

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y FORESTALES



**EFECTO DELA TASA DE RIEGO APLICADO DESDE ANTESIS, SOBRE LA
EFICIENCIA DE USO DEL AGUA Y RENDIMIENTO DE TRIGO (*Triticum aestivum* L.)
CV. DOLLINCO**

Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de La Frontera. Como parte de los requisitos para optar al título de Ingeniero Agrónomo.

YERKO ANDRES FELIPE AEDO CAMPOS

TEMUCO - CHILE

2013

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y FORESTALES



**EFECTO DE LA TASA DE RIEGO APLICADO DESDE ANTESIS, SOBRE LA EFICIENCIA DE USO DEL AGUA Y RENDIMIENTO DE TRIGO (*Triticum aestivum* L.)
CV. DOLLINCO**

Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de La Frontera. Como parte de los requisitos para optar al título de Ingeniero Agrónomo.

YERKO ANDRES FELIPE AEDO CAMPOS

PROFESOR GUÍA: JORGE BARAONA VENEGAS

TEMUCO - CHILE

2013

EFFECTO DE LA TASA DE RIEGO APLICADO DESDE ANTESIS, SOBRE LA EFICIENCIA DE USO DEL AGUA Y RENDIMIENTO DE TRIGO (*T.aestivum* L.) CV. DOLLINCO

PROFESOR *GUIA* : *JORGE A. BARAONA VENEGAS*
INGENIERO AGRONOMO, M. Sc.
Departamento de Ciencias Agronómicas y Recursos Naturales.

PROFESOR CONSEJERO : *ITILIER T. SALAZAR QUINTANA*
M. Sc. EN CIENCIAS QUÍMICAS
Departamento de Ciencias Químicas y Recursos Naturales.

CALIFICACION PROMEDIO TESIS:

INDICE

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUCCION | 2 |
| 2. REVISION BIBLIOGRAFICA..... | 4 |
| 2.1 Antecedentes generales del trigo (<i>Triticum aestivum</i> L.) | 4 |
| 2.2 Requerimientos edafoclimaticos del cultivo. | 4 |
| 2.3 Rendimiento y componentes de rendimiento..... | 5 |
| 2.4 Requerimientos hídricos del cultivo. | 6 |
| 2.5 La Evapotranspiración. | 7 |
| 2.5.1 Evapotranspiración de Referencia (ET _o) | 7 |
| 2.5.2 Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (ET _c) | 8 |
| 2.6 Periodos críticos del cultivo en periodo de déficit hídrico. | 8 |
| 2.7 Medición del contenido de humedad del suelo..... | 9 |
| 2.8 Eficiencia del uso del agua (EUA) y productividad del agua. | 10 |
| 3. MATERIALES Y METODOS | 11 |
| 3.1 Ubicación del ensayo. | 12 |
| 3.2 Duración de la investigación..... | 12 |
| 3.3 Características edafoclimáticas..... | 12 |
| 3.4 Material biológico..... | 13 |
| 3.5 Instalación del ensayo y materiales utilizados..... | 13 |
| 3.6 Determinación de la evapotranspiración y dosis de riego aplicado..... | 13 |
| 3.7 Determinación del contenido de humedad del suelo..... | 15 |
| 3.8 Determinación del área específica | 15 |
| 3.9 Determinación del rendimiento y componentes de rendimiento..... | 16 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 3.9.1 | Peso de componentes vegetativos de la materia seca aérea. | 16 |
| 3.9.2 | Número y peso de espigas..... | 16 |
| 3.9.3 | Numero de granos por espiga..... | 16 |
| 3.9.4 | Rendimiento de grano.. | 16 |
| 3.10 | Determinación de la eficiencia de uso del agua y su productividad. | 16 |
| 4. | PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS..... | 17 |
| 4.1 | Agua aplicada..... | 17 |
| 4.2 | Contenido de humedad del suelo. | 19 |
| 4.3 | Rendimiento..... | 23 |
| 4.4 | Biomasa total aérea. | 25 |
| 4.4.1 | Materia seca de las hojas..... | 25 |
| 4.4.2 | Materia seca de tallos | 26 |
| 4.4.3 | Peso y Numero de espigas..... | 27 |
| 4.4.4 | Numero de granos por espiga..... | 29 |
| 4.5 | Área específica de las hojas. | 31 |
| 4.6 | Eficiencia del uso del agua. | 32 |
| 4.7 | Productividad del riego. | 33 |
| 5. | CONCLUSIONES. | 35 |
| 6. | RESUMEN | 36 |
| 7. | SUMMARY | 37 |
| 8. | LITERATURA CITADA..... | 38 |
| | ANEXOS..... | 43 |

