
**Impacto de la procedencia y la variedad sobre la imbibición de
la semilla de trigo candeal (*Triticum durum* Desf.)**



MARILINA VICENTE

DOCENTE TUTORA

DRA. ING. AGR. MARTA MIRAVALLES

ASESORAS:

DRA. ING. AGR. IVANA FERNÁNDEZ MORONI

LIC. MARÍA NÉLIDA FIORETTI

2020

Índice General

Introducción	1
El trigo candeal en el mundo	2
El trigo candeal en Argentina	4
Implantación en trigo candeal. Importancia de la imbibición	7
Objetivo general.....	12
Objetivos específicos	12
Materiales y Métodos.....	13
Resultados y Discusión.....	18
A. Caracterización de la semilla utilizada en este estudio.....	18
B. Influencia de la procedencia de la semilla y la variedad sobre la imbibición.....	19
B.1. Dinámica de la imbibición	19
B.2. Atributos de la semilla que impactaron sobre la dinámica de la imbibición ...	27
Conclusiones.....	36
Bibliografía.....	38

Índice de tablas

Tabla 1: Valores medios y rango de peso de mil granos (PMG, g), porcentaje de granos con calibre >2,75mm, >2,5, >2,25 y <2,25 (%), Proteína (%), vitreosidad (%) y humedad inicial (%) de siete variedades de trigo candeal cultivadas en seis localidades del sur bonaerense en 2017.	18
Tabla 2: Correlaciones de Pearson entre la velocidad de absorción de agua (VA, mg g ⁻¹ h ⁻¹) y el agua absorbida como porcentaje del peso seco de semilla (AAb, %) y algunos atributos de ésta, como son el peso de mil, el calibre (mm), el porcentaje de proteína (%), y la vitreosidad (%) en el trigo candeal	28
Tabla 3: Coeficientes de correlación de Pearson entre el agua absorbida por la semilla durante la primera y novena horas de la imbibición y algunos atributos de la semilla asociados al peso, el tamaño, la composición y densidad en siete variedades de trigo candeal sembradas en Balcarce, Miramar, Barrow y La Dulce durante 2017	30
Tabla 4: Coeficientes de Correlación de Pearson entre el agua absorbida por la semilla durante la primera y novena horas de la imbibición y algunos atributos de la semilla asociados al peso, el tamaño, la composición y densidad, en siete variedades de trigo candeal sembradas en Cabildo y Bordenave durante 2017	32

Índice de figuras

Figura 1: Producción mundial de trigo 2018/2019	1
Figura 2: Localización de la producción mundial de trigo candeal.....	3
Figura 3: Consumo de pastas alimenticias en el mundo	4
Figura 4: Evolución reciente de la superficie sembrada y cosechada, y de la producción de trigo candeal en Argentina.....	5
Figura 5: Subregiones trigueras.....	6
Figura 6: Fases de la germinación	9
Figura 7: Tamices ensamblados para determinación de calibre.....	14
Figura 8a: Instrumento para analizar vitreosidad	15
Figura 8b: Separación de granos vítreos y no vítreos	15
Figura 9: Valores medios de humedad final (HF, %), alcanzados al cabo de 9 horas de imbibición, por siete variedades de trigo candeal.....	20
Figura 10: Valores medios de humedad final (HF, %) alcanzados al cabo de 9 horas de imbibición en seis localidades pertenecientes a tres subregiones de cultivo de trigo candeal en el sur bonaerense.....	21
Figura 11: Agua Absorbida por semillas de trigo candeal (AAb, % s.s.s) al cabo de 9 horas de imbibición, en función de la velocidad de absorción de agua (VA) en la primera hora del proceso.....	22
Figura 12: Velocidad de absorción (VA, mg g ⁻¹ h ⁻¹) y Agua absorbida (AAb, %) en función del tiempo, por semillas de trigo candeal embebidas durante 9 horas.....	23
Figura 13: Agua absorbida (AAb, %) por semilla de trigo candeal para seis localidades de cultivo en función del tiempo de imbibición	24
Figura 14: Valores medios de Agua Absorbida (AAb, %), como porcentaje del peso seco de la semilla, para seis localidades ubicadas en tres subregiones de cultivo de trigo candeal del sur bonaerense.....	25
Figura 15: Agua absorbida (AAb, %) por la semilla de siete variedades de trigo candeal, en función del tiempo de imbibición.....	26
Figura 16: Valores medios de Agua Absorbida (AAb, %) al cabo de 9 horas imbibición de semillas de siete variedades de trigo candeal.....	26
Figura 17: Velocidad de absorción de agua (VA, mg g ⁻¹ hora ⁻¹) durante la primera hora de imbibición en función del peso de mil semillas (g) para cuatro localidades de cultivo de trigo candeal (La Dulce, Miramar, Barrow y Balcarce)	29

Figura 18: Agua absorbida en 9 hs de imbibición (AAb, %) en función del peso de la semilla, en cuatro localidades del sur bonaerense (La Dulce, Miramar, Barrow y Balcarce)	29
Figura 19: Valores medios de Agua absorbida (AAb, %) en la primera hora de la imbibición en función del contenido proteico de la semilla de siete variedades de trigo candeal.....	34
Figura 20: Agua absorbida (AAb, %) en la 9 ^{na} hora de imbibición en función del agua absorbida (%) en la 1 ^{ra} hora de imbibición de siete variedades de trigo candeal.....	34
Figura 21: Valores medios de agua absorbida (AAb, %) durante la 1 ^{ra} hora de imbibición en función del contenido de proteína de la semilla de seis variedades de trigo candeal.....	35
Figura 22: Agua absorbida hasta la 9 ^{na} hora de imbibición (AAb, %) en función del contenido proteico de la semilla (%) en seis variedades de trigo candeal.....	35

Introducción

El trigo (*Triticum* sp) es una planta perteneciente a la familia *Poaceae*, de la tribu *Triticeae*. Las dos especies más cultivadas son *Triticum aestivum* L., llamado trigo pan o trigo harinero, y *Triticum turgidum* L. subsp. *durum*, habitualmente conocido como trigo para fideos o trigo candeal.

A escala global el trigo es uno de los tres granos más importantes, luego del maíz (1147 millones de t) y del arroz (782 millones de t). Para la campaña 2018/2019 la producción mundial fue de 730,5 millones de t, con un fuerte liderazgo de la Unión Europea (137,6 millones de t), China, (131,4 millones de t), e India (99,7 millones de t) (Figura 1).

En lo que respecta a nuestro país, en la última década la producción de trigo ha fluctuado entre los 9 millones de t y los 19,2 millones de t, 99% de las cuales corresponden al trigo pan y el 1% restante, al trigo candeal.

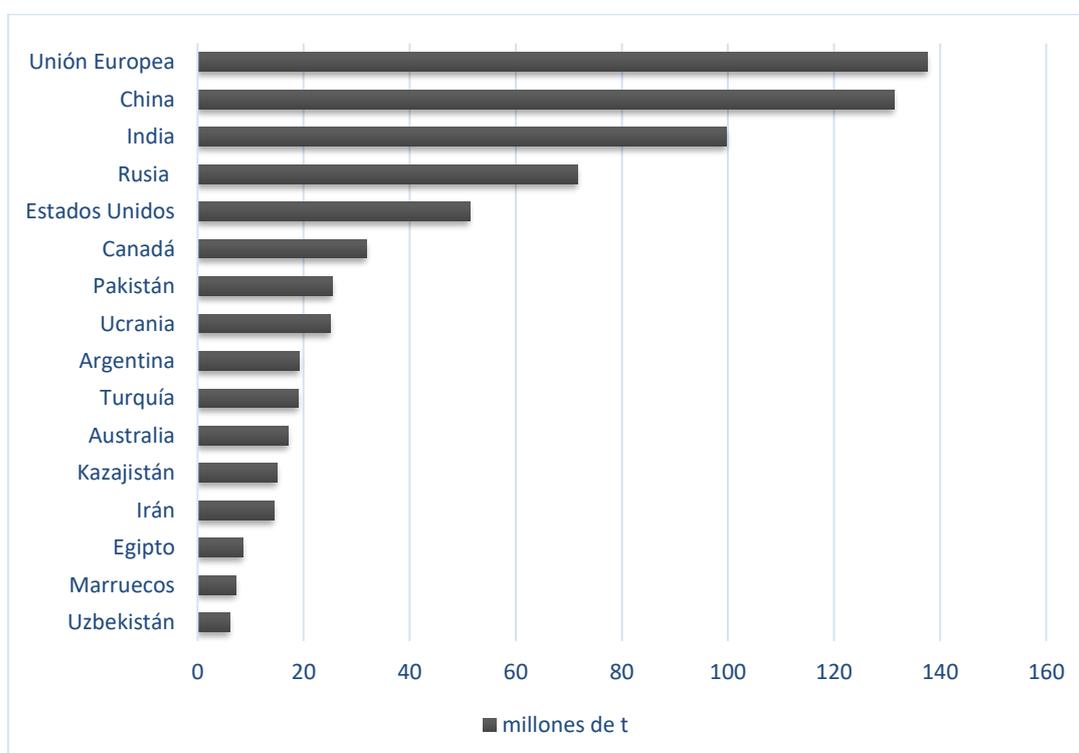


Figura 1: Producción mundial de trigo 2018/2019
Fuente: USDA

El trigo candeal en el mundo

El trigo candeal es un cultivo invernal que, al igual que el trigo pan, se utiliza principalmente para la alimentación humana, debido a que es una rica fuente de energía y proteínas. El grano posee como características diferenciales, su gran tamaño, dureza y color amarillo, que permiten que de su molienda se obtenga sémola para la elaboración de pastas, semolín para la elaboración de ñoquis y ravioles, y harina para la elaboración de panes típicos de las regiones del Mediterráneo (Molfese *et al.*, 2017).

En el mundo se cultivan entre 18 y 19 millones de hectáreas, resultando en una producción que alcanza los 40 millones de t, y que representa el 8% de la producción global de trigo.

La producción se localiza principalmente en la cuenca del Mediterráneo, el norte de Estados Unidos, Canadá, y dentro de las áreas desérticas del suroeste de Estados Unidos y norte de México. Otras áreas con menor producción se localizan en Rusia, Kazajstán, Australia, India y Argentina (Figura 2) (Tedone *et al.*, 2018).

Canadá es el mayor productor de trigo del mundo; para la campaña 2015/16 produjo casi 8 millones de t. La Unión Europea produjo alrededor de 7,5 millones de t, de las cuales casi la mitad (3,9 millones de t) se produjo en Italia, lo que la convierte en el principal productor de trigo candeal de dicho bloque, seguida por Turquía y Francia, con una producción media de 2,7 y 1,7 millones de t, respectivamente. Estados Unidos y México, en tanto, aportaron poco más de 2 millones de t (Tedone *et al.*, 2018).

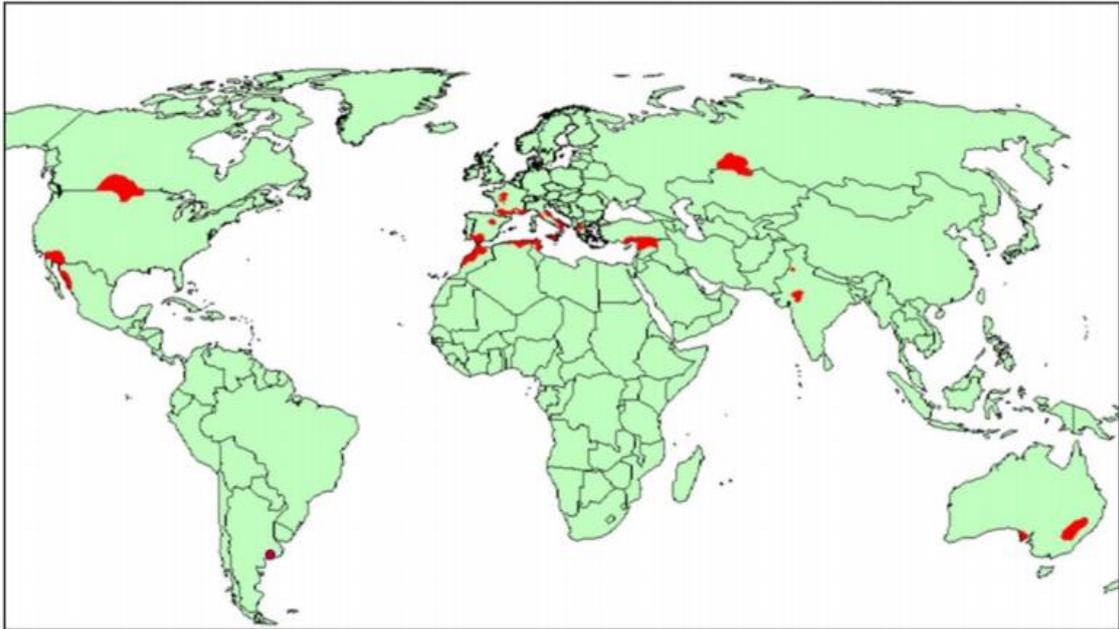


Figura 2: Localización de la producción mundial de trigo candeal
Fuente: Open Fields

Con relación a las importaciones globales, las mismas fluctúan anualmente entre los 6 y 8 millones de t, lo que representa aproximadamente del 15 al 20% del total producido en el mundo. Los principales importadores de candeal se encuentran en el Norte de África, entre los que se destaca Argelia. Le siguen en orden de importancia Marruecos, Túnez y Libia, quienes demandan, aproximadamente, el 35% del total. En la Unión Europea el más destacado es Italia, seguida por España, Bélgica y Alemania, con un 25% del total de las importaciones. En el continente americano los principales importadores son Estados Unidos, Venezuela, México, Perú y Chile con un 20% del total (Siutti *et al.*, 2019).

