

## INDICE

1.-INTRODUCCIÓN .....	11
1.1.-Hipótesis.....	13
1.2.-Objetivo general .....	13
1.2.1-Objetivos específicos .....	13
2.-REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	14
2.1.-Morfología de los cereales .....	14
2.2.-Antecedentes generales del trigo harinero y duro .....	14
2.3.-Antecedentes generales de cebada.....	15
2.4.-Antecedentes generales del triticale .....	15
2.5.-Antecedentes de los genotipos de estudio. ....	16
2.5.1.-Pantera (trigo harinero) .....	16
2.5.2.-Queule (trigo duro) .....	16
2.5.3.-Aguacero (triticale) .....	17
2.5.4.-RCSL-8 (cebada) .....	17
2.6.-Producción de cereales.....	18
2.6.1.-A nivel mundial .....	18
2.6.2.- A nivel nacional y regional .....	18
2.7.-Deficit hídrico y productividad .....	19
2.7.1.-Producción de grano y rendimiento .....	20
2.8.- Clorofilas en plantas.....	22
3.- MATERIALES Y MÉTODOS .....	23
3.1.-Ubicación del experimento .....	23
3.2.-Material vegetal .....	23
3.3.- Preparación de macetas y material vegetal .....	24
3.4.- Diseño experimental.....	25
3.5.- Parámetros a evaluar .....	25
3.5.1.-Determinación del estado hídrico .....	25
3.5.2.-Contenido de clorofila en las hojas.....	25
3.5.3.-Mediciones de macollos .....	27
3.5.4.- Acumulación de materia seca .....	27
3.5.5.- Producción final. ....	28

3.6.- Análisis estadístico.....	28
4.-RESULTADOS.....	29
4.1-Consumo de agua del cultivo.....	29
4.2-Área foliar.....	31
4.3-Producción de macollos y tallos en cosecha.....	34
4.4-Contenido de clorofila.....	35
4.5-Acumulación de la materia seca y biomasa total.....	36
4.6-Cosecha.....	40
4.7-Eficiencia de uso de agua.....	42
5.-DISCUSIÓN.....	43
5.1.-Uso eficiente del agua.....	43
5.2.-Área foliar.....	43
5.3.-Número de macollos.....	45
5.4-Contenido de clorofila.....	45
5.5.-Acumulación de biomasa.....	45
5.6.-Cosecha.....	46
6.-CONCLUSIONES.....	49
7.-BIBLIOGRAFÍA.....	50
8.-ANEXO.....	56

## ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1: Superficie y rendimiento de cereales en Chile durante la temporada 2014/ 2015, 2015/ 2016 y 2016/ 2017.	19
Cuadro 2: Material vegetal utilizado en experimento realizado en condiciones semi-controladas (invernadero), proporcionado por el programa de mejoramiento genético de trigo de INIA-Quilamapu.	23
Cuadro 3: Solución nutritiva de Hoagland contenido de macro y micronutrientes (Hoagland & Arnon, 1950).	24
Cuadro 4: Número y fechas respectivas de cada muestreo para triticale, trigo harinero, trigo duro y cebada, junto a los respectivos estados Zadoks (Zadoks <i>et al.</i> , 1974).	27
Cuadro 5: Medias y grado de significancia para los distintos genotipos y tratamientos, en las variables; altura de planta (AP), biomasa total (g) por planta (BT), biomasa aérea (B) por planta y biomasa de raíces, y relación parte aérea: raíz (A:R). Se muestran las medias por tratamientos y las probabilidades de los efectos principales; genotipo, tratamiento y la interacción GxT del ANOVA.	39
Cuadro 6: Medias de rendimiento de grano por planta (g) y componentes del rendimiento, espigas/ planta, granos/espigas, número de granos por planta y peso de 1000 granos, el índice de cosecha (IC): para triticale, trigo harinero, trigo duro y cebada, en condiciones de riego (control) y sequía (estrés). Se indica la significancia de los factores genotipo y tratamiento, y de la interacción GxT. Cada valor corresponde a la media de 3 repeticiones.	41
Cuadro 7: Uso eficiente del agua (UA) en biomasa total (BT/UA; g/L), biomasa aérea (BA/UA; g/L) y rendimiento de grano (Rto/UA; g/L), en los cuatro cereales, bajo condiciones de riego y sequía. Se indica la significancia de los factores genotipo y tratamiento, y de la interacción GxT. Se muestran Valores seguidos por la misma letra, no presentan diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0,05$ ), Test de separación de medias Tukey. Cada valor corresponde a la media de 3 repeticiones.	42
Anexo 1: Etapas, descripción y sub-fase de estados zadoks (CIMMYT, 2016).	56

