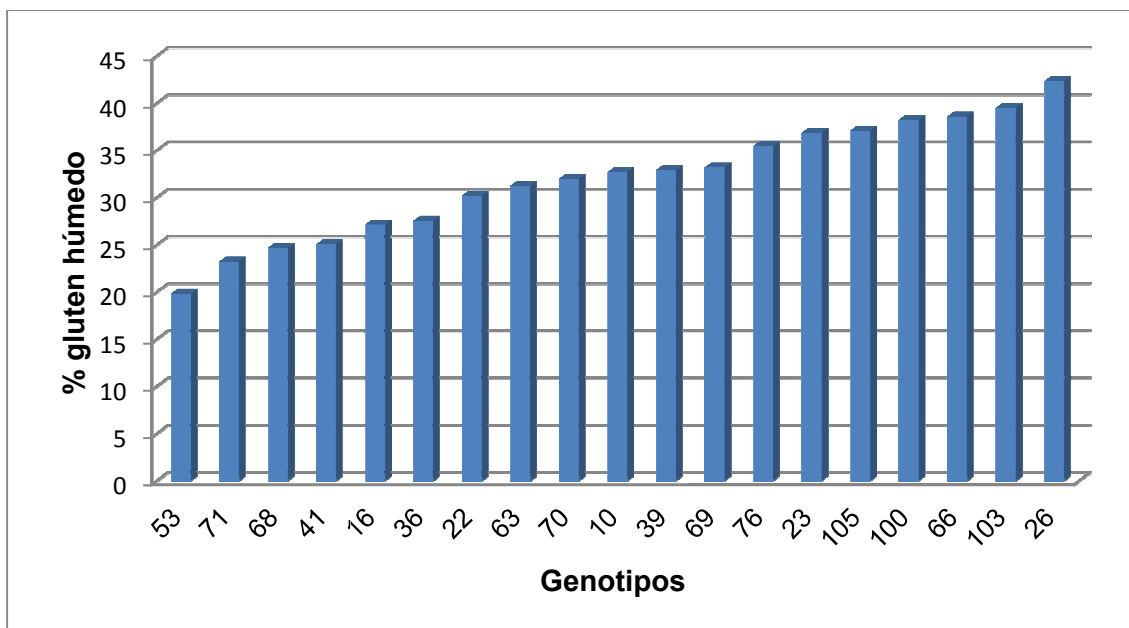


Figura 3. Porcentaje de gluten húmedo en diversos genotipos de *Triticum aestivum* L. var. *ferrugineum*. Promedio: 32 %.

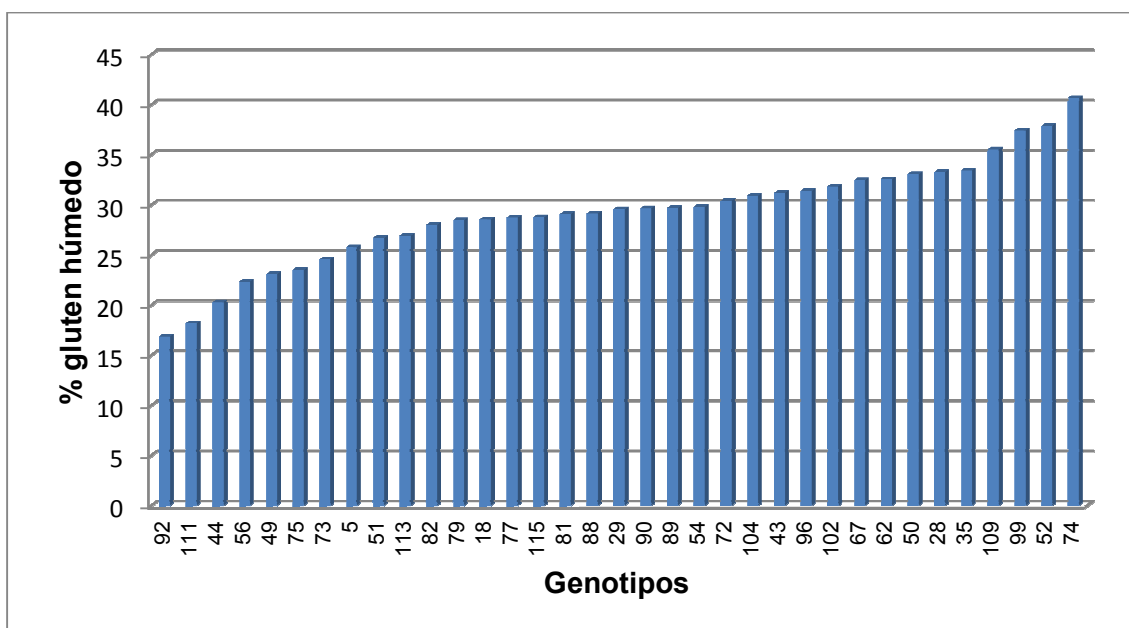


Figura 4. Porcentaje de gluten húmedo en diversos genotipos de *Triticum aestivum* L. var. *aestivum*. Promedio: 29,1 %.