En cuanto a las exportaciones, en el continente americano Canadá indiscutiblemente lidera las exportaciones de trigo candeal, con un promedio de 3.5 millones t/año en las últimas cinco campañas, que equivale al 50% del total de trigo candeal comercializado en el ámbito global. Con menores porcentajes, se encuentra Estados Unidos y México, La Unión Europea, Siria y Australia (Siutti *et al.*, 2019).

En lo que respecta al consumo de pasta, Italia es el líder, con 26 kg/persona, seguida por Venezuela (12,2 kg/persona), y Túnez (11,9 kg/persona) (Figura 3). En lo que hace a nuestro país, el consumo anual es de 7,9 kg/persona.

País	Consumo (Kg/persona)
Italia	26,0
Venezuela	12,2
Túnez	11,9
Grecia	10,5
Suiza	9,0
Suecia	9,3
USA	8,8
Irán	8,5
Chile	8,4
Perú	8,2
Francia	8,1
Alemania	8,1
Argentina	7,9
Rusia	7,8
Hungría	7,5
Uruguay	7,5
Croacia	7,3
Austria	7,0

Figura 3: Consumo de pastas alimenticias en el mundo
Fuente: IPO Annual Survey on World pasta Industry, 2012

El trigo candeal en Argentina

El trigo candeal fue introducido en Argentina en la década 1920/1930 por inmigrantes italianos que se establecieron en el sur de la provincia de Buenos Aires. Las estadísticas oficiales refieren que treinta años después, en la campaña 1969/1970, ya se sembraban en el país más de 400 mil hectáreas, con una producción de 760 mil t, lo que nos ubicó en el tercer lugar en el mundo como país exportador. No obstante, los últimos diez años dan cuenta de producciones significativamente inferiores, en el rango entre las 100 y 250 mil toneladas anuales, sobre una superficie de siembra que ha fluctuado entre las 40 y 80 mil hectáreas (Figura 4). En la campaña 2018/2019 se sembraron 47 995 hectáreas, que resultaron en una producción de 150 216 t (MAGyP, 2020)

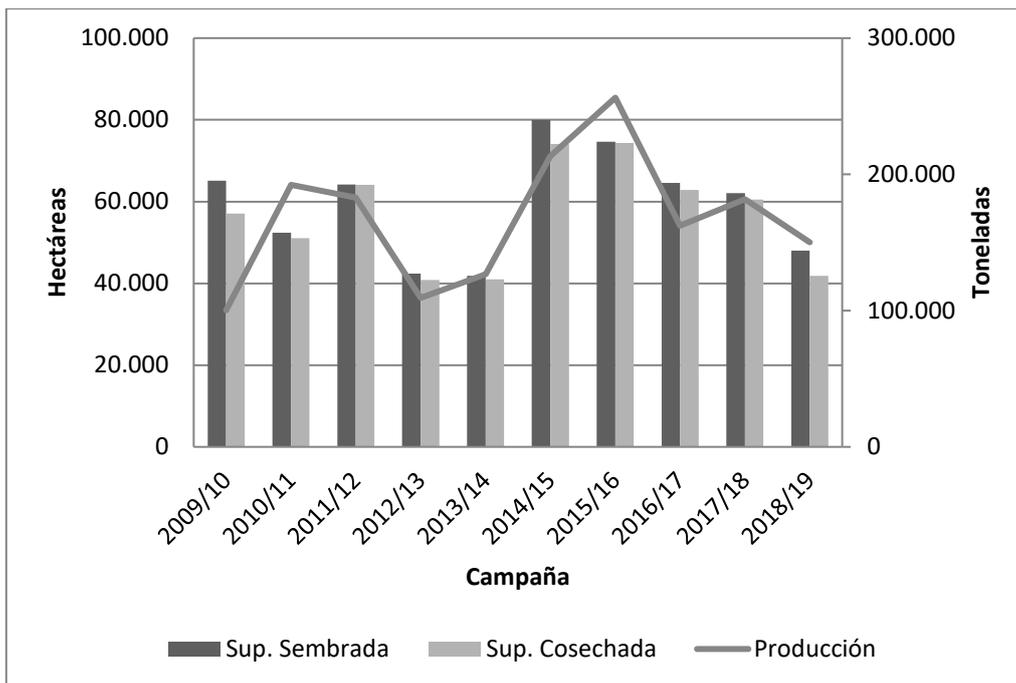


Figura 4: Evolución reciente de la superficie sembrada y cosechada, y de la producción de trigo candeal en Argentina

En Argentina, el trigo candeal se cultiva en regiones que poseen un régimen de precipitaciones medias a bajas (500 mm/año o menos), siendo un cereal que requiere inviernos suaves y húmedos, combinados con veranos secos y soleados. La zona de producción en el país se extiende desde el sudeste hasta el sudoeste de la provincia de Buenos Aires y parte de La Pampa (subregiones trigueras IV y V sur) (Figura 5), siendo los partidos de Coronel Dorrego y Tres Arroyos los que presentan mayor superficie ocupada con este cultivo. Desde hace unos años, el cultivo de este trigo ha dejado de ser estrictamente regional con la incorporación de algunos lotes de producción bajo riego en la provincia de San Luis, y también de una significativa cantidad de hectáreas en las provincias de Tucumán y Salta (subregión triguera NOA). Allí se instaló un importante molino y fábrica de pastas, que utiliza candeal como insumo para la elaboración de sus productos (Molfese *et al.*, 2017).

La siembra se realiza mediante la celebración de contratos directos entre los molinos y los productores. Bajo esta modalidad, y pese a que existe una norma de comercialización que se aplica a todas las transacciones (Norma XXII,

1998), para algunos de los parámetros de mayor interés como porcentaje de vitreosidad, proteína y gluten, las industrias diseñan y aplican escalas propias de bonificaciones y rebajas (Molfese *et al.*, 2017).

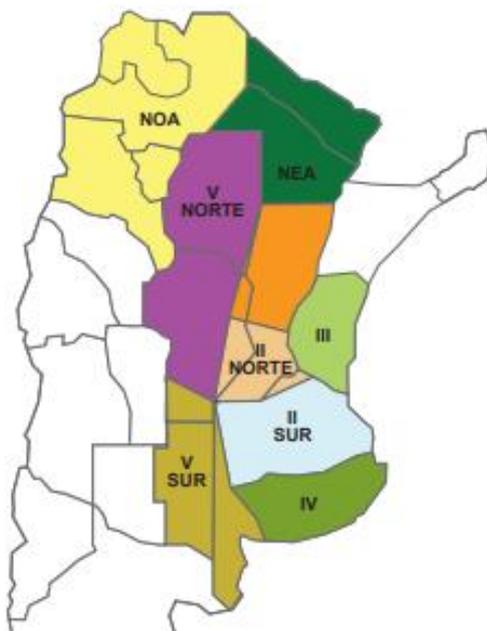


Figura 5: Subregiones trigueras

En lo que respecta al panorama varietal de trigo candeal en nuestro país, el mismo es considerablemente más reducido que el de trigo pan, con solo 13 cultivares vigentes en la actualidad (de los 24 inscriptos en el Registro Nacional de Cultivares) (Fuente: INASE, 2020). Los materiales en cuestión presentan escasa variación en la longitud de su ciclo, siendo todos ellos de ciclo vegetativo corto a intermedio. Presentan, además, notables diferencias en la morfología y características de sus granos, algunas de ellas de origen genético, y otras vinculadas a los ambientes de cultivo y a la interacción genotipo-ambiente (Larsen y Storm, 2020; Miravalles, 2017). Dichas características presentan un fuerte impacto en el destino de uso del grano, ya sea que éste se utilice para la obtención de sémolas por parte de la industria molinera (Molfese *et al.*, 2017; Miravalles, 2017), o bien como semilla para la siembra en producciones extensivas (Fernández Moroni *et al.*, 2018).

En lo que concierne al uso como simiente, la bibliografía da cuenta de abundante evidencia acerca de la importancia que revisten los atributos de la

semilla, principalmente durante la germinación y emergencia, y las etapas más tempranas del desarrollo del cultivo de trigo. Dichos trabajos refieren importantes efectos del calibre (Kornarzynski *et al.*, 2001), el peso de la semilla (Charu Shahi *et al.*, 2015) y la textura (Wen *et al.*, 2017) sobre la cantidad de agua absorbida y la dinámica de la imbibición, así como también sobre la emergencia y el vigor de las plántulas (Akinci *et al.*, 2008), la producción de biomasa aérea (Aparicio *et al.*, 2002) y el rendimiento de granos (Royo *et al.*, 2006; Akinci *et al.*, 2008).

Implantación en trigo candeal. Importancia de la imbibición.

La correcta germinación de la semilla, la emergencia y el establecimiento de un cultivo, son procesos críticos en el ciclo de supervivencia y crecimiento de las especies vegetales, ya que estos procesos son determinantes de la uniformidad, la densidad de plantas, el grado de infestación de malezas, y la eficiencia en el uso de los nutrientes y de los recursos hídricos disponibles para el cultivo. Todos estos factores afectan, en última instancia, el rendimiento y la calidad del cultivo (Benech Arnold y Sánchez, 2004)

El proceso de germinación se puede definir como el regreso a la vida activa de un embrión que se hallaba en estado de reposo, es decir, que ha detenido su crecimiento y capacidad de síntesis, pero que mantiene su potencial de crecimiento y desarrollo para poder convertirse en un individuo adulto. La semilla contiene las sustancias de reservas suficientes como para sostener el crecimiento del embrión, hasta que se convierta en una planta autótrofa (Ronco *et al.*, 2011).

El agua es un requisito básico para la germinación de la semilla. Una vez alcanzado el contenido de humedad crítico de la semilla, se inicia la germinación, proceso que una vez iniciado no puede ser revertido. Si el contenido de humedad interno luego decrece por debajo del valor crítico, la mayoría de las semillas se debilitarán en el suelo. Por lo tanto, es esencial un preciso control temporal y espacial del proceso de imbibición: si el proceso es

demasiado rápido, la semilla corre el riesgo de iniciar la germinación demasiado rápido en un ambiente seco. Si, por el contrario, la absorción de agua ocurre lentamente, la semilla puede retrasarse con respecto a las otras plantas en la competencia, tanto por luz como por nutrientes.

Las semillas en estado de reposo tienen poca humedad (5-15%), siendo casi inactivas metabólicamente, mientras que, para que se produzca la germinación tienen que llegar a un contenido de humedad crítico, que ronda el 50% aproximadamente en el caso del trigo (Louf *et al.*, 2018).

El proceso de la germinación se inicia con la absorción rápida de agua por parte de la semilla seca (imbibición), sigue con una fase de meseta en la que ocurren importantes procesos metabólicos irreversibles, y finaliza con un nuevo incremento en la absorción de agua, que se corresponde con el período de elongación del embrión o la radícula, dando por resultado la emergencia (Figura 6) (Azcón-Bieto y Talón, 2013).

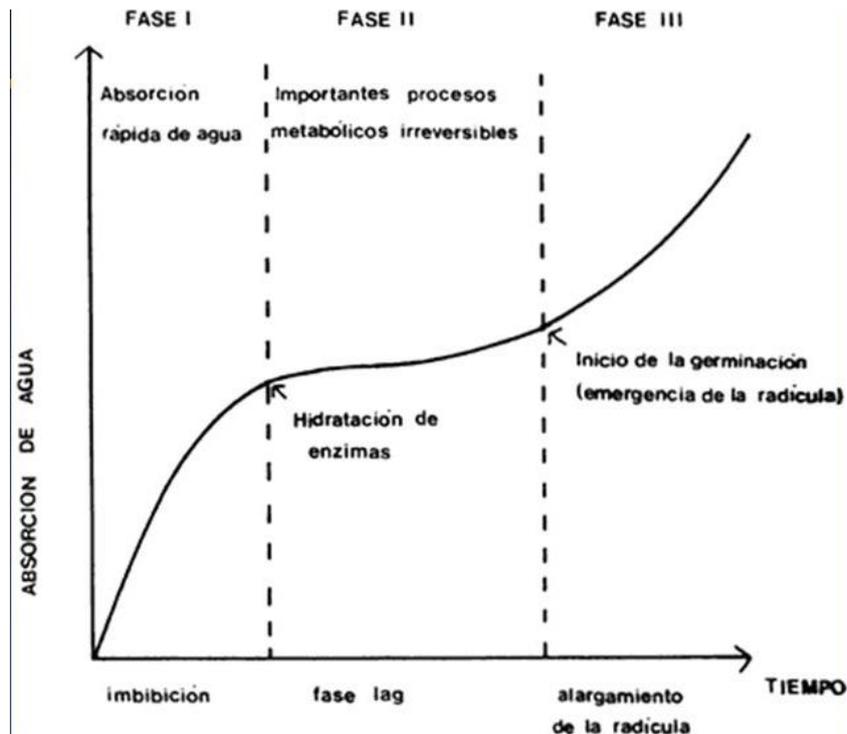


Figura 6: Fases de la germinación
Fuente: Azcón-Bieto y Talón, 2013

Las primeras horas de la imbibición son fundamentales para el éxito de la germinación, ya que la mayoría de los cambios bioquímicos y moleculares se intensifican durante las primeras 2-8 horas de ésta (Harb, 2012). La primera fase es consecuencia de las fuerzas mátricas de las paredes celulares y los contenidos de las células de la semilla, y esta absorción ocurre sin considerar si una semilla posee latencia o no, o si es viable o no. Es un proceso físico cuya fuerza directriz está determinada por la diferencia de potencial de agua entre la semilla y el sustrato que la rodea (Ramírez Mejía, 2016). La velocidad con que la semilla absorbe agua dependerá del flujo de agua entre el suelo y la semilla, es decir, de la diferencia entre el potencial agua del suelo y el de la semilla, que al inicio de la imbibición es enorme, pero que luego va disminuyendo.