INTRODUCCION

La Región de La Araucanía se destaca por la producción de cultivos tradicionales de cereales tales como trigo, avena y cebada, además de lupino y papa. De los anteriores, el trigo es el cereal de mayor importancia en la región, cuyo cultivo concentra más del 40 % de la producción nacional.

El trigo en esta zona de Chile es un cultivo netamente de secano, pero en los últimos años se ha requerido implementar la opción de riego suplementario para satisfacer las necesidades de agua del cultivo en los periodos de déficit hídricos en la temporada.

Lo anterior debido a modificaciones en las condiciones climáticas, que han provocado un aumento en la temperatura, conllevando una mayor demanda hídrica de los cultivos y una menor disponibilidad del agua en la zona Sur, atisbos de un posible efecto del cambio climático global.

Otro aspecto a considerar es cuán eficiente es el cultivo en el uso del agua en condiciones de secano comparado con riego, ante posibles escenarios de déficit hídrico, instancia en que será necesario priorizar y/u optimizar al máximo el recurso, para no afectar los rendimientos, producción y rentabilidad para el agricultor.

Existen investigaciones que demuestran un aumento del rendimiento en el cultivo de trigo cuando se aplica riego suplementario en la etapa de floración, que corresponde a uno de los periodos críticos del cultivo por demanda de agua, frente a periodos de escasez hídrica.

En relación a lo expuesto anteriormente, esta investigación tiene como hipótesis que aumentando la tasa de aplicación de riego desde la etapa de antesis, aumentaría el rendimiento y la eficiencia de uso del agua por el cultivo de trigo cv. Dollinco.

El objetivo general fue evaluar el efecto de distintas tasas de riego, aplicadas entre el estado de antesis y madurez de grano, sobre la eficiencia del uso del agua y rendimiento de Trigo cv. Dollinco en el Campo Experimental Maquehue, Región de La Araucanía durante la temporada 2011-2012.

Objetivos específicos:

1. Determinar el efecto de cuatro tasas de riego sobre el rendimiento del Trigo cv. Dollinco y los componentes de este rendimiento.
2. Establecer la eficiencia del uso de agua del trigo sometido a cuatro tasas de riego aplicadas desde ané debate a madurez de grano.
3. Cuantificar el contenido de agua del suelo en relación con el volumen de agua aplicado.
4. Evaluar el efecto de las tasas de riego aplicadas sobre el área foliar específica de las hojas, como indicador de la condición de estrés hídrico.

2. REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1 Antecedentes generales del trigo (*Triticum aestivum* L.)

El trigo es una planta anual que pertenece a las familias de las gramíneas (Águila, 1987), y cuyo origen corresponde al suroeste de Asia, siendo introducido a Chile en el siglo XVI por los colonizadores españoles y a Estados Unidos por los primeros colonizadores ingleses (Poehlman, 1965).

Según Faiguenbaum (2003), las especies más importantes del trigo corresponden a *Triticum aestivum* L., el cual se utiliza en la producción panadera, galletas y repostería. La segunda, *Triticum turgidum* L. ssp. *Durum* (Desf.) *Huns*, especie utilizada en la obtención de semolina para la fabricación de fideos y pastas.

Kent y Evers (1994), según su importancia, establecieron que el uso de este cereal estaría mayoritariamente destinado para la alimentación humana (67%), en segundo lugar, para la alimentación animal (20%), y cerca de 7%, para semilla y uso industrial.