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Curvas de calibración para cada genotipo de cereal donde se logra obtener la ecuación de la recta, A) triticale, B) trigo harinero, C) en trigo duro y D) cebada, esto nos permitirá transformar las unidades de Dualex a contenido de clorofila total ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ).	26
Figura 2: Consumo de agua de las cuatro especies de cereales en condiciones de invernadero en dos tratamientos: control (línea continua) y sequía (línea punteada). En ensayo tuvo una duración de 21 semanas; desde el 4 de mayo al 21 de septiembre de 2016.	29
Figura 3: Contenido volumétrico de agua desde los 3 a los 8 cm de profundidad, medido con los sensores EC5, durante el desarrollo del experimento, A) trigo harinero y trigo duro, para control (C) y sequía(S). B). Triticale y cebada, en control y sequía.	31
Figura 4: Evolución del área verde foliar por planta ( $\text{cm}^2$ ) en los cuatro cereales: A) triticale, B) trigo harinero, C) trigo duro, y D) cebada, en condiciones de riego, línea continua, y sequía, línea discontinua, desde espigadura a madurez. Cada punto corresponde a la media de las tres repeticiones. Se presenta la línea de tendencia y su respectiva ecuación, junto al $R^2$ , (parte inferior de la figura), el eje X representa los días desde espigadura. La flecha indica el momento aproximado de antesis.	32
Figura 5: Evolución del área verde foliar de hoja bandera ( $\text{cm}^2$ ) en los cuatro cereales: A) triticale, B) trigo harinero, C) trigo duro, y D) cebada, en condiciones de riego línea continua y sequía línea discontinua, desde espigadura a madurez. Cada punto corresponde a la media de las tres repeticiones. Se presenta la línea de tendencia y su respectiva ecuación, junto al $R^2$ , (parte inferior de la figura), el eje X representa los días desde espigadura. La flecha indica el momento aproximado de antesis.	34
Figura 6: Producción de macollos, tallos y espigas, en días desde siembra (dds), en triticale, trigo harinero, trigo duro y cebada. Las evaluaciones fueron realizadas desde el día 29 al 71 después de siembra, durante pre-antesis antes del comienzo de los tratamientos, el día 154 corresponde al momento de madurez de cosecha, en condiciones de control (C) y sequía (S). Cada barra es la media de 21 repeticiones para macollos y 3 para espigas. Las barras muestran el error individual.	35
Figura 7: Contenido de clorofila total ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) en días desde hoja bandera, para los diferentes genotipos triticale (azul), trigo harinero (verde), trigo duro (naranja) y cebada (celeste). Las mediciones se realizaron cada 7 días desde que cada cereal estuvo con la hoja bandera del tallo principal extendida, para las condiciones de control (línea continua) y sequía (línea discontinua). Cada punto es la media de 3 repeticiones.	36
Figura 8: Acumulación de materia seca aérea en hojas, tallos y espigas, en los tratamientos control (línea continua) y sequía (línea discontinua), de los cuatro cereales: A) triticale, B) trigo harinero, C) trigo duro y D) cebado. Las mediciones fueron realizadas desde la espigadura de cada cereal. La flecha indica el momento aproximado de espigadura.	37

Figura 9: Partición porcentual de los diferentes órganos de las plantas al momento de la cosecha: granos, capotillo (corresponde a las espigas sin granos), raíces, tallos y hojas, con respecto a la biomasa total de la planta, para cada cereal; triticales, trigo harinero, trigo duro y cebada, en condiciones de riego y sequía.

38

## 1.-INTRODUCCIÓN

La intensidad lumínica, la temperatura, la salinidad, la disponibilidad hídrica y de nutrientes, el CO<sub>2</sub> etc., se encuentran entre muchos de los factores ambientales que afectan el crecimiento y la productividad de los cultivos, de los cuales, la sequía se considera como una de las principales causales que disminuyen el rendimiento agrícola (Méndez-Espinoza, 2014).