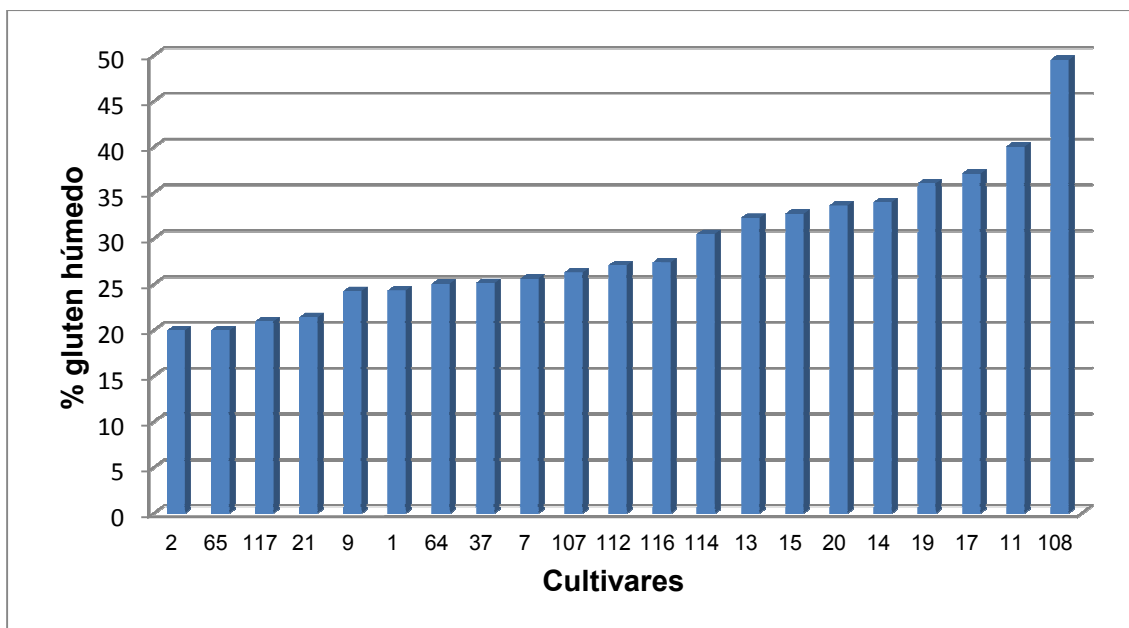


Figura 5. Porcentaje de gluten húmedo en diversos genotipos de *Triticum aestivum* L. var. *lutescens*. Promedio: 29,2 %.

Tabla 8. Número de genotipos por origen y promedio de GH (%).

País	Nº de genotipos	Promedio GH en %
CHIPRE	5	35,9
GRECIA	12	31,8
ITALIA	15	30,3
NEPAL	5	30,3
PORTUGAL	7	30
EE.UU.	7	29,8
IRÁN	9	28,5
CHINA	7	27,9
INDIA	5	25,8

DISCUSIÓN

El relevamiento de las últimas diez campañas de trigo (2008-2009/2017-2018) en Argentina, según informe *“Trigo Argentino, Informe Institucional sobre su Calidad”*, determinó que el valor promedio de gluten húmedo fue de 25,7 % y el de gluten seco 9,1 %. Los valores mínimos de gluten húmedo oscilaron entre 16,1 % (Campaña 2017-2018) y 20,3 % (Campaña 2009-2010); los valores máximos entre 26 % (Campaña 2015-2016) y 41,4 % (Campaña 2008-2009). El valor promedio más bajo fue 21,8 % (Campaña 2015-2016) y el mayor 29,5 % (Campaña 2008-2009). En cuanto a gluten seco, los valores mínimos oscilaron entre 5,6 % (Campaña 2017-2018) y 7,4 % (Campaña 2008-2009); los valores máximos entre 9,7 % (Campaña 2015-2016) y 14,7

% (Campaña 2008-2009). El valor promedio más bajo fue 8,3 % (Campaña 2014-2015) y el mayor 10,5 % (Campaña 2008-2009).