En Chile, el cultivo de trigo se encuentra desde la I a la XI región, pero se concentra básicamente entre la VII y la IX región, donde se siembra aproximadamente el 80% del total nacional. A nivel nacional la superficie de cultivos anuales establecidos en la temporada 2005/2006 fue de 754.550 ha, de las cuales 314.720 ha correspondieron a siembras de trigo, abarcando el 41,7 % de la superficie destinadas a cultivos anuales. En la temporada 2011/2012 el rendimiento obtenido fue de 49,5qqm/ha, con una producción total nacional de 1.212.983 toneladas (ODEPA, 2013).

2.2 Requerimientos edafoclimaticos del cultivo.

El trigo prospera en texturas de suelos franco-arcillo-limosos y franco-arcillosos (Benacchio, 1982). Según Luzio y Alcayaga (1992), el cultivo se siembra en diferentes tipos de suelos perteneciente a uno de los siguientes ordenes: Entisoles, Inceptisoles, Mollisoles,

Alfisoles, Vertisoles, Andisoles o Utisoles. Requiere suelos con buen drenaje para no afectar el desarrollo radicular (Doorenbos y Kassam, 1979).

El clima más favorable para este cereal es de tipo mediterráneo, lluvioso en invierno y seco en verano el cual está presente desde la IV a la IX regiones, sin periodos de sequía (Novoa y otros, 1989). En relación a la humedad ambiental requiere una atmósfera seca, la alta humedad no le es favorable (Benacchio, 1982), ya que propician la presencia de enfermedades fungosas.

Las etapas de germinación, emergencia, macolla y elongación de las hojas que forman parte de la etapa vegetativa requiere una temperatura base de unos 2°C, la elongación del tallo y la fase reproductiva requiere una temperatura base sobre 6°C (Del Pozo et al., 1987).

El trigo de invierno necesita un período frío (vernalización) durante sus primeras etapas de crecimiento, para el desarrollo normal de las espigas durante los días largos. En sus etapas iniciales de desarrollo, el trigo de invierno tolera temperaturas de hasta -20°C, sin embargo, en las siguientes etapas de desarrollo el trigo es susceptible al daño por heladas cercanas a 0°C. Heladas en trigo de primavera durante la floración y desarrollo de la espiga, producen alto grado de esterilidad (Doorenbos y Kassam, 1979).

2.3 Rendimiento y componentes de rendimiento

El rendimiento es expresado en forma absoluta, como el carácter multigenico, en cuya expresión participan en acción e interacción, todos los genes y mecanismo de las plantas. Debido a estos, es frecuentemente modificado por el medio ambiente. Es así, como la acción individual de cada componente del rendimiento es drásticamente afectada por el medio ambiente y por la interacción de los restantes componentes del rendimiento (Parodi, 1980).

Los componentes del rendimiento están determinados en diferentes épocas de la ontogenia del cultivo, por este motivo son afectados en períodos diferentes por el medio ambiente. Como consecuencia, se obtiene un efecto compensatorio (Díaz y Parodi, 1974; Parodi, 1980).

Los componentes para estimar el rendimiento en trigo son número de espigas por metro cuadrado, el número de espiguillas por espiga, el número de granos por espiguilla y el peso de los granos (Faiguenbaum, 2003).

En zonas donde la humedad del suelo es restrictiva durante la primavera, el riego es el factor más importante en la productividad, ya que el rendimiento está relacionado directamente con el agua que la planta transpira (Mellado, 2007).

2.4 Requerimientos hídricos del cultivo.

En Chile, el 75% de las siembras de trigo se desarrollan bajo el régimen de secano, es decir, el agua aportada al suelo, corresponde a la agua lluvia.

La cantidad de agua que utiliza el cultivo a través de sus diferentes estados de desarrollo vegetativo y reproductivo hasta llegar a madurez fisiológica se denomina uso consumo (Mellado, 2007). El trigo requiere de 700 a 1.000 mm de precipitaciones durante el ciclo del cultivo (Benacchio, 1982).