Sumado a lo anterior, se encuentra el efecto acelerado del cambio climático, que se evidencia, por ejemplo, en el incremento de la temperatura del aire y los océanos, provocando el derretimiento progresivo de hielos y glaciares, que se manifiesta con un crecimiento en el nivel del mar, todo esto, junto con el aumento de la población y la reducción, de las tierras cultivables disponibles necesaria para mantener la sostenibilidad agrícola (Nelson *et al.*, 2009).

La agricultura es extremadamente vulnerable al cambio climático, principalmente por el aumento de temperaturas y escasas de lluvia que provocan una reducción de la producción y a la vez aumentan la presencia de malas hierbas y pestes (Nelson *et al.*, 2009). Por ello, la importancia relativa del fitomejoramiento para elevar el potencial de rendimiento y capacidad de adaptación de los cultivos (Araus, 2008). Por ejemplo, el aumento de la tolerancia al estrés hídrico en las nuevas variedades, de trigo, cobra cada vez más importancia en los programas de mejoramiento genético (Araus, 2008).

El desarrollo de una agricultura sostenible acompañada con un aumento de la productividad, tiene como estrategia relevante aumentar la eficiencia del uso del agua (WUE) y mantener una baja evapotranspiración (ET) de los cultivos, asociado principalmente a una reducción de las pérdidas por evaporación. Por lo tanto, tanto ET como WUE deben ser considerados al evaluar los efectos del calentamiento global sobre las tierras de cultivo (Mo *et al.*, 2009).

Otro factor importante en el desarrollo de las plantas es la acumulación de materia seca en los diferentes órganos, que se ha correlacionado positivamente con el rendimiento de los granos, la producción total de materia seca y la acumulación de nutrientes en los cultivos (Meng *et al.*, 2013). Cuando las plantas están expuestas a estrés hídrico, depende del momento en que éste se presente el efecto que tendrá, así por ejemplo, en cereales la cantidad potencial de hijuelos (brotes axilares o macollos), y por ende, de panículas por unidad de área, es la primera que se determina, seguida de la cantidad de granos por

panícula y, por último, el tamaño del grano todos estos parámetros determinan los componentes del rendimiento (Passioura & Angus, 2010).

Los cereales siguen siendo, con gran diferencia, la fuente de alimentos más importante del mundo, tanto para consumo humano directo como para el consumo indirecto en la producción pecuaria y animal. Por tanto, lo que ocurra en el sector de los cereales será crucial para los suministros mundiales de alimentos (FAO, 2015). En Chile, la superficie de cereales sembrada durante la temporada 2016/2017, fue de 512.654 ha de las cuales, 205.189 ha fueron de trigo harinero, 19.853 ha de trigo candeal, 13.574 ha de cebada y 20.122 ha de triticale (ODEPA, 2017).

La producción de cereales es fuertemente influenciada por la disponibilidad hídrica (INIA, 2006). En estudios comparativos entre cereales de grano pequeño, tanto bajo condiciones hídricas favorables como de secano el triticale (*Triticosecale Wittmack*), trigo harinero (*Triticum aestivum*), trigo duro (*Triticum durum*) y cebada (*Hordeum vulgare*), mostraron diferencias en el rendimiento de grano, lo que sugiere que presentan distintas tolerancias al estrés hídrico (Khan *et al.*, 2015). En base a esto se plantea el presente trabajo de comparativa de cuatro cereales bajo estrés hídrico en invernadero.

### **1.1.-Hipótesis**

Las cuatro especies de cereales; triticale, trigo harinero, trigo duro y cebada muestran diferencias en el rendimiento y en las respuestas fisiológicas al estrés hídrico.

### **1.2.-Objetivo general**

Comparar la respuesta fisiológica y rendimiento de grano, triticale, trigo harinero, trigo duro y cebada al estrés hídrico, en condiciones semi-controladas (invernadero).

#### **1.2.1-Objetivos específicos**

- I. Comparar los cambios en el contenido de clorofila y área foliar de la hoja, durante el desarrollo de post antesis de los cuatro cereales.
- II. Evaluar la formación de macollos, acumulación de biomasa total y producción de espigas en la post antesis de los cuatro cereales.
- III. Evaluar el consumo de agua durante el desarrollo de los cultivos.
- IV. Evaluar rendimiento de granos, el índice de cosecha y sus componentes de los diferentes cereales.