En la segunda fase de la imbibición, el peso fresco es constante, y no hay absorción de agua. En esta etapa, se produce la reactivación de enzimas inactivadas por la extrema desecación, y la síntesis de nuevas enzimas, para lo

cual las semillas deben ser viables. Las enzimas hidrolíticas degradan las reservas de las semillas (almidón) hasta glucosa, fructosa, etc., y las ponen a disposición del embrión, como así también la energía generada por los procesos de respiración y fermentación. En esta etapa, también se degradan otras sustancias de reserva, como las proteínas y los lípidos. Si la semilla no fuera viable, el peso fresco se mantiene constante, aunque no ocurre ningún evento metabólico (Ronco *et al.*, 2011).

En la tercera y última fase, se produce un nuevo incremento en la absorción de agua, asociado a la división y alargamiento celular, que inducen al crecimiento celular y la extrusión de la radícula. La emergencia de la radícula indica la finalización de la germinación y el comienzo del crecimiento de la plántula (Ronco *et al.*, 2011).

Además de la viabilidad de la semilla y de humedad suficiente, se requiere una adecuada concentración de oxígeno, indispensable para la respiración y para que progrese la germinación. Este proceso puede ocurrir en un amplio rango de temperaturas que varían entre 2 y 35°C, siendo el óptimo de 20 - 25°C. Cuando las condiciones de humedad, temperatura, oxígeno, etc. son óptimas, la semilla comienza a germinar dentro de las 24 - 48 horas (Carbajo, 2001).

La emergencia ocurre en un porcentaje de las semillas sembradas, dependiendo del poder germinativo de las mismas, de la profundidad de siembra, de la disponibilidad de humedad en el suelo, del ataque de patógenos, etc. (Miralles *et al.*, 2014). No obstante, en el caso del trigo, y de otros cereales de invierno, la capacidad que poseen de producir un número variable de macollos en respuesta a la oferta de recursos del ambiente contribuye, en muchos casos, a enmascarar la ocurrencia de fallas en la emergencia, que pueden haber afectado tempranamente el número de plantas, y/o la uniformidad del cultivo.

Para alcanzar rendimientos de grano que hagan competitiva la producción del trigo candeal, resulta clave lograr en la implantación un stand de plantas en el

rango entre las 250 y las 350 plantas m², similar al utilizado en variedades de trigo pan de ciclo intermedio y corto (Jensen y López, 2001).

En lo concerniente a la calidad de la semilla a utilizar, la información que dispone el productor para alcanzar el stand de plantas deseado, se circunscribe habitualmente al poder germinativo, la pureza y el peso de mil granos, variables que, en algunas situaciones, no estarían aportando suficiente explicación a los problemas de emergencia lenta y raleo reportados por algunos técnicos y productores del área de cultivo de trigo candeal en el sur bonaerense (Ing. Agr. A. Junquera, y Adelina Larsen, Com. Pers, 2017).

La bibliografía en el tema da cuenta de la existencia de amplia variabilidad en el desarrollo temprano entre diferentes especies, en general, y entre variedades de trigo, en particular. Al respecto Louf *et al.* (2018) manifestaron que la duración de la imbibición depende de factores inherentes de la semilla, como el contenido de sustancia hidratable, permeabilidad de las cubiertas de las semillas, tamaño de las semillas y condiciones durante la hidratación (temperatura, contenido de humedad inicial, disponibilidad de agua y oxígeno). Por su parte, Mishra *et al.* (2010) informaron que la siembra de semillas a distintos tamaños de una especie puede resultar en un establecimiento desuniforme, que puede llevar a heterogeneidad en el vigor y tamaño de la planta. Al respecto, Sung (1992) postuló que las semillas pequeñas germinan más rápido, y producen plantas con un sistema de raíces más desarrollado, posiblemente debido a los menores requisitos de agua para el proceso de germinación. Mut *et al.* (2010) observaron, sin embargo, que las semillas grandes de avena exhibieron un 14.5% más de germinación final que las semillas pequeñas, independientemente de la disponibilidad hídrica. Por su parte, Mian y Nafziger (1992), informaron que el tamaño de la semilla no ejerció ningún efecto sobre las características de germinación del trigo. Para Stenvert y Kingswood (1976), en tanto, el modo de entrada de agua en la semilla fue similar para diferentes cultivares de trigo, pero reportaron amplias diferencias en la tasa de penetración de agua, que parece relacionarse con la dureza del grano o el contenido de proteína.

En este marco conceptual, el presente trabajo de intensificación planteó los siguientes objetivos:

Objetivo general

Investigar los efectos de la variedad y del sitio de cultivo sobre la dinámica de imbibición de la semilla de trigo candeal.

Objetivos específicos

- ✓ Estudiar la dinámica de imbibición de semilla correspondiente a distintas variedades de trigo candeal cultivadas en sitios contrastantes del sur bonaerense.

- ✓ Analizar la variabilidad en el peso, calibre, vitreosidad y nivel de proteína existente entre variedades y sitios de procedencia de la semilla, y su relación con la dinámica de imbibición.

Materiales y Métodos

Para el cumplimiento de los objetivos planteados se realizaron evaluaciones en gabinete, para caracterizar la semilla utilizada, y un ensayo de imbibición bajo condiciones controladas en el Laboratorio de Fisiología Vegetal del Depto de Agronomía de la UNS.

El material vegetal utilizado fue semilla correspondiente a siete variedades de trigo candeal (Bonaerense INTA Cariló, Bonaerense INTA Facón, Bonaerense INTA Quillén, Buck Esmeralda, Buck Granate, Buck Platino y Buck Zafiro), provenientes del Ensayo Regional que se conduce anualmente en seis localidades de la región tradicional de cultivo (Cabildo y Bordenave en el Sudoeste Bonaerense, Barrow y La Dulce en el Centro Sur, y Miramar y Balcarce en la región del Sudeste). Se analizaron en total 42 muestras de semilla de la cosecha 2017.

A) Determinaciones de gabinete:

Para la caracterización de la semilla en gabinete se realizó una batería de análisis, a saber:

Calibre de la semilla (mm): El análisis se realizó sobre una muestra de 100 g a la que previamente se removieron los granos rotos y materias extrañas. La misma fue sometida a la acción de tres tamices ensamblados (Figura 7), que mediante movimientos oscilantes realizados durante 20 segundos, determinaron la separación de la muestra en tres fracciones que quedaron retenidas sobre los tamices de 2,2 mm (Cal $\geq 2,2$), 2,5mm (Cal $\geq 2,5$) y 2,75mm (Cal $\geq 2,75$). Cada una de esas fracciones se pesó, y el peso correspondiente se expresó como porcentaje del total (%).



Figura 7: Tamices ensamblados para determinación de calibre

Peso de mil granos (g): El análisis se realizó manualmente, y por cuadruplicado, sobre muestras de 100 semillas, a las que previamente se les removieron los granos rotos y las materias extrañas. Como resultado se tomó el promedio de las determinaciones, expresado en gramos ($\pm 0,01$ g).

Vitreosidad (%): se realizó según Norma XXI SENASA (Resolución ex-SAGyP N° 1075/94), a través de la inspección visual de 100 granos de trigo provenientes de una muestra libre de impurezas y de granos partidos. Para ello se utilizó un equipo retroproyector que cumplió una función similar a la del Diafanoscopio utilizado en el procedimiento descrito en la norma (Figuras 8, a y b), basado en el empleo del traspaso de luz (Sistema VOGEL). El mismo se fundamenta en el hecho de que los rayos luminosos atraviesan las zonas compactas vitrificadas, pero no las harinosas. Los resultados se expresaron en por ciento (%).



Figura 8a: Instrumento para analizar vitreosidad

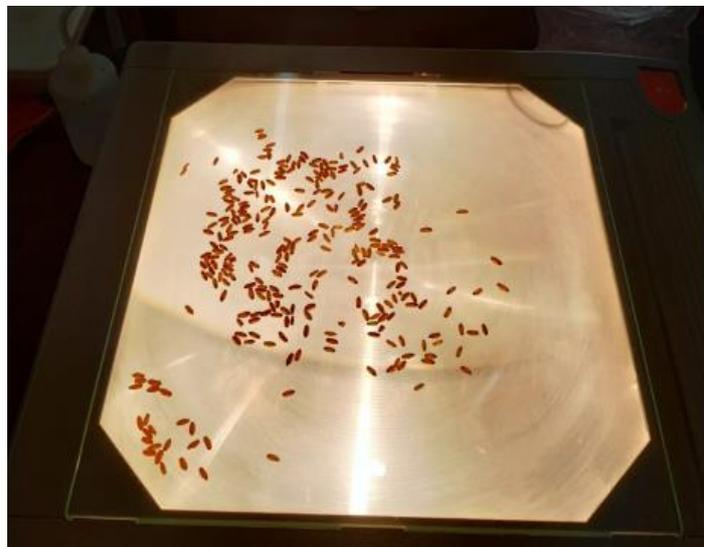


Figura 8b: Separación de granos vítreos y no vítreos

Proteína (%): se calculó a partir del contenido de Nitrógeno Total del grano determinado por el método Kjeldahl (ICC N° 105/1) sobre una muestra de 5 g, y corregido por un factor de 5,7.

Humedad inicial (%): El estudio se realizó sobre una muestra de 25 semillas y por triplicado. Se determinó primero el peso fresco de la misma, luego de lo cual se llevó a estufa hasta peso constante para determinar el peso seco. A partir de dichos datos se calculó la humedad inicial (HI, %) mediante la fórmula:

$$\text{HI (\%)} = (\text{PF} - \text{PS} / \text{PS}) * 100$$

Donde:

PF = Peso fresco

PS = Peso seco

B) Ensayo de Imbibición

Se realizó en el mes de mayo del año 2018 en el laboratorio de la Cátedra de Cereales del Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur. En el transcurso del mismo, se embebieron en 10 ml de agua destilada por un período de 9 horas cronometradas, 50 semillas elegidas al azar de cada muestra, registrando a intervalos de 1 h el nuevo valor de peso fresco producido por el proceso de imbibición. El ensayo se realizó por triplicado.

A partir de los resultados obtenidos, se calculó para cada hora:

La cantidad de agua absorbida (AAb):

$$\text{AAb (\%)} = (\text{PF}_n - \text{PF}_i) / \text{PS}_i * 100$$

La velocidad de absorción de agua (VA):

$$\text{VA (mg mg}^{-1} \text{ h}^{-1}\text{)} = (\text{PF}_n - \text{PF}_{n-1}) / \text{PS}_i * 1000$$

Humedad (H):

$$\text{H (\%)} = (\text{PF}_n - \text{PS}_i) / \text{PS}_i * 100$$

Dónde:

PF_i = Peso fresco de la semilla antes de la imbibición

PF_n = Peso fresco de la semilla luego de la imbibición a n horas

PF_{n-1} = Peso fresco de la semilla luego de la imbibición una hora antes de PF_n

PS_i = Peso seco de la semilla antes de la imbibición

C) Análisis de datos

Los datos fueron analizados mediante la prueba de ANOVA doble, correlaciones y regresiones utilizando el software estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2013)

Resultados y Discusión

A. Caracterización de la semilla utilizada en este estudio

Debido a los efectos combinados de la variedad y el ambiente de cultivo que les dio origen, las semillas cuyo comportamiento se analizó en este ensayo cubrieron un amplio rango de características físicas. En lo que concierne al peso, el mismo promedió 46,4 g las 1000 semillas, fluctuando entre un mínimo de 37,6 g para la variedad B. Platino en la localidad de La Dulce, y un máximo de 59,2 g para B. Esmeralda en Balcarce (Tabla 1)

Tabla 1: Valores medios y rango de peso de mil granos (PMG, g), porcentaje de granos con calibre >2,75mm, >2,5, >2,25 y <2,25 (%), Proteína (%), vitreosidad (%) y humedad inicial (%) de siete variedades de trigo candeal cultivadas en seis localidades del sur bonaerense en 2017.

Variable	Media	Rango	
		Mín	Máx
PMG (g)	46,4	37,6	59,2
Calibre >2,75 (%)	80,5	61,5	96,6
Calibre >2,5 (%)	14,3	2,7	27,9
Calibre >2,25 (%)	3,3	0,4	7,0
Calibre <2,25	1,9	0,1	4,6
Proteína (%)	12,0	9,9	14,4
Vitreosidad (%)	85,6	28,0	100
Humedad inicial (%)	11,0	10,3	11,8

En lo que respecta al calibre, se observaron amplias variaciones en el porcentaje de las distintas fracciones que integraban cada muestra, entre variedades y sitios de cultivo. En lo que concierne a la fracción de mayor tamaño, el valor medio retenido en la zaranda $\geq 2,75$ mm fue de 80,5%, con un mínimo de 61,5% para B. Platino en Cabildo, y un valor máximo de 96,6% para B. Granate en Balcarce. Los valores medios observados para las fracciones de calibre menores a 2,75 mm fueron más bajos, totalizando las tres fracciones restantes, en conjunto, el 19,5% de la semilla analizada. La media para el calibre $\geq 2,5$ mm fue de 14,3%, mientras que para el calibre $\geq 2,25$ mm fue de 3,3%. En lo que concierne a la fracción $\leq 2,25$ mm el valor promedio fue de

1,9%, con un mínimo de 0,1% para Quillén en Balcarce y un máximo de 4,6% para B. Esmeralda en Balcarce.