El genotipo número 108 *Triticum aestivum* L. var. *lutescens* (Grecia) con un 49,49 % en contenido de GH, supera ampliamente el mayor valor registrado en nuestro país 41,40 % (Campaña 2008-2009). La media de gluten húmedo, 29,6 % de los genotipos evaluados, coincide con el mayor valor promedio registrado 29,5 % (Campaña 2008-2009) en Argentina. Alrededor del 75 % de los genotipos superaron la media nacional 25,7 % (promedio últimas diez campañas). Puede resaltarse que algunos genotipos presentaron valores que superan las medias de los trigos de mejor calidad de Argentina (GC1) por lo que son de utilidad para realizar cruzamientos con genotipos adaptados a nuestras condiciones para mejorar el contenido de gluten en nuevos cultivares. Hubo tres variedades botánicas que sobresalieron ampliamente del resto, *Triticum aestivum* L. var. *aestivum*, *Triticum aestivum* L. var. *lutescens* y *Triticum aestivum* L. var. *ferrugineum*, presentando los genotipos con mayores valores de gluten y con un promedio superior a la media. Sería interesante evaluar la respuesta de los genotipos en otros ensayos donde entren en juego variables influyentes en el contenido de gluten como así también en la cantidad de gliadinas y gluteninas. Para ello, hay que estudiar lo sucedido en el período reproductivo del mismo, ya que está íntimamente asociado a la formación de las proteínas. Los diferentes grupos de proteínas se depositan en diferentes momentos durante el llenado de grano (período comprendido desde floración hasta madurez fisiológica). Durante los primeros días posteriores a floración se sintetizan proteínas como las albúminas y globulinas. Las proteínas del gluten se sintetizan 10 a 20 días posteriores a floración, superando rápidamente a las primeras. Si durante el llenado de grano se registra alguna condición de estrés como, por ejemplo, estrés por alta temperatura y/o por falta de agua, se alteraría la composición de las diferentes fracciones proteicas, lo cual modificaría la calidad de los granos (Brach, 2012).

La calidad final de un grano de trigo está determinada por la combinación de la elección de la variedad (genotipo), la influencia del ambiente (clima, suelo) y la interacción que pueda existir entre ellos, sin descuidar el manejo agronómico (Molfese, 2016). Entre ellos, el momento de aplicación del fertilizante nitrogenado es muy importante en la definición de calidad. El nitrógeno aplicado en siembra generalmente no es suficiente como para incrementar rendimiento y proteínas a la vez. Esto se observa particularmente en los años de altos rendimientos, si la oferta del nitrógeno fue escasa. En situaciones como estas, los porcentajes de proteínas en grano suelen ser bajos, debido a la relación inversa que existe entre rendimiento y proteína, comúnmente llamado “efecto dilución”. Es por ello que se recomienda complementar el aporte de nitrógeno realizado a la siembra, con una nueva fertilización nitrogenada en macollaje, para así poder incrementar rendimiento y proteínas (Brach, 2012). Comprender estas interacciones es importante para la producción y comercialización de partidas de trigo consistentes y de buena calidad (Molfese, 2016). La clasificación de los trigos resulta fundamental para satisfacer la demanda de la industria y de la exportación (Cuniberti, 2011), de manera tal de proveer un producto de idénticas características en forma consistente y homogénea en el tiempo (Otamendi, 2004) y de

una calidad específica según el destino final (Cuniberti y Menella, 2004). El cumplimiento de este objetivo permitiría aumentar la credibilidad y la confiabilidad de Argentina en el comercio mundial como país exportador de trigo (Cuniberti, 2011). Finalmente es importante destacar la relevancia de los resultados de este trabajo para incorporar materiales valiosos (de buen gluten) en programas de mejoramiento genético.

CONCLUSIONES

Se concluye luego de la interpretación de los resultados que la hipótesis es aceptada. Las diferencias en contenido de gluten fueron estadísticamente significativas en los genotipos evaluados. La media, tanto en contenido de GH como de GS supera el valor promedio para la República Argentina, demostrando la relevancia de esta investigación, dado que para lograr acceder o permanecer en nichos de mercado altamente competitivos, se necesita contar con materiales de elevada calidad genética. Finalmente, es posible encontrar en esta colección, genotipos sobresalientes que contribuirán al mejoramiento genético de la especie, cumpliendo con el objetivo general planteado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abbate, P.E. 2014. Principales atributos de calidad de los cultivares de trigo disponibles en la subregión IV. Informe técnico INTA, EEA Balcarce. pp 1-4.