Se debe partir de la premisa que cuando las siembras de trigo no cuentan con condiciones naturales que aseguren una disponibilidad de agua ajustada a los requerimientos de la planta, es necesario regarlas. En las áreas de producción triguera del país, el déficit hídrico es una de las principales limitaciones para la producción de trigo en secano, desde la IV hasta la VIII regiones, fenómeno que se ha agudizado en los últimos cien años (Mellado, 2007). Por ejemplo, en La Serena la precipitación ha disminuido de 170 mm anuales a menos de 80 mm durante el siglo XX (DGA, 1987).

En la zona centro sur del país, las necesidades de agua para el cultivo aumentan significativamente desde el mes de octubre hasta diciembre, debido al rápido desarrollo y crecimiento de las plantas, y al aumento del poder de evaporación a la atmosfera, que coincide con las etapas de encañado, espigado y formación de grano. Este mayor consumo de agua por parte del trigo durante la primavera, a veces se ve obstaculizado por la falta de precipitaciones en las siembras de secano, incluso en el sur de Chile (Mellado, 2007).

Rouanet y otros (2001), señalan que en experimentos efectuados en Nueva Imperial (IX Región) la caída de la humedad aprovechable del suelo, desde octubre en adelante, habría afectado negativamente el llenado de grano de la variedad Dalcahue-INIA sembrada en mayo.

2.5 La Evapotranspiración.

Perrier (1984), define este proceso como “la pérdida total de agua de una cubierta vegetal bajo forma de vapor a través de la evaporación y transpiración durante un intervalo de tiempo dado. La evaporación y la transpiración ocurren simultáneamente, siendo muy difícil cuantificar cada uno por separado (Salgado, 2001).

Ollala *et al.*, (1993), define evapotranspiración como la suma del agua evaporada directamente durante el proceso de riego, del agua evaporada desde el suelo, la evaporación de agua libre interceptada y retenida en la superficie de la cubierta y del agua absorbida por el cultivo y transpirada hacia la atmósfera. Tanto la evaporación como la transpiración son procesos físicos muy similares, en cual el agua pasa del estado líquido a vapor, liberándose hacia la atmósfera, estos procesos difieren en el tipo de superficie evaporante (Fuentes, 2003; Parker, 2000).

Ambos procesos estarían limitados, por la demanda evaporativa de la atmósfera, cantidad de agua disponible en el suelo, por las características del suelo y por las características de la cubierta vegetal (Ritchie, 1971). A medida que crece y se desarrolla la cubierta vegetal aumenta la transpiración, en consecuencia aumenta el índice foliar y el grado de cobertura de la superficie, por lo tanto cuando la cobertura es total, la transpiración es la principal fuente de pérdida de agua (Ollala *et al.*, 1993).

2.5.1 Evapotranspiración de Referencia (ET_o). El concepto se introdujo para estudiar la demanda de evapotranspiración a la atmósfera, independientemente del tipo y desarrollo del cultivo y de las prácticas de manejo (Allenset *al.*, 2006). La superficie de referencia corresponde al consumo de agua de un cultivo de alfalfa o gramíneas con características específicas, bajo ciertas condiciones en un periodo de tiempo (Fuentes, 2003). El mismo autor señala los factores que afectan la evapotranspiración de referencia, entre ellos,

factores climáticos, por lo mismo puede ser calculada con datos climáticos. ETo expresa el poder evaporante de la atmósfera en una localidad y época del año específicas, sin considera las características del cultivo, ni los factores del suelo.

2.5.2 Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (ETc). Es la correspondiente a la cubierta vegetal exenta de enfermedades, en condiciones óptimas de suministro de agua y nutrientes, en amplias superficies, con el fin de obtener la máxima producción en ciertas condiciones climáticas. La ETc depende de la fase del crecimiento en que se encuentre el cultivo (Fuentes, 2003).

Las características morfológicas y fisiológicas que poseen tanto el cultivo de estudio, como el cultivo de referencia (alfalfa o gramínea) difieren la ETc y ETo, estos se relacionan a través, de un coeficiente de cultivo; que es el cociente entre ambas, el cual permite librar las diferencias presentadas entre ambos cultivos (Allen *et al.*, 2006)

Gurovich (1997), señala que los factores atmosféricos involucrados son: la humedad relativa del aire, la insolación y la radiación solar. En tanto, Doorenbos y Pruitt (1977), admiten el hecho de que la evapotranspiración está influenciada por la temperatura y la velocidad del viento.