El promedio de proteína de las 42 muestras fue del 12,0%, fluctuando en un rango de valores entre medianamente bajos (9,9% para B. Granate en Barrow) y altos (14,4% para la misma variedad en Bordenave). En cuanto a la vitreosidad, si bien el nivel promedio fue elevado (85,6%), se registraron valores extremos altamente contrastantes, que abarcaron desde un mínimo del 28,0% para B.I. Facón en Bordenave, a un 100% para B. Esmeralda en La Dulce.

En lo que respecta a la humedad de la semilla al inicio del ensayo (HI), la misma fue muy variable, con importantes diferencias asociadas al sitio de procedencia ($F=68,95$; $p<0,0001$), a la variedad utilizada ($F=17,33$; $p<0,0001$) y a la interacción variedad x sitio ($F=17,47$; $p<0,0001$) ($R^2 \text{ Aj.}=0,88$, $p\leq 0,0001$). El promedio de humedad de las 42 muestras analizadas se ubicó en 11,0%, con un mínimo de 10,3% para el caso de la variedad B. Granate en la localidad de Miramar, y un máximo de 11,8% para la misma variedad con origen en Balcarce. Los relativamente bajos valores medidos pudieron deberse a que las mismas permanecieron almacenadas en bolsas de papel, en cámara de frío, por un periodo de aproximadamente tres meses a la espera de la realización del ensayo.

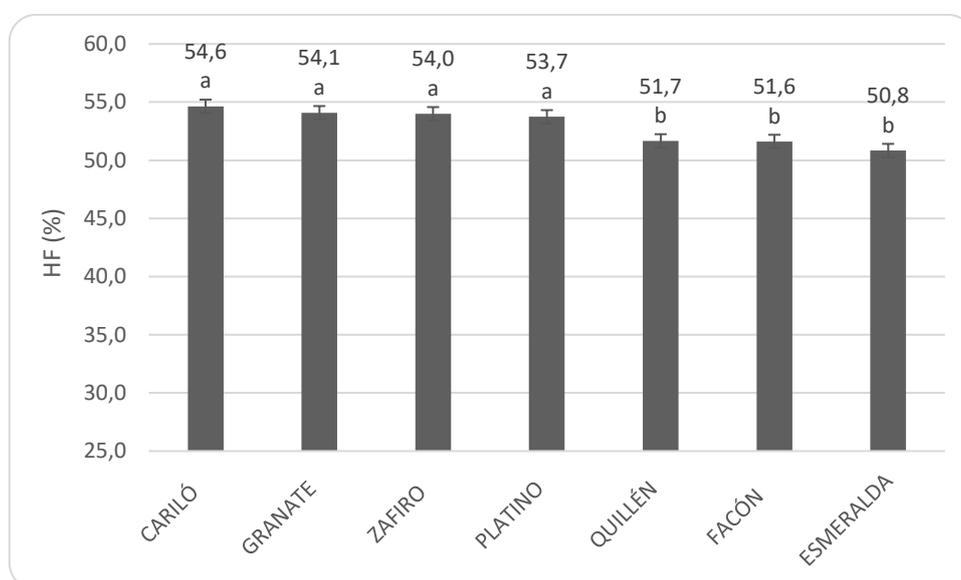
B. Influencia de la procedencia de la semilla y la variedad sobre la imbibición

B.1. Dinámica de la imbibición

Como consecuencia del proceso de imbibición al que fueron sometidas por espacio de 9 horas, las semillas aumentaron ca. 5 veces su humedad, pasando de un valor inicial del 11,0% ($\pm 0,37$), a un 52,9% ($\pm 3,76$) (promedio de siete variedades cultivadas en seis localidades). En dicho momento un porcentaje considerable de ellas presentaba la punta de la radícula proyectándose por fuera del embrión, una clara evidencia de que alcanzaron la última fase del proceso de germinación. Los niveles de humedad final (HF) alcanzados se ubicaron en el rango de valores mencionado por Louf *et al.* (2018), quienes

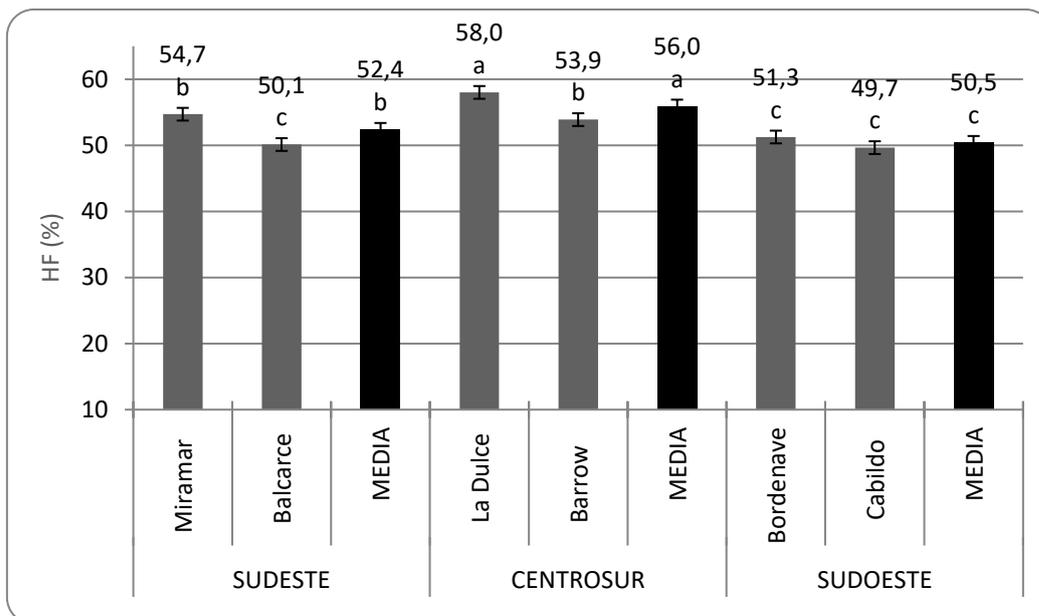
señalaron que para que se produzca la germinación las semillas tienen que llegar a un contenido de humedad crítico, que en el caso del trigo ronda aproximadamente el 50%.

Si bien los valores de HF tendieron a ser mayores en las semillas que presentaron una HI mayor ($r=0,33$, $p\leq 0,06$), el ANOVA que incluyó a HI como covariable, no mostró un efecto significativo de esta sobre HF. No obstante, la prueba de ANOVA halló diferencias significativas en los niveles de HF, vinculadas a la variedad ($F= 2,26$; $p<0,05$) (Figura 9) y al sitio de procedencia de la semilla ($F= 11,85$; $p<0,0001$) (Figura 10), con ausencia de interacción entre ambas fuentes de variación.



Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($P\leq 0,05$)

Figura 9: Valores medios de humedad final (HF, %), alcanzados al cabo de 9 horas de imbibición, por siete variedades de trigo candeal (promedio de seis localidades de cultivo)



Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$)

Figura 10: Valores medios de humedad final (HF, %) alcanzados al cabo de 9 horas de imbibición en seis localidades pertenecientes a tres subregiones de cultivo de trigo candeal en el sur bonaerense (promedio de siete variedades)

La mayor velocidad de absorción de agua (VA) se registró durante la primera hora de la imbibición, lapso durante el cual las semillas absorbieron en promedio $127,8 \text{ mg g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (entre $82,7$ y $166,5 \text{ mg g}^{-1} \text{ h}^{-1}$). Esta rápida absorción inicial de agua era de esperar, considerando el amplio gradiente de potencial agua existente entre la semilla seca y el medio húmedo circundante (Black *et al.*, 2006).

La VA alcanzada por la semilla durante la primera hora de imbibición tuvo un impacto decisivo sobre la cantidad de agua absorbida como porcentaje del peso seco de la misma hacia el final del proceso (AAb), dando cuenta por poco más del 75% de la variación observada en los valores de dicha variable ($b = 0,15$; $F = 123,92$; $R^2 = 0,76$; $p \leq 0,001$) (Figura 11). Rathjen *et al.* (2009), utilizando Resonancia Magnética por Micro Imágenes (MRMI) observaron que durante la imbibición temprana el agua entra en el germen muy rápidamente, en tanto que la tasa de entrada de agua a la porción del grano “no germen” (principalmente endosperma) es significativamente más lenta.

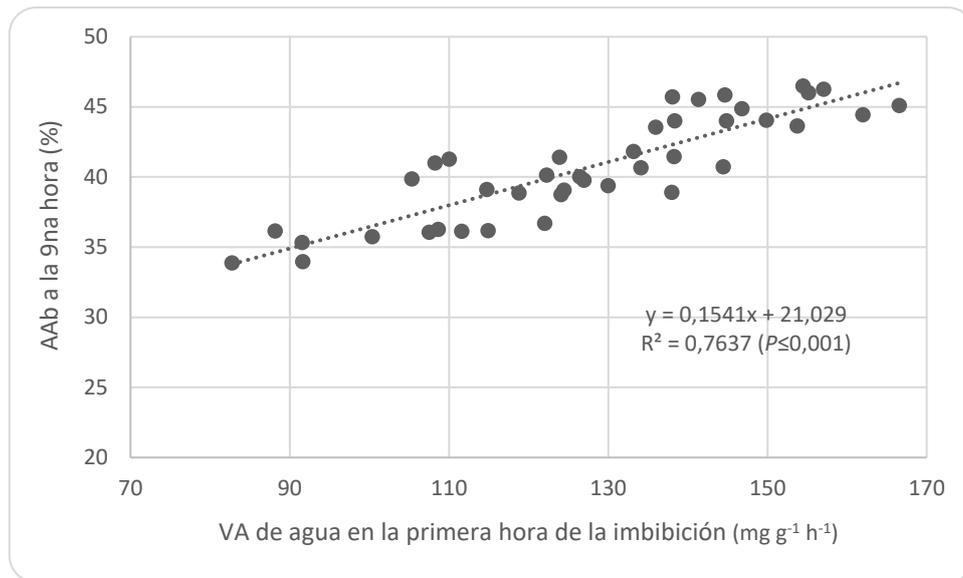


Figura 11: Agua Absorbida por semillas de trigo candeal (AAb, % s.s.s) al cabo de 9 horas de imbibición, en función de la velocidad de absorción de agua (VA) en la primera hora del proceso

En sintonía con los resultados reportados en la bibliografía, en nuestro estudio se determinó que durante la segunda hora de la imbibición, VA se redujo 2,6 veces, promediando $49,2 \text{ mg g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (entre $34,3$ y $65,2 \text{ mg g}^{-1} \text{ h}^{-1}$). Luego de ello VA disminuyó de forma gradual hasta alcanzar un mínimo $23,87 \text{ mg g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ en la 9^{na}. y última hora del ensayo (Figura 12). Al respecto, Lev y Blahovec (2017) subrayaron que la imbibición puede dividirse en dos partes: la primera, denominada 'imbibición abrupta', involucra principalmente un hinchamiento de la parte correspondiente al embrión de la semilla, y dura aproximadamente una hora. La segunda parte, en tanto, se conoce como "imbibición principal", y consiste principalmente en la expansión espacial causada por la imbibición en las otras partes de la semilla.