Barberis, N.A. 2014. Evolución y perspectiva mundial y nacional de la producción y el comercio de trigo. Córdoba: INTA Manfredi. pp. 22.

Belton, P. 1999. On the elasticity of wheat gluten. Journal of Cereal Science 29, 103-107.

Brach, A.M. 2012. Factores que determinan la variación de la calidad panadera en trigo. pp. 26-29.

Bushuk, W. 1998. Wheat breeding for end-product use. Euphytica 100, 137-145.

Celentano, N., Montero K. 2004. En: tesina, clasificación del Trigo Argentino para su comercialización. pp. 19-23. A partir de <https://ucema.edu.ar/~fpeca/tesidestac/CelentanoMontero.pdf>. Último acceso, Febrero 2019.

Cuniberti, M. 1996. Fertilización nitrogenada, proteínas y calidad del trigo. Información para extensión N° 33. INTA Marcos Juárez. Disponible en <https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta-proteinas-del-trigo.pdf>. Último acceso, Abril 2019.

Cuniberti, M. 2001. Factores que inciden en la calidad. Información Técnica INTA Rafaela. 2001. Publicación Miscelánea N° 4. pp. 1-6.

Cuniberti, M.B. 2003. Laboratorio de Calidad de Cereales y Oleaginosas. Propuesta de Clasificación del Trigo Argentino Programa Nacional de Calidad. EEA-INTA Marcos Juárez, Córdoba. pp 79-83.

Cuniberti, M.B., Menella, D. 2004. Requerimientos industriales de trigo en Argentina. IDIA XXI 6,16-20.

Cuniberti, M.B. 2011. Trigo: Muestreo en pre-cosecha y clasificación calidad industrial de variedades argentinas. Temas: Alimentos. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-trigo_muestreo_en_pre-cosecha_y_clasificacin-nov_2011.pdf. Último acceso, Noviembre 2018.

Cuniberti, M., Mir, L., Molfese, E., Seghezzo, M. 2011. Evaluación de calidad en programas de mejoramiento de trigo. A partir de www.iberolab.org/comunicaciones/requisitostécnicos. Último acceso, Noviembre 2018.

Cuniberti, M. 2014. Productos que demanda el mercado y que el mejoramiento genético de trigo debe atender. Seminario Internacional de trigo. INIA La Estanzuela, Uruguay. Resúmenes. pp. 67.

De La Vega Ruiz, G. 2009. Proteínas de la harina de trigo: clasificación y propiedades funcionales. Temas de Ciencia y Tecnología 13, 27-32. Disponible en http://www.utm.mx/edi_anteriores/Temas38/2NOTAS%2038-1.pdf. Último acceso, Marzo 2019.

Donaire, G., Nisi, J., Helguera, M., Bainotti, C., Frascina, J., Masiero, B., Cuniberti, M., López, J., Salines, J., Alberione, E., Formica, B. 2010. Caracterización de la variabilidad genética del programa Nacional de mejoramiento de trigo del INTA. 8 th IWC. St. Petersburg, Russia. Compendio de resúmenes de trabajos publicados - Estación Experimental Agropecuaria Marcos Juárez Año 2010-2011. pp. 47-48.

El Cronista. 2018. El trigo argentino, ante una gran oportunidad y un contexto favorable. Disponible en <https://www.cronista.com/columnistas/El-trigo-argentino-ante-una-gran-oportunidad-y-un-contexto-favorable-20180326-0020.html>. Último acceso, Noviembre 2018.

Ewart, J.A.D. 1989. Hypothesis for how linear glutenin holds gas in dough. Food Chemistry 32, 135-150.

FAO. 2017. The future of food and agriculture. Rome: FAO. Disponible en <http://www.fao.org/3/a-i6583e.pdf>. Último acceso, Octubre 2018.

FAO. 2018. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT. Disponible en <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC/visualize>. Último acceso, Marzo 2018.

Goesaert, H., Bris, K., Veraberbeke, W.S., Courtin, C.M., Gebruers, K. and Delcour, J.A. 2005 Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality. Trends in Food Science & Technology 16, 12-30.

Gómez Pallarés, M., León, A.E., Rosell, C. 2007. En: Edel León, A., Rosell, C. 1ra ed. 2007; "De tales harinas, tales panes: granos, harinas y productos de panificación en Iberoamérica". Capítulo 1: Trigo. pp. 33.

Hoseney, R.C. 1994. Principles of Cereal Science and Technology, Second Edition. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA. pp. 378.