2.6 Periodos críticos del cultivo en periodo de déficit hídrico.

El agua juega un papel fundamental desde la emergencia hasta la madurez fisiológica; por lo que no debe faltar en ningún momento durante el ciclo del cultivo (Mellado, 2007).

El periodo más sensible a déficit hídrico comprende entre el estado de bota y floración, mientras que el periodo en que el riego produce más beneficios al cultivo abarcaría entre estado de encañado a grano pastoso. Rawson y Macpherson (2001) indican que la demanda de agua es más elevada entre el macollaje y el encañado. Un déficit hídrico en estado pre-antesis afecta el índice de área foliar, el índice foliar y numero de granos por espiga (Hochman, 1982). Los

períodos de escasez de agua que pueden coincidir con momentos críticos de definición del rendimiento, desde 20 días prefloración a 10 días post floración, para el caso del trigo (Slafer *et al.*, 2003), siendo necesaria la aplicación de agua por riego.

Cuando la humedad aprovechable del suelo es escasa en la fase vegetativa, se reduce el número de macollas y disminuye el tamaño de la planta, debido a que se afecta el crecimiento celular, durante el periodo de encañado el déficit hídrico afecta el inicio de los primordios florales, si la humedad faltase antes de floración se disminuye la cantidad de biomasa y la altura, mientras que durante la floración se afecta la cantidad potencial de granos por espigas, si falta durante el periodo de llenado de grano, se afecta el peso y tamaño de los granos (Mellado, 2007).

En situaciones de una severa sequía durante la floración, el rendimiento se reduce a un mínimo debido al aborto floral, acompañado de bajo porcentaje de fecundación, lo cual origina la producción de pocos granos y de mal desarrollo. En periodo de llenado de grano una severa sequía causara la detención del proceso de translocación de fotosintatos. Lo anterior se agrava más si es acompañado de periodos de fuertes vientos y temperaturas altas (Mellado, 2007).

2.7 Medición del contenido de humedad del suelo.

El contenido de humedad del suelo es un indicador del consumo, dado que el balance hídrico establece que las variaciones en este contenido, equivale a la diferencia entre las entradas de agua al suelo y las salidas (Ollala *et al.*, 1993).

Es necesario indicar, la gran dificultad que tiene el obtener datos representativos del contenido hídrico del suelo en terreno, dado la gran variabilidad vertical y horizontal que dicho contenido presenta, debido a la dinámica del agua, a irregularidades en la distribución de las raíces, a los cambios topográficos y a las diferencias de propiedades físicas de los distintos perfiles de suelo (Ollala *et al.*, 1993).

Desde el punto de vista hidrológico, el suelo, es un depósito de agua cuya capacidad para contenerla y retenerla dependen en gran medida de sus propiedades físicas y químicas (Fuentes, 2003).

Los métodos directos para la determinación de la humedad contenida en el suelo, aunque laboriosos y costosos, son de gran valor. La práctica consiste en barrenar o taladrar hasta las profundidades deseadas con una barrena de edafología o con un tubo, extraer las muestras obtenidas de suelo húmedo y colocarlas en botes con tapadera y llevarlas al laboratorio para su posterior desecación y pesada. Las muestras de suelo húmedo, se colocan en hornos a una temperatura de 105-110 °C, hasta que quedan exentas de humedad (Vaughn y Orson, 1981). El tiempo durante el cual las muestras están en el horno, es generalmente de 48 horas. (Olalla *et al.*, 1993).

La humedad del suelo puede expresarse en forma gravimétrica, como una relación de masas o en forma volumétrica, como una relación de volúmenes. En ambos casos el agua debe ser separada del suelo y luego, medida o estimada (Fuentes, 2003). En riego, especialmente en la determinación de necesidades hídricas de los cultivos, la expresión de contenido de humedad de suelo que más interesa es la volumétrica, sin embargo, la determinación de esta generalmente se realiza a partir del contenido gravimétrico de humedad, pues resulta bastante difícil establecer el volumen exacto de una muestra de suelo (Gurovich, 1997).