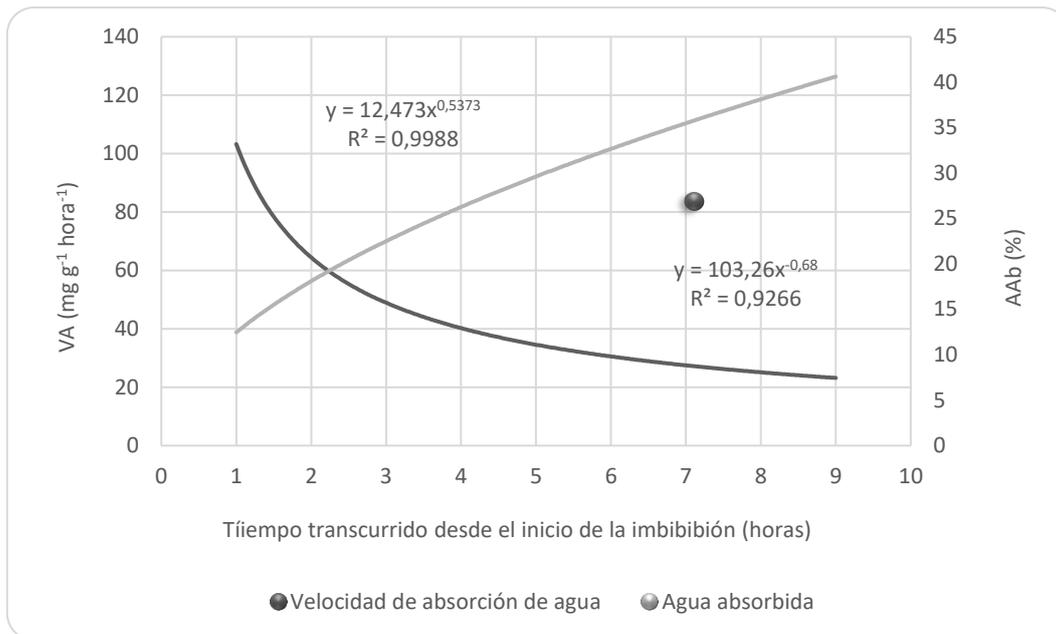
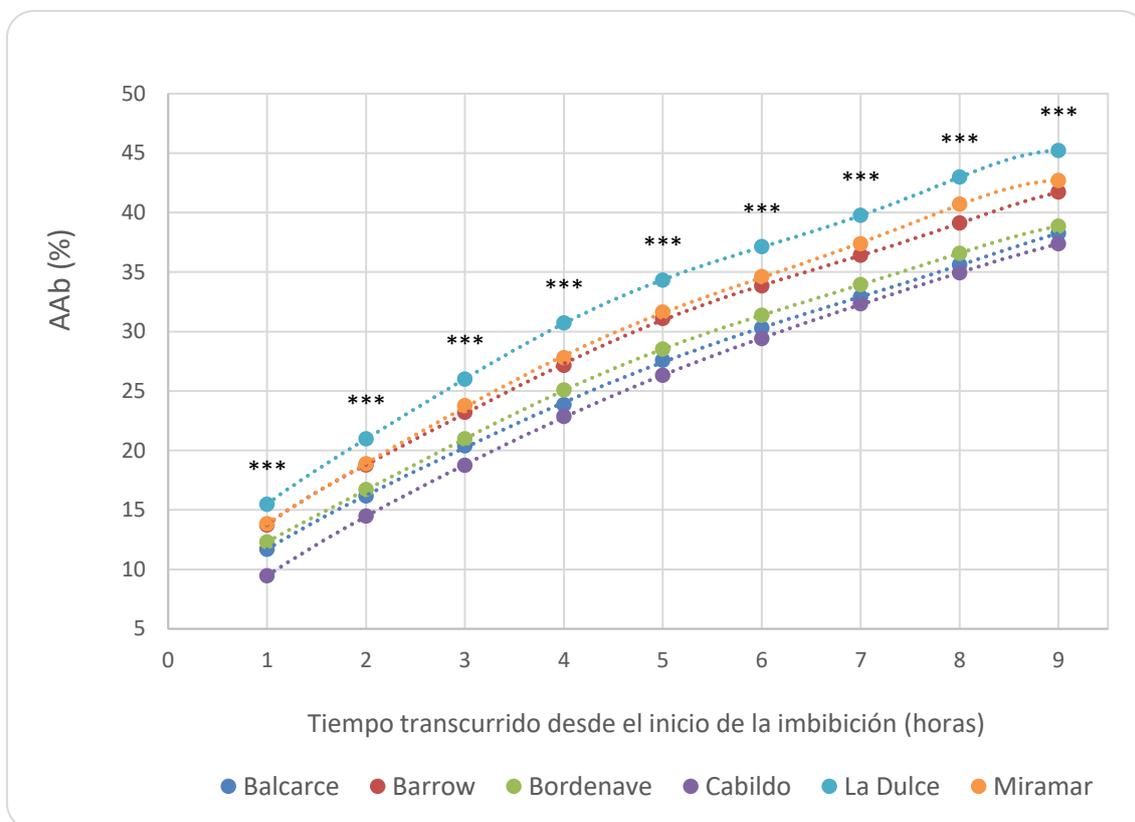


Figura 12: Velocidad de absorción (VA, mg g⁻¹ h⁻¹) y Agua absorbida (AAb, %) en función del tiempo, por semillas de trigo candeal embebidas durante 9 horas (Promedio de siete variedades cultivadas en seis localidades)

Entre la 1^{ra} y la 9^{na} hora de la imbibición las semillas incrementaron, en promedio, poco más de 3 veces su peso seco en agua, pasando de un 12,7% a un 40,7% (Fig. 12). Este último valor se halla encuadrado dentro del rango de valores reportado por Ramírez Mejía (2016) quien informó que si bien la cantidad de agua que penetra a la semilla varía con la especie, en los cereales suele ser del 40 al 60% del peso seco de la semilla, mientras que en algunas leguminosas, como la arveja, asciende al 180%. Al respecto, Pérez Escalona (1997) determinó que las semillas cuyos componentes principales son carbohidratos o lípidos absorben menor cantidad de agua, y más lentamente, que aquellas que contienen más cantidad de proteínas (como por ejemplo, las semillas de soja que absorben de tres a cinco veces su peso en agua). En maíz, Mendez Natera *et al.* (2008), informaron que la cantidad de agua absorbida por la semilla es relativamente pequeña en términos absolutos, y que a menudo puede no exceder de 2 a 3 veces el peso seco de la semilla.

El ANOVA realizado sobre los datos tomados a intervalos de una hora reveló, sin excepción, diferencias altamente significativas en los niveles de AAb entre sitios de procedencia de la semilla, con un ordenamiento de localidades que se

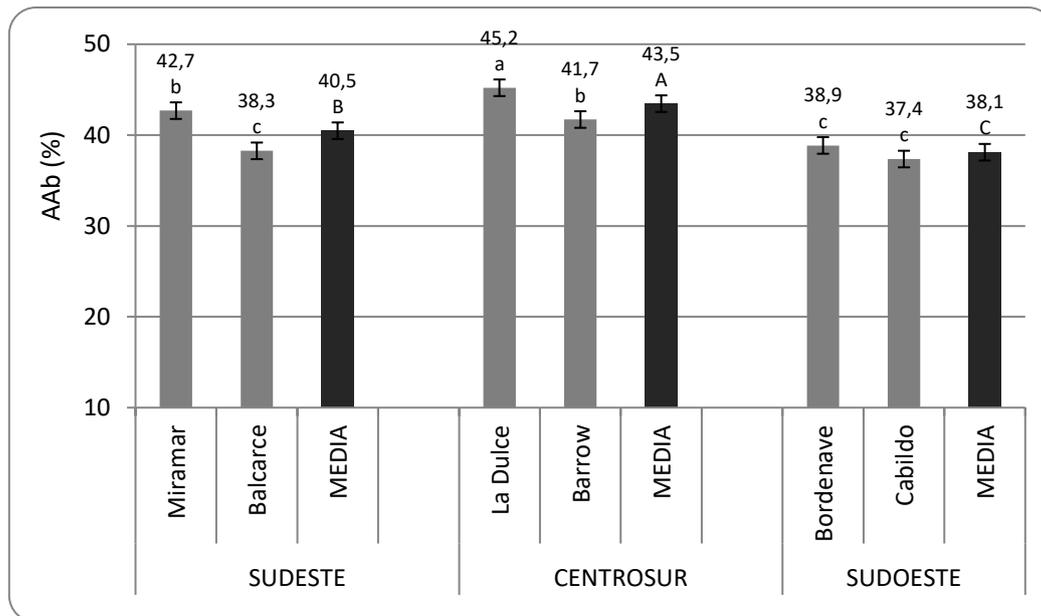
mantuvo sin cambios de ranking a lo largo de las nueve horas que duró el ensayo (Figura 13)



Los asteriscos (***) indican diferencias estadísticas altamente significativas ($P \leq 0,001$)

Figura 13: Agua absorbida (AAb, %) por semilla de trigo candeal para seis localidades de cultivo en función del tiempo de imbibición (Promedio de siete variedades)

Hacia el final de la imbibición el orden promedio de AAb de las semillas de las distintas localidades fue: La Dulce > Miramar = Barrow > Bordenave = Balcarce = Cabildo ($F=10,24$, $p \leq 0,0001$) (Figura 14). Cabe aclarar que si bien el ANOVA determinó diferencias significativas en los niveles de AAb entre localidades pertenecientes a la misma subregión de cultivo, cuando las mismas se agruparon por subregión el ranking de AAb fue Centrosur > Sudoeste > Sudoeste ($F=15,1$; $p < 0,0001$)

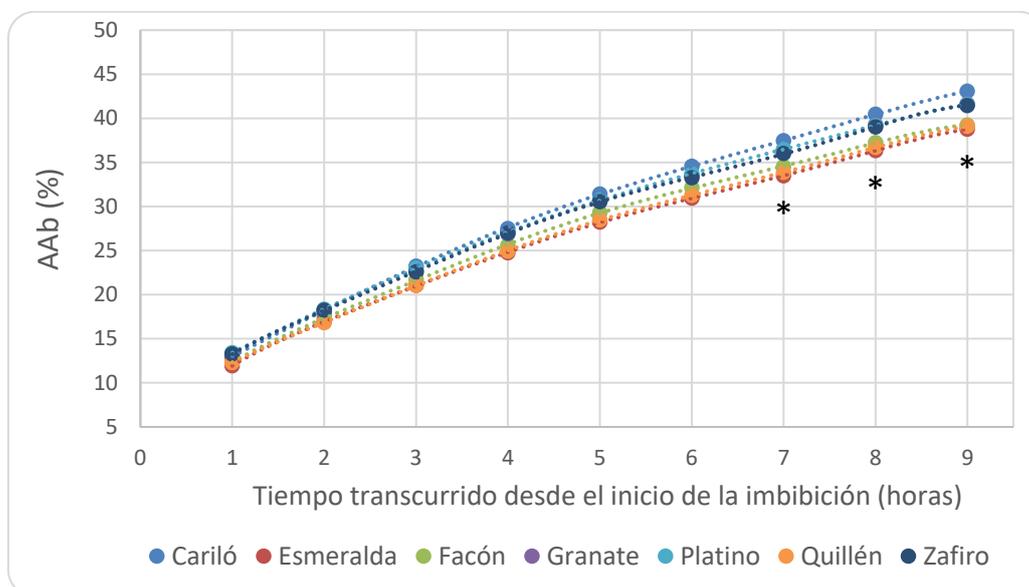


Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$)

Figura 14: Valores medios de Agua Absorbida (AAb, %), como porcentaje del peso seco de la semilla, para seis localidades ubicadas en tres subregiones de cultivo de trigo candeal del sur bonaerense (Promedio de siete variedades)

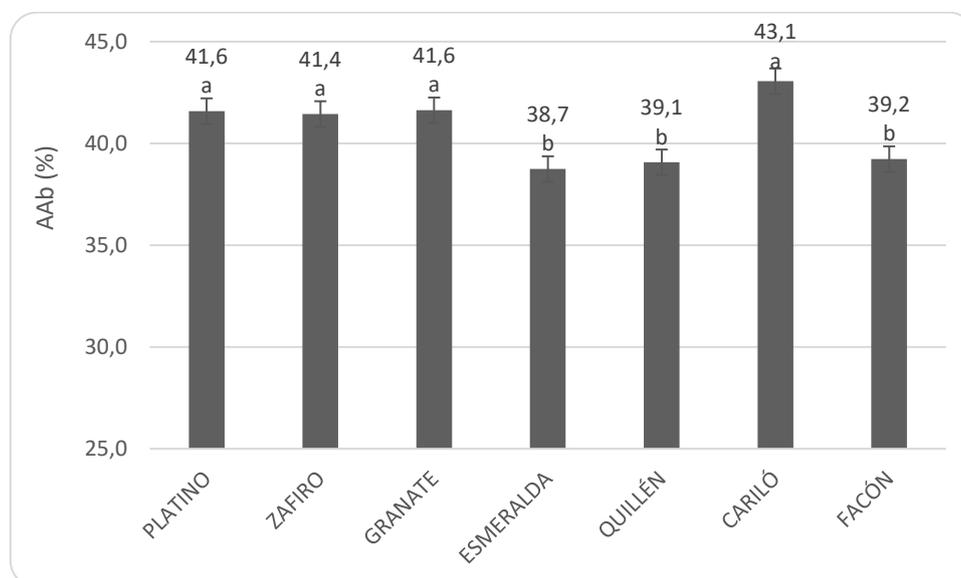
En lo que respecta a las variedades, si bien desde el inicio de la imbibición se observaron leves diferencias en los niveles de AAb, éstas alcanzaron niveles estadísticamente significativos solamente a partir de la 7^{ma} hora, de modo tal que al final de dicho proceso, el ranking de AAb fue Cariló = Granate = Platino = Zafiro > Facón = Quillén = Esmeralda ($F = 2,62$, $p \leq 0,05$) (Figuras 15 y 16). Investigaciones realizadas por Clarke (1980) concluyeron que las tasas de absorción de agua entre cultivares de trigo no fueron homogéneas, e incluso experimentaron cambios de ranking para la cantidad de agua absorbida a las 3, 7, 10 y 24 h después del inicio de la imbibición. Ashraf y Abu-Shakra (1978) reportaron diferencias significativas en la velocidad de absorción de agua entre variedades de trigo *aestivum* y *durum*, puntualizando que las primeras alcanzaron el contenido de humedad necesario para la germinación 24 horas antes (a las 72 y 96 horas para trigo *aestivum* y *durum*, respectivamente). En trigo pan, King (1984) reportó diferencias hasta del doble en la tasa de absorción entre variedades, concluyendo que la absorción de agua está condicionada por la estructura del grano. Butcher y Stenvert (1973) y Stenvert y Kingswood (1976) en trigo, y Chapman *et al.* (1978), en cebada, también

observaron diferencias varietales en la tasa de absorción de agua que fueron atribuidas a la textura del grano (harinosa o vítrea).