IRAM 15864-1. Parte 1. INTI. 2017. Ronda 2. PRA-04/2016. Parámetros de calidad en harinas de trigo. A partir de <https://www.inti.gob.ar/interlaboratorios/informes/2016/2016-HarinasRondall.pdf>. Último acceso, Octubre 2018.

Jeffrey, G.A., Saenger, W. 1994. Hydrogen Bonding in Biological Structures, Springer-Verlag, Berlin, Germany. pp. 569.

Jiménez Domínguez, R.V. 2010. Crisis global: neomalthusianos versus poblacionistas. Revista del Centro de Investigaciones Económicas, Administrativas y Sociales del Instituto Politécnico Nacional 20, 69-81.

Kasarda, D.D. 1999. Glutenin Polymers: The in Vitro to in Vivo Transition. Cereal Food World 44, 566-571.

Kerfal, S., Giraldo, P., Rodríguez Quijano, M., Vázquez, F.J., Adams, K., Lukow, O.M., Röder, M.S., Somers, D.J., Carrillo, J.M. 2010. Mapping quantitative trait loci (QTLs) associated with dough quality in a soft × hard bread wheat progeny. Journal of Cereal Science 56, 46-52.

Lombardo, L., Vanzetti, L., Nisi, M., Helguera, M. 2011. Uso de la selección asistida por marcadores moleculares en el mejoramiento del trigo. Revista técnica en S.D. Trigo. pp.11-15.

MacRitchie, F. 1994. Role of polymeric proteins in flour functionality. In: S. Martino al Cimino (Ed.), Wheat Kernel Proteins: Molecular and Functional Aspects. Università Degli Studi Della Tuscia, Consiglio Nazionale della Ricerche, Viterbo, Italy. pp. 145-150.

Molfese, E. 2016. Caracterización de la calidad del trigo pan en el centro sur bonaerense. pp 5.

OCDE-FAO. 2015. "Cereales", in OCDE-FAO. Perspectivas Agrícolas 2015, OECD Publishing, Paris. Parte 1, capítulo 1. pp 21-62. A partir de <http://www.fao.org/3/a-i4738s.pdf>. Último acceso, Noviembre 2018.

ONU (United Nations). 2015. World Population Prospects: the 2015 Revision. Disponible en <https://esa.un.org/unpd/wpp>. Último acceso, Mayo 2018.

Otamendi, M.A. 2004. Demandas de calidad de trigo a nivel mundial. IDIA XXI 6, 11-15.

Shewry, P.R., Napie, J.A., Tatham, A.S. 1995. Seed storage proteins: Structures and biosynthesis. The Plant Cell 7, 945-956.

Shewry, P.R. and A.S. Tatham. 1997. Disulphide Bonds in Wheat Gluten Proteins. Journal of Cereal Science 25, 207-227.

Shewry, P.R., Popineau, D., Lafiandra Belton, P.S. 2001. Wheat glutenin subunits and dough elasticity: findings of the Eurowheat Project. Trend in Food Science and Technology 11, 433-441.

Shewry, P.R., Halford, N.G. 2002. Cereal seed storage proteins: Structures, properties and role in grain utilization. *Journal of Experimental Botany* 53, 947-958.

Trigo Argentino, Informe Institucional sobre su Calidad. Disponible en <http://www.trigoargentino.com.ar/Promedio/Promedio?Idioma=Esp>. Último Acceso, Mayo 2019.

Veraverbeke, W.S., and Delcour, J.A. 2002. Wheat protein composition and properties of wheat glutenin in relation to breadmaking functionality. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 42, 179-208.

Wang, J.J., Liu G., Huang, Y.B., Zeng, Q.H., Song, G.S., Hou, Y., Li, L., and Hu, S.Q. 2016. Role of N-terminal domain of HMW 1 Dx5 in the functional and structural properties of wheat dough. *Food Chemistry* 213, 682-690.

ANEXO DE FOTOS





APÉNDICE DE FOTOS

A: Muestra de trigo.

B: Molino Bühler MLU 202.

C: Muestra de harina.

D: Balanza analítica de precisión.

E: De izquierda a derecha, Glutomatic 2200, Centrifuga, Glutork.

F: Gluten luego del lavado.

G: Gluten por duplicado en la centrifuga.

H: Gluten por duplicado luego del centrifugado.

I: Pesaje de gluten húmedo.

J: GH en Glutork.

K: GS en Glutork.

L: Pesaje de gluten seco.

M: Muestras de gluten seco.