2.8 Eficiencia del uso del agua (EUA) y productividad del agua.

El incremento de la demanda de agua de los cultivos, junto con lo limitado en que se encuentra el recurso en los últimos años, conduce a la necesidad de generar prácticas agrícolas, que logren aumentar la eficiencia del uso del agua en el riego (Fuentes, 2003).

Los términos de resistencia a sequía y eficiencia en la utilización del agua son a veces utilizados como sinónimos, aunque no se relacionan frecuentemente. Ya que el primero es la capacidad de una planta para sobrevivir y producir satisfactoriamente frente a condiciones de

sequia, en tanto el segundo, es la eficiencia con que el agua es utilizada para producir materia seca(Hsiao y Acevedo, 1974).

La eficiencia de uso de agua (EUA), se puede expresar en términos de relación entre unidades de materia seca total producida, por unidad de agua consumida, o como miligramos de CO₂ consumido por gramo de agua gastada en el proceso de transpiración(Ollala *et al.*, 1993).

Según Boyeldieu (1980), las necesidades de agua del trigo, expresado en kilogramos de agua para producir un kilogramo de materia, es decir, el coeficiente de transpiración corresponde a 500-550.

Los factores más influyentes en la EUA, son la humedad del aire, los niveles de CO₂ en la atmosfera, como también la temperatura del aire, la radiación y las disponibilidades hídricas del suelo.

La productividad del riego, se puede definir como la diferencia de rendimiento entre trigo regado y trigo en secano versus el aporte de riego (Camussi y Marano, 2008).

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Ubicación del ensayo.

Esta tesis se desarrolló en el Campo Experimental Maquehue, propiedad de la Universidad de la Frontera, ubicada en el Llano Central de la IX Región de la Araucanía a 14 km. de la comuna de Padre las Casas (coordenadas UTM; 699.875 mE, 5.698.229 mN, datum WGS 84).

3.2 Duración de la investigación

El ensayo se realizó, desde el mes de octubre del 2011 hasta el mes de febrero de 2012, con el fin de realizar el ensayo coincidiendo con la etapa reproductiva del cultivo.

3.3 Características edafoclimáticas.

El suelo de la Estación Experimental Maquehue, pertenece a la serie Freire; el cual se ha desarrollado a partir de cenizas volcánicas modernas depositadas sobre gravas y arenas ligeramente compactadas de topografía plana a muy plana, con pendientes de 1% a 3%. Son suelos moderadamente profundos (50 – 90 cm), de texturas medias y de colores pardos muy oscuros en la superficie. Su drenaje es pobre a moderado (IRENCORFO, 1970).

Presenta un clima mediterráneo templado, el cual se caracteriza por tener una temperatura promedio anual de 12° C. El periodo libre de heladas se extiende desde enero hasta febrero. El régimen hídrico se caracteriza por una precipitación anual de 1.680 mm, siendo mayo el mes más lluvioso. (Rouanet, 1983). La evapotranspiración de referencia promedio para el sector donde se encuentra el predio, según la Cartografía de Evapotranspiración de Chile elaborada por la Comisión Nacional de Riego (2000), es del orden de los 975 mm anuales.

3.4 Material biológico.

Se utilizó una siembra de trigo alternativo variedad Dollinco-INIA, cuya época de siembra se realizó en el mes de mayo del 2011, con una dosis semilla de 200 kg ha⁻¹, con una fertilización de 30 unidades de N ha⁻¹, 180 unidades de P₂O₅ ha⁻¹, y 100 unidades de K₂O ha⁻¹. El resto de las unidades de N (95 u) fueron aplicados al inicio de macolla y la segunda aplicación (95 u N) al término de macolla, lo que suma en total 220 unidades de N.

3.5 Instalación del ensayo y materiales utilizados.

El ensayo se realizó a 20 metros hacia el interior de una sementera de trigo variedad Dollinco, allí se procedió a dimensionar 12 parcelas de 0,75 m², usando huincha de medir, estacas de maderas, martillo y cortadora de pasto para la demarcación de los caminos.