El asterisco (*) indica diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$)

Figura 15: Agua absorbida (AAb, %) por la semilla de siete variedades de trigo candeal, en función del tiempo de imbibición (Promedio de seis localidades de cultivo en el sur bonaerense)



Letras diferentes entre variedades indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$)

Figura 16: Valores medios de Agua Absorbida (AAb, %) al cabo de 9 horas imbibición de semillas de siete variedades de trigo candeal (Promedio de seis localidades de cultivo en el sur bonaerense)

B.2. Atributos de la semilla que impactaron sobre la dinámica de la imbibición

La velocidad de absorción de agua de las semillas puede verse influida por diversos factores, tales como la estructura de la cubierta seminal (nivel de permeabilidad), la fase de madurez, la proporción de fracciones de tamaño o calibre que la integran y su composición química (Ituen *et al.*, 1986; Singh y Kulshrestha, 1987; Nissreen y McKenna, 2007)

Un análisis de correlación simple realizado sobre el conjunto de variedades y sitios de procedencia de las semillas determinó que, entre todas las variables analizadas, la humedad inicial (HI) fue el atributo más estrechamente correlacionado con la VA y AAb en la primera hora de la imbibición ($r= 0,30$ y $r=0,31$, respectivamente; $P\leq 0,05$). Al final de dicho proceso, en tanto, los niveles de AAb se mostraron inversamente asociados al peso de mil de las semillas ($r= - 0,33$; $P\leq 0,05$; $N=42$ (tabla 2). Estas observaciones concuerdan con los resultados informados por otros autores en estudios realizados con semillas de trigo (Shahi *et al.*, 2015), girasol (Kaya y Day, 2008), avena (Willenborg *et al.*, 2005) y cártamo (Farhoudi y Motamedi, 2010), quienes coincidieron en que las semillas de menor peso absorben agua más rápidamente que las de mayor peso. En términos absolutos, sin embargo, las semillas de alto peso absorben más agua, pero demoran más tiempo en hacerlo. En cebada, Davidson *et al.* (1976) también observaron que el agua absorbida (expresada como porcentaje del peso de la semilla) disminuye a medida que el peso de la semilla aumenta, destacando que la absorción de agua puede verse influida además por el tamaño de la micrópila y del embrión.

Tabla 2: Correlaciones de Pearson entre la velocidad de absorción de agua (VA, $\text{mg g}^{-1} \text{h}^{-1}$) y el agua absorbida como porcentaje del peso seco de semilla (AAb, %) y algunos atributos de ésta, como son el peso de mil, el calibre (mm), el porcentaje de proteína (%), y la vitreosidad (%) en el trigo candeal (N=42)

	VELOCIDAD DE ABSORCIÓN ($\text{mg g}^{-1} \text{h}^{-1}$)		AGUA ABSORBIDA (%)	
	1 ^{ra} hora	1 ^{ra} hora	1 ^{ra} hora	9 ^{na} hora
VA 1 ^{ra} hora	---	---	---	---
AAb 1 ^{ra} hora	0,99***	---	---	---
AAb 9 ^{na} hora	0,87***	0,87***	---	---
HI (% ssh)	0,30*	0,31*		0,18
Peso de mil semillas	-0,27	-0,25		-0,33*
Proteína	0,15	0,15		0,08
Vitreosidad (%)	0,14	0,12		0,15
Cal >2,75mm	0,03	0,05		-0,14
Cal >2,5mm	0,00	-0,01		0,19
Cal >2,25mm	-0,05	-0,06		0,04

*, **, *** Indican diferencias estadísticamente significativas al 5, 1 y 0,1% de probabilidad, respectivamente.

Con relación a la influencia del peso de la semilla sobre la dinámica de la imbibición, un análisis pormenorizado de los datos en el transcurso de las 9 horas que duró el ensayo, reveló que en la primera hora de dicho proceso, las semillas que procedían de sendas localidades del Sudoeste bonaerense (Cabido y Bordenave) presentaron valores medios de VA significativamente menores a los predichos en función de su peso (Figura 17), lo cual se reflejó en niveles de absorción de agua que, al cabo de 9 horas, fueron un 14,2% y un 7,0% inferiores a los esperados, respectivamente. Cuando se excluyó a estas localidades del análisis, el peso de mil semillas promedio de los cuatro ambientes restantes permitió explicar un 97% de la variación en los valores medios de AAb alcanzados al final de la imbibición (Figura 18).

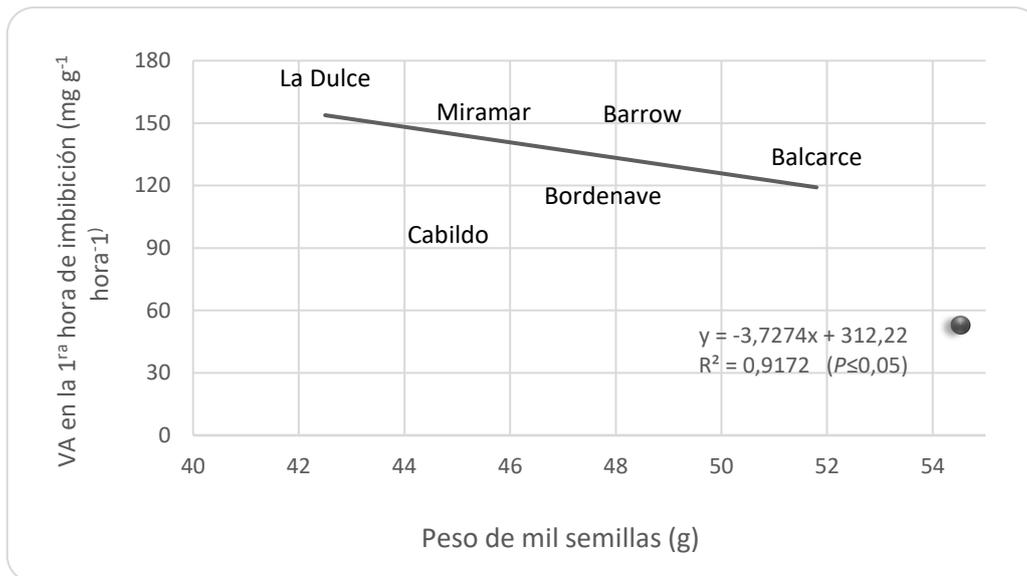


Figura 17: Velocidad de absorción de agua (VA, mg g⁻¹ hora⁻¹) durante la primera hora de imbibición en función del peso de mil semillas (g) para cuatro localidades de cultivo de trigo candeal (La Dulce, Miramar, Barrow y Balcarce)

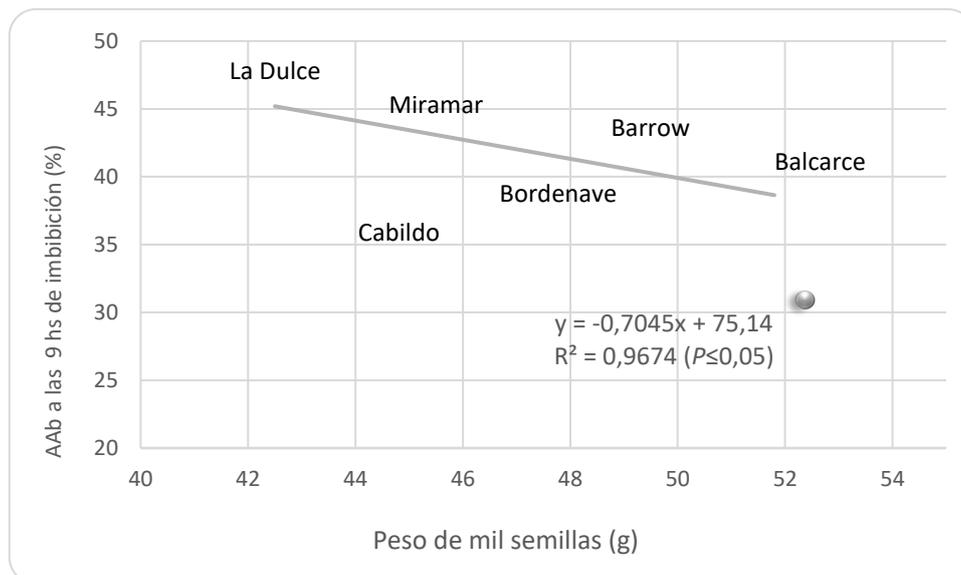


Figura 18: Agua absorbida en 9 hs de imbibición (AAb, %) en función del peso de la semilla, en cuatro localidades del sur bonaerense (La Dulce, Miramar, Barrow y Balcarce)

Un nuevo análisis de correlación simple reveló que entre las semillas procedentes de las cuatro localidades consideradas (Balcarce, Miramar, La Dulce y Barrow) la absorción de agua durante la primera y última horas del

proceso de imbibición estuvo negativamente correlacionada con el peso de mil de las mismas ($r= -0,77$ y $-0,62$; $p\leq 0,001$), y el porcentaje de semillas retenidas en la zaranda de 2,75mm ($r= -0,39$ y $-0,41$; $p\leq 0,05$), y positivamente correlacionada con el porcentaje de semillas retenidas en la zaranda de 2,50mm ($r= 0,43$ y $0,50$; $p= \leq 0,05$ y $\leq 0,01$) y el contenido de proteína de la semilla ($r= 0,48$ y $0,37$; $p= \leq 0,01$ y $\leq 0,05$) (Tabla 3).

Tabla 3: Coeficientes de correlación de Pearson entre el agua absorbida por la semilla durante la primera y novena horas de la imbibición y algunos atributos de la semilla asociados al peso, el tamaño, la composición y densidad en siete variedades de trigo candeal sembradas en Balcarce, Miramar, Barrow y La Dulce durante 2017 (N= 28)

	AGUA ABSORBIDA (%)	
	1 ^{ra} . hora	9 ^{na} . hora
AAb 1ra hora (%)	---	---
AAb 9na hora (%)	0,88 ***	---
Peso de mil semillas (g)	-0,77***	-0,62***
Cal >2,7 mm	-0,39*	-0,41*
Cal >2,5 mm	0,43*	0,50**
Cal >2,25 mm	0,26	0,16
Cal <2,25 mm	0,03	-0,06
Proteína (%)	0,48**	0,37*
Vitreosidad (%)	0,07	0,06

*, **, *** Indican diferencias estadísticamente significativas al 5, 1 y 0,1% de probabilidad, respectivamente.

En lo que concierne a los efectos del calibre de la semilla sobre la dinámica de la imbibición, los resultados son coincidentes con la evidencia recogida en la bibliografía, tanto para trigo como para otros cereales. Así, Kornarzynski *et al.* (2001), en Polonia, para tres fracciones de semilla de diferente calibre de la variedad de trigo de primavera Henika (2,0 / 2,5 y 3,0mm), observaron que la tasa de absorción de agua más rápida correspondió a las semillas de calibre más pequeño. Del mismo modo, Kaya y Day (2008) en girasol, concluyeron que la más rápida absorción de agua observada en las semillas de menor tamaño era un factor determinante para que éstas alcanzaran antes (que las

más semillas más grandes) el contenido de humedad requerido para la germinación. Asimismo, Beckert *et al.* (2000) informaron que el proceso de remojo en las semillas de soja más pequeñas era más rápido e intenso, y que ello podía relacionarse con el mayor contacto superficial con el suelo húmedo que les proporciona su menor tamaño. Estos autores también postularon que, en condiciones de restricción hídrica, las semillas más pequeñas pueden verse menos afectadas que las más grandes, quizás porque una pequeña cantidad de agua les resulta suficiente para activar el proceso de germinación.

En lo que respecta a los efectos del contenido de proteína de la semilla, los resultados de este trabajo revelan, *a priori*, una relación positiva entre dicha variable y la AAb. En sintonía con estas observaciones, López (1971) determinó que las tasas de absorción de agua de semillas de trigo y cebada, cultivados en suelos deficientes en nitrógeno, aumentaron como consecuencia de los mayores niveles de proteína alcanzados con el agregado de cantidades crecientes de fertilizante nitrogenado. Según este estudio, la mayor velocidad de absorción de agua derivó en una más rápida velocidad de germinación y tamaño de planta, haciendo énfasis en que los efectos beneficiosos del contenido de proteína de la semilla serían más evidentes bajo condiciones de estrés hídrico. En contraposición con estos resultados, Butcher y Stenvert (1973), y más recientemente, Wen *et al.* (2017), reportaron que una estructura de endosperma más laxa, vinculada con niveles de proteína medios a bajos, aumenta la velocidad de absorción de agua, lo cual favorecería una más rápida germinación del trigo. Estos últimos autores puntualizaron, además, que cambios en el contenido de proteína, derivados por ejemplo, de una fertilización nitrogenada, pueden eventualmente influenciar la absorción de agua y el contenido de humedad de la semilla, debido a modificaciones en la estructura interna del endosperma,

En línea con estas observaciones, Carbajo (2001), en nuestro país, también reportaron una mayor y más lenta absorción de agua en semillas de trigo candeal que de trigo pan, lo cual fue atribuido a la naturaleza más dura y vítrea de los granos de *durum*, en comparación con la textura más harinosa del trigo pan.

Los resultados del análisis de correlación simple de Pearson, realizado sobre los datos correspondientes a Cabildo y Bordenave, mostraron que, en estos sitios, la cantidad de agua absorbida durante la primera hora de la imbibición solo se mostró estrechamente correlacionada con el contenido proteico de la semilla ($r=0,75$; $p\leq 0,001$) (Tabla 4), no hallándose evidencia de los efectos de esta variable sobre el total de agua absorbida a la novena hora de dicho proceso. No obstante, de la tabla en cuestión se desprende la estrecha relación existente entre el AAb a la 1^{ra} y la 9^{na} horas ($r=0,74$, $p\leq 0,001$).