Luego de realizado lo anterior, se procedió a excavar una zanja con pala y picotas alrededor de cada parcela, con una profundidad de 80 cm, con el fin de instalar una cubierta de plástico que rodeara todo el contorno de la parcela hasta la profundidad señalada, y se rellenaron las zanjas con la tierra extraída, con el propósito de evitar el flujo de aguas laterales.

3.6 Determinación de la evapotranspiración y dosis de riego aplicado.

Para calcular las necesidades hídricas del cultivo, se utilizó la fórmula de evapotranspiración de referencia establecida por Hargreaves y Samani (1985). La ecuación simplificada es:

$$ET_o = 0.0135 * KT * Ra * TD^{1/2} * (TC + 17.8)$$

Donde:

ET_o: Evapotranspiración de referencia (mm/día).

KT: Coeficiente empírico. Coeficientes que relacionan la radiación global solar con la diferencia de las temperaturas. Necesita ser calibrado para la zona en que se aplique.

Ra: Radiación extraterrestre que llega al tope de la atmósfera en mm/día y que es constante para cada lugar en un determinado día del año, depende de la latitud, siendo para el mes de Diciembre 18,2.

TD: Diferencia entre la temperatura máxima y la temperatura mínima (° C).

TC: Temperatura media diaria (° C).

Se pronostico la evapotranspiración semanal según esta fórmula, utilizando los pronósticos de las temperaturas máximas y mínimas, de la Dirección Meteorológica de Chile (<http://www.meteochile.cl/pronostico.html>). Con éstas se pudo estimar finalmente los milímetros de agua evaporada diariamente, lo que dio un pronóstico de las necesidades hídricas de la planta, para un periodo de una semana, con el fin de establecer las dosis de riego.

Ajustada de acuerdo a las condiciones en que se desarrolló el estudio, la fórmula quedó establecida como:

$$ET_o = 0.0135 * 0.0975 * Ra * TD^{1/2} * (TC + 17.8)$$

Se estableció una frecuencia de riego de 7 días, para determinar la cantidad semanal de agua a aplicar en los tratamientos de riego se consideraron distintas fracciones de riego, correspondientes a distintos porcentajes de la ET_o , quedando la cantidad total de agua a aplicar por planta establecida como se indica a continuación:

$$Dosis(l / parcela) = A_{parcela}(m^2) * \sum_1^7 ET_{oi}(l / m^2)$$

La aplicación de agua se realizó mediante balde graduado sobre la superficie de la parcela. Los tratamientos de dosis de riego fueron de 0, 30, 70 y 100 por ciento de la ET_o (T_o , T_1 , T_2 Y T_3 respectivamente) pronosticada para la semana siguiente a cada riego. (Véase anexo 1)

3.7 Determinación del contenido de humedad del suelo.

Las muestras de suelos fueron tomadas antes de la aplicación de cada riego semanal con un barreno a las profundidades de 30, 50 y 70 cm y conservadas en recipientes de aluminio. La humedad del suelo se determinó en base al método gravimétrico.

Después de ser tomadas las muestras de suelo estas fueron pesadas, para determinar la masa de suelo húmedo (Msh) y posteriormente llevadas a un horno de secado, donde permanecieron hasta que tuvieran un peso constante (24 h a 110 ° C), para luego ser pesadas y determinar la masa de suelo seco (Mss). Una vez determinada las respectivas masas, se calculó la humedad gravimétrica; este método es aceptado como estándar para expresar la humedad contenida en el suelo y se basa en la siguiente ecuación (Salgado, 2001; Gurovich, 1997; Olalla *et al.*, 1993).

$$\theta_w(g/g) = (Msh - Mss) / Mss$$

θ_w : humedad gravimétrica (g/g).

Msh: masa de suelo húmedo (g).

Mss: masa de suelo seco (g).