Tabla 4: Coeficientes de Correlación de Pearson entre el agua absorbida por la semilla durante la primera y novena horas de la imbibición y algunos atributos de la semilla asociados al peso, el tamaño, la composición y densidad, en siete variedades de trigo candeal sembradas en Cabildo y Bordenave durante 2017 (N= 14)

	AGUA ABSORBIDA (% sss)	
	1 ^{ra} hora	9 ^{na} hora
AAb 1 ^{ra} hora (%)	---	---
AAb 9 ^{na} hora (%)	0,74***	---
Peso de mil semillas (g)	0,08	-0,23
Cal >2,7	0,14	-0,23
Cal >2,5	-0,13	0,19
Cal >2,25	0,02	0,37
Cal <2,25	-0,41	0,13
Proteína (%)	0,75***	0,39
Vitreosidad (%)	0,27	0,33

*, **, *** Indican diferencias estadísticamente significativas al 5, 1 y 0,1% de probabilidad, respectivamente.

El contenido de proteína de la semilla fue, además, la variable que mejor explicó las escasas variaciones observadas entre variedades en los niveles medios de AAb durante la 1^{ra} hora de la imbibición (Figura 19). Conforme se observa en la figura, entre las variedades que presentaron niveles de proteína superiores al 12% (Granate, Zafiro y Platino) los valores de agua absorbida durante la 1^{ra} hora de la imbibición fluctuaron entre 12,96 y 13,41%, y se correspondieron ajustadamente con lo esperado en función del contenido

proteico de la semilla (entre 12,94% y 13,46%). En tanto, entre las variedades que presentaron niveles proteicos <12% (Cariló, Facón, Quillén y Esmeralda) los valores de agua absorbida en la 1^{ra} hora variaron en un rango más amplio, ubicándose entre un 4,6% por debajo (Esmeralda) y un 5% por encima (Cariló) de los valores esperados. Cabe aclarar que esta última variedad fue la única cuyo nivel de agua absorbida al cabo 9 horas de imbibición fue superior al esperado en relación a la absorción registrada en la 1^{ra} hora (Figura 20). Cuando Cariló se excluyó del análisis, el porcentaje de explicación que aportó el contenido proteico de la semilla a la variación en los valores medios de AAb de las restantes variedades mejoró significativamente, dando cuenta por un 83% y un 77% de la variación de dichos valores en la 1^{ra} y 9^{na} horas de la imbibición, respectivamente (Figura 21 y 22). En línea con estos resultados, Brancalion *et al.* (2008) concluyeron que las semillas con alta proteína tienen un porcentaje de absorción de agua mayor porque la proteína contiene más radicales hidrofílicos que el almidón. Asimismo, Benech-Arnold y Sánchez, (2004) determinaron que las semillas con altos niveles proteicos embeben más agua que las semillas que presentan mayores contenidos de lípidos.

En lo que respecta al comportamiento de Cariló, es probable que los mayores niveles de absorción de agua exhibidos durante la imbibición hayan estado relacionados con otros atributos de la semilla no considerados en este estudio, y que la bibliografía en el tema, asocia a la imbibición o la germinación, como podrían ser, por ejemplo, la forma de la semilla y/o del embrión (esfericidad, relación ancho/largo) (Manfreda y Acosta, 2015), y el tamaño de la micrópila o del embrión (Davidson *et al.*, 1978). Respecto de esto último, los resultados preliminares de un estudio llevado adelante sobre un conjunto más acotado de muestras, que además de Cariló, incluyó a Facón, Granate y Esmeralda, revelaron la existencia de diferencias significativas entre variedades, para varios de los atributos morfométricos del embrión y de la semilla (Di Rocco, com. Pers.), que permitirían explicar con mayor certeza la respuesta de la variedad Cariló durante la imbibición.

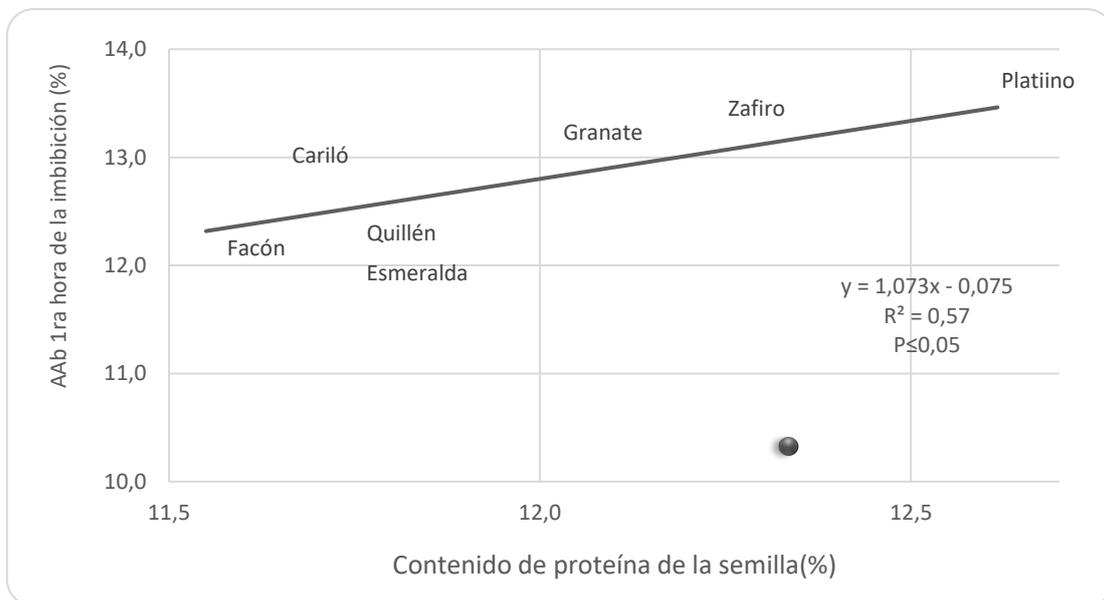


Figura 19: Valores medios de Agua absorbida (AAb, %) en la primera hora de la imbibición en función del contenido proteico de la semilla de siete variedades de trigo candeal

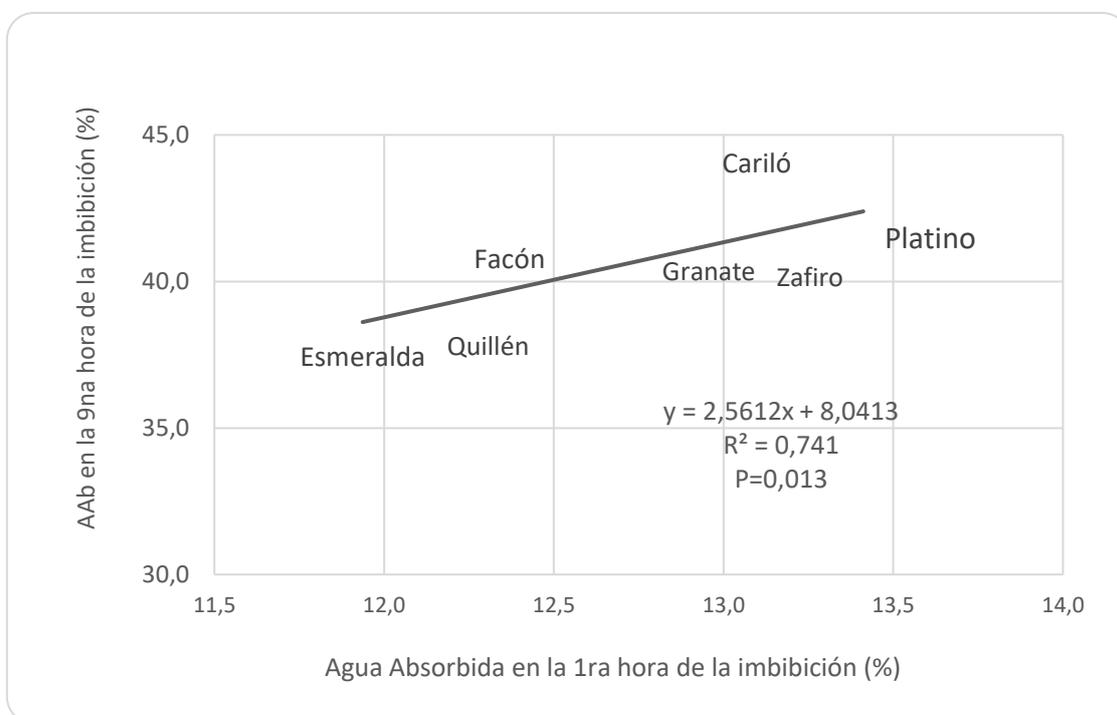


Figura 20: Agua absorbida (AAb, %) en la 9^{na} hora de imbibición en función del agua absorbida (%) en la 1^{ra} hora de imbibición de siete variedades de trigo candeal

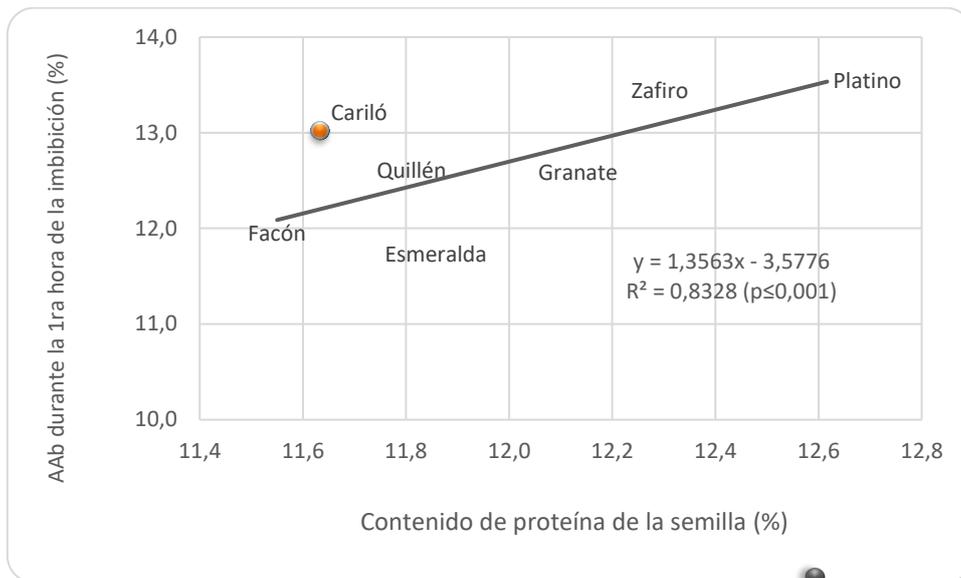


Figura 21: Valores medios de agua absorbida (AAb, %) durante la 1^{ra} hora de imbibición en función del contenido de proteína de la semilla de seis variedades de trigo candeal

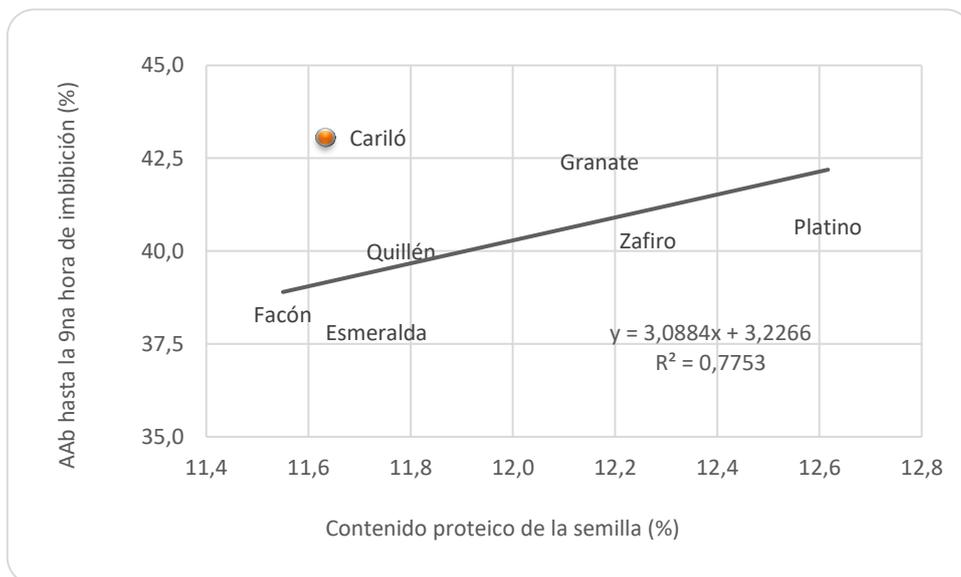


Figura 22: Agua absorbida hasta la 9^{na} hora de imbibición (AAb, %) en función del contenido proteico de la semilla (%) en seis variedades de trigo candeal

Conclusiones

Los resultados obtenidos en este estudio permiten concluir que:

- ❖ Bajo condiciones irrestrictas de disponibilidad de agua, las semillas de trigo candeal de las variedades y localidades evaluadas aumentaron ca. 5 veces su humedad, pasando de un valor medio inicial del 11,0%, a un 52,9%.
- ❖ La procedencia geográfica (localidad y zona), y la variedad utilizada, ejercieron un efecto significativo sobre la dinámica de la imbibición de las semillas, impactando principalmente sobre la velocidad de absorción de agua durante la primera hora, y sobre la cantidad de agua absorbida como porcentaje del peso seco de la misma.
- ❖ Para el conjunto de variedades y sitios de procedencia se observó que los niveles de AAb al cabo de 9 horas de imbibición estuvieron principalmente asociados al peso de mil de las semillas ($r = -0,33$; $P \leq 0,05$).
- ❖ El peso de la semilla fue, además, la variable que mejor explicó las diferencias en el porcentaje de AAb entre localidades, excepto en el caso de las localidades de la región del Sudoeste (Bordenave y Cabildo) donde los niveles de AAb fueron inferiores a los esperados en función de peso medio de la semilla.
- ❖ Las diferencias de AAb entre variedades estuvieron asociadas al porcentaje de proteína de la semilla ($r = 0,88$; $p \leq 0,01$), exceptuando a Cariló, que exhibió niveles de AAb superiores a los esperados, y que podrían estar relacionados con el tamaño de su embrión.

- ❖ Sobre la base de estos resultados se podría especular que existen características de las semillas, algunas de ellas no contempladas en la fórmula utilizada para el cálculo de la dosis de siembra (caso del contenido proteico), que podrían determinar variaciones en la dinámica de imbibición y germinación de las variedades, y ser posiblemente la causa de emergencias desuniformes a campo.

Bibliografía

- Akinci, C; Yildirim, M y Bahar, B. (2008). The effects of seed size on emergence and yield of durum wheat. *Journal of Food Agriculture and Environment* (6) 234 - 237.
- Aparicio, N; Villegas, D; Araus, J. L; Blanco, R y Royo , C. (2002). Seedling development and biomass as affected by seed size and morphology in durum wheat. *The Journal of Agricultural Science* (139) 143-150.
- Ashraf, C.M y Abu-Shakra, S. (1978). Wheat seed germination under low temperature and moisture stress. *Agronomy Journal* (70) 135-139.
- Azcón-Bieto, J y Talón, M. (2013). *Fundamentos de fisiología vegetal. Segunda edición*. McGraw-Hill - Interamericana de España, S. L y publicacion i edicions de la universitat de Barcelona.
- Beckert, O.P; Miguel, M.H y Marcos Filho, J. (2000). Absorción de agua e potencial fisiológico em sementes de soja de diferentes tamanhos. *Scientia Agricola* (4) 671-675.
- Benech-Arnold, R y Sánchez, R. (2004). *Handbook of Seed Physiology. Applications to Agriculture. Chapter 2* 51-87. CRC Press.
- Black M, Bewley JD y Halmer P. (2006). *The encyclopedia of seeds: science, technology and uses*. Oxfordshire, UK: CAB International.
- Brancalion, P. H; Tay, D; Rodrigues, R. R; Novembre, A. D y Cunha, L. D. (2008). Seed imbibition of five Brazilian native tree seed. *Acta Horticulturae* (771) 77-81.
- Butcher, J y Stenvert, N. L. (1973). Conditioning studies on Australian wheat. 111. The role of the rate of water penetration te wheat grain. *Journal of the Science of Food and Agriculture* (24) 1077-84.
- Carbajo, H. (2001). *Trigo Candeal. Manual Técnico. Capítulo III. Chacra Experimental Integrada de Barrow (Convenio MAGyAL-INTA)*.
- Chapman, S; Hart, L y Nardi, B. (1978). Rate of imbibition as a tool in screening for salt tolerance. *Cereal Research Communications* (6) 241-247.
- Clarke, P.M. (1980). Measurement of relative water uptake rates of wheat seed using agar media. *Canadian Journal of Plant Science* (60) 1035-1038.
- Cornish, A. B y Hindmarsh, A. C. (1988). Seed size influences the coleoptile length of wheat. *Australian Journal of Experimental Agriculture* (28) 521-3.
- Correa, J. (s.f.). *El proceso de germinación*. Obtenido de https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/30666/28230_18365.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Davidson, D; Eastman, M.A y Thomas, J.E. (1976). Water Uptake during germination of barley. *Plant Science Letters* (6) 223-230.
- Di Rienzo, J.A; Casanoves, F; Balzarini, M.G; Gonzalez, L; Tablada, M; Robledo, C.W. (s.f.). InfoStat versión 2013. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.
- Estimaciones Agrícolas. (s.f.). Obtenido de <http://datosestimaciones.magyp.gob.ar/reportes.php?reporte=Estimaciones>
- Farhoudi, R y Motamedi, M. (2010). Effect of salt stress and seed size on germination and early seedling growth of safflower (*Carthamus tinctorius* L). *Seed Science and Technology* (38) 73-78.
- Fernández Moroni, I; Vicente, M; Fioretti, M; Baioni, S; Brevedan, R. y Miravalles, M. (2018). Impacto de la variedad y la procedencia de la semilla sobre el proceso de imbibición de trigo para fideos (*Triticum durum* Desf.) XXXII Reunión Argentina de Fisiología Vegetal (RAFV) y XV Congreso Latinoamericano de Fisiología Vegetal. Córdoba. 11 al 15 de noviembre de 2018.
- Harb, A. M. (2012). Reserve mobilization, total sugars and proteins in germinating seeds of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) under water deficit after short period of imbibition. *Jordan Journal of Biological Sciences* (6) 67-72.
- Ituen E.U.U; Mital J.P y Adeoti J.S. (1986). Water absorption in cereal grains. *Journal of Food Process Engineering* (8) 147-158.
- Jensen, C.R y López, J. (2001). Trigo Candeal. En *Capítulo VIII. Chacra Experimental Integrada Barrow (convenio MAGyAL-INTA)*. 98pp.
- Kaya M.D; Day S. (2008). Relationship between seed size and NaCl on germination, seed vigor and early seedling growth of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *African Journal of Agricultural Research* Vol. 3 (11), pp. 787-791.
- Kaya, S y Day, M.D. (2008). Relationship between seed size and NaCl on germination, seed vigor and early seedling growth of sunflower (*Helianthus annuus* L). *African Journal of Agricultural Research* (3) 787-791.
- King, R.W. (1984). Water uptake in relation to pre-harvest sprouting damage in wheat. Grain characteristics. *Australian Journal of Agricultural Research* (35) 337-345.
- Kornarzyński, K; Pietruszewski, S y Łacek, R. (2001). Measurement of the water absorption rate in wheat grain. *International Agrophysics* (16) 33–36.
- Larsen, A. O. y Storm, A. C. (2020). *ECR Regional de trigo candeal – Campaña 2018/19*. Obtenido de https://inta.gob.ar/sites/default/files/resumen_regional_de_t.candeal_2018-19_-_variedades_-_completo.pdf.
- Lev, J y Blahovec, J. (2018). Effect of I2/KI water solution to wheat seeds imbibition assessed by image. *Agronomy Research* (16) 492 499.

- Lopez, A. (1971). Effect of seed protein content on plant. Master of science. Oregon State University.
- Louf, J.F; Zheng, Y; Kumar, A; Bohr, T; Gundlach, C; Harolt, J; Poulse, H.F y Jensen K.H. (2018). Imbibition in plant seed. *Physical Review* (98) 042403.
- Manfreda V.T y Acosta M.C. (2015). Variables de tamaño y forma de granos y embriones de trigo (*Triticum aestivum* L.): análisis y propuestas. *Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo* (47) 43-58.
- Méndez Natera, J.R; Laynes Garzaball, J.A y Mayz Figueroa, J. (2008). Efecto de la salinidad y del tamaño de la semilla sobre la germinación y crecimiento de plantulas de maíz (*Zea mays* L.) bajo condiciones de laboratorio. *Tip Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas* (11) 17-25.
- Mian, A.R y Nafziger, E.D. (1992). Seed size effects on emergence head number, and grain yield of winter wheat. *Journal of Production Agriculture* (5) 265–268.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. ingreso de trigo candeal con destino a la industria balanceadora. (s.f.). Obtenido de <https://datos.agroindustria.gob.ar/dataset/trigo-candeal-con-destino-industria/archivo/b833f052-5d72-4cfa-8a4a-ede1cc7ab171>
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. ingreso de trigo candeal con destino a la industria molinera. (s.f.). Obtenido de <https://datos.agroindustria.gob.ar/dataset/trigo-candeal-con-destino-industria/archivo/23b97a51-b5bb-45e6-9a1d-d081a40f1327>
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Subsecretaría de mercados agropecuarios. (s.f.). Obtenido de http://www.magyp.gob.ar/new/0-0/programas/dma/indec/granos/toneladas/tn_2018-trigo-candeal.php
- Miralles, D.J; González, F.G; Abeledo L.G; Serrago R.A; Alzueta L; García, G,A; de San Celedonio, R y Lo Valvo P. (2014). *Manual de trigo y cebada para el cono sur. Procesos fisiológicos y bases de manejo*. Orientación gráfica editora.
- Miravalles, M.T. (s.f.). Calidad Industrial del Trigo para Fideos en el Sur Bonaerense: Efectos del Genotipo, el Ambiente y sus Interacciones. Tesis de Doctorado. Departamento de Agronomía. Universidad Nacional del Sur. 2017. 266 pp.
- Mishra, A; Swamy, S; Bargali, S.S y Singh, A. (2010). Tree growth, biomass and productivity of wheat under five promising clones of *Populus deltoids* in agrisilviculture system. *International Journal of Ecology and Environmental Sciences* (36) 167-174.
- Mohan, A; Schillinger, W. F y Gill, K. S. (2013). Wheat Seedling Emergence from Deep Planting Depths and Its Relationship with Coleoptile Length. *Plos One* 8(9):e73314.
- Molfese, E. R; Astriz, V y Seghezzo, M. L. (2017). Evaluación de la calidad del trigo candeal (*Triticum turgidum* L. subsp. *durum*) en los programas de mejoramiento de Argentina. *RIA* 43 (3): 303-311.

- Mut, Z; Aydin, N y Akay, H. (2010). Effects of seed size and drought stress on germination and seedling growth of some oat genotypes (*Avena sativa* L.). *African Journal of Agricultural Research* (10) 1101-1107.
- Naguel, M; Navakode, S; Scheibal, V; Baum, M; Nachit, M; Roder, M. S y Borner, A. (2014). The genetic basis of durum wheat germination and seedling growth under osmotic stress. *Biologia Plantarum* (58) 681 - 688.
- Nissreen, A.G y McKenna, B. (1997). Hydration Kinetics of Red Kidney Beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Food Science* (62) 520-523.
- Pérez Escalona M.I. (1997). *Ácido acetilsalicílico como inhibidor de la germinación durante el osmocondicionamiento de las semillas. Tesis profesional para obtener el título de Licenciado en Biología.* Guadalajara, Jalisco. 75 pp
- Ramírez Mejía, J.L. (2016). Tasa de imbibición y su relación con la fisiología de las semillas en siete genotipos de trigo (*Triticum aestivum* L). Tesis para obtener el título de ingeniero agronomo en producción. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Rathjen, J.R; Strounina, E.V y Mares, D.J. (2009). Water movement into dormant and non-dormant wheat (*Triticum aestivum* L.) grains. *Journal of Experimental Botany* (60)1619–1631.
- Ronco, M; Beltrano, J y Gimenez, D.O. (2011). *Fisiología de la germinación. Departamento de Ciencias Biológicas. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata.*
- Royo, C; Ramdani, A; Moragues, M y Villegas, D. (2006). Durum wheat under mediterranean conditions as affected by seed size. *Journal Agronomy & Crop Science* (192) 257-266.
- Shahi, C; Vibhuti; Bargali, K y Bargali, S.S. (2015). How seed size and water stress affect the seed germination and seedling growth in wheat varieties? *Agriculture Research Journal* (3) 60-68.
- Singh, B.P.N y Kulshrestha, S.P. (1987). Kinetics of water sorption by soybean and pigeonpea grains. *Journal of Food Science* (52) 1538-1544.
- Siutti, E; Martiarena, R; Pouiller, C; Zerzer, C y De la Torre, M.I. (s.f.). *Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Revista número 8- marzo 2019.* Obtenido de https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/ss_mercados_agropecuarios/publicaciones/_archivos/000100_Revistas/000993_N%C3%BAmero%208-%20Marzo%202019.pdf
- Stenvert, N.L y Kingswood, K. (1976). Factors influencing the rate of moisture penetration into wheat during tempering. *Cereal Chemistry* (54) 627-637.
- Sung, F.J.M. (1992). Field emergence of edible soybean seeds differing in seed size and emergence strength. *Seed Science and Technology* (3) 527-532.

- Tedone, L; Ali, S.A y De Maestro, G. (2018). *Nitrogen in Agriculture. Capitulo 8* 131-155. IntecOpen.
- Vaz Mondo, V. H; Cicero, S. M; Dourado-Neto, D; Pupim, T. L y Neves Dias, M. A. (2013). Seed vigor and initial growth of corn crop. *Revista Brasileira de Sementes* (35) 064-069.
- Wen, D; Xu, H; Xie, L; He, M; Hou, H y Zhang, C. (2017). A loose endosperm structure of wheat seed produced under low nitrogen level promotes early germination by accelerating water uptake. *Scientific Reports* (7) 3116.
- Willenborg, C.J; Wildeman, J.C; Miller, A.K; Rossnaged, B.G y Shirtliffe, S.J. (2005). Oat germination characteristics differ among genotypes, seed sizes and osmotic potentials. *Crop Science* (45) 2023-2029.
- Zareian, A; Hamidi, A; Sadeghi, H y Jazaeri, M.R. (2014). Effect of seed size on some germination characteristics, seedling emergence percentage and yield of three wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars in laboratory and field. Middle-East. *Journal of Scientific Research* (13) 1126-1131.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional del Sur por haberme formado académicamente

A mi tutora por sus conocimientos, experiencia y paciencia a lo largo de todo el estudio, y a mis asesoras por sus indicaciones y correcciones

A mis padres y mi hermana por apoyo incondicional, que están conmigo siempre dándome la fuerza para continuar

A mis amigos y conocidos durante mi formación académica, por los buenos momentos compartidos y las horas de estudio que hicieron más fácil llegar a este momento