El contenido gravimétrico en g/g, puede expresarse también en porcentaje, es decir, gramos de agua por cada 100 g de suelo. Los valores obtenidos se compararon con los contenidos de capacidad de campo (CC) punto de marchitez permanente (PMP), determinados para las tres estratas en el laboratorio de acuerdo al método de cámaras de presión.

3.8 Determinación del área específica

Para estimar el efecto de las tasa de riego en el desarrollo vegetativo, se determinó el área específica de hojas. Se tomaron como muestra 5 hojas bandera del cultivo al azar por parcela en estado verde en el periodo post-antesis, las cuales fueron colocadas en láminas de transparencia, para luego ser escaneadas. Con ayuda del programa computacional Topocal, se determinó el área (cm²) de cada hoja. Así se obtuvo un promedio de áreas para cada parcela.

Después de realizado lo anterior, se procedió a secar las hojas en forma natural a la exposición del sol, para la eliminación del contenido de agua. Una vez secadas se pesaron en una balanza analítica. Con estos datos, se relacionó área y peso, obteniéndose el área específica de las hojas en cm^2/g .

3.9 Determinación del rendimiento y componentes de rendimiento.

La cosecha del trigo se realizó una vez terminado su periodo de secado de grano, lo que ocurrió el 18 de enero del 2012, se realizó en forma de arranque manual y las plantas se almacenaron en bolsas plásticas, luego en el laboratorio se procedió a separar cada componente de la biomasa aérea.

3.9.1 Peso de componentes vegetativos de la materia seca aérea. Se pesó el total de tallos y hojas de cada parcela, obteniéndose un promedio por cada tratamiento.

3.9.2 Número y peso de espigas. Se contabilizaron y pesaron el total de espigas de cada parcela, obteniéndose un promedio por cada tratamiento.

3.9.3 Numero de granos por espiga. Se tomó de cada parcela 5 espigas al azar, y se contabilizó el número de granos de cada una de ellas. Del promedio por muestra, se obtuvo el valor de esta medición para cada parcela.

3.9.4 Rendimiento de grano. El grano cosechado de esta superficie fue pesado en una balanza analítica, para posteriormente ser llevado a qqm ha^{-1} .

3.10 Determinación de la eficiencia de uso del agua y su productividad.

La eficiencia y su productividad se determinaron, mediante las siguientes ecuaciones:

$$EUA(\text{kg} / \text{m}^3) = \frac{\text{rend.obtenido}}{\text{vol.deagua}(\text{riego} + \text{lluvia})}$$

La fórmula anterior, relaciona el rendimiento obtenido de cada tratamiento con el volumen de agua (m³), aportado tanto, por las precipitaciones en la temporada de desarrollo del cultivo y la aplicación del riego suplementario correspondiente a cada tratamiento, obteniéndose la eficiencia de uso del agua en kg/m³.

$$PDR(kg/m^3) = \frac{(rend.riego - rend.sec\ ano)}{vol.riego}$$

En esta fórmula, relaciona el rendimiento diferencial entre el obtenido en cada tratamiento regado con el tratamiento en secano, según el volumen de agua (m³), el cual solo involucra el agua aportado por el riego en cada tratamiento regado, obteniéndose la productividad del riego.

4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Agua aplicada.

En el cuadro 1, se indican las fechas de riego en que se aplicaron los tratamientos, destacando que el riego se realizó con una frecuencia de 7 días y un total de 5 riegos, abarcando

desde noviembre a fines de diciembre. Se indican las dosis de agua aplicada a cada tratamiento, determinado según la ecuación de Hargreaves y Samani (1985), como se explicó, correspondiendo a 0, 30, 70 y 100% de la ETo pronosticada para la semana, para los tratamientos T₀, T₁, T₂ y T₄, respectivamente. Se destaca que el T₀ se desarrolló solo con el volumen de agua entregado por las precipitaciones (secano).

Cuadro 1. Fechas de riego y dosis de agua (mm) aplicada a cada tratamiento.

| | | T0 | T1 | T2 | T3 |
|---------------------------------|-------------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| FECHA | | | | | |
| RIEGO 1 | 29/11/2011 | 0 | 15,9 | 37,1 | 52,9 |
| RIEGO 2 | 06/12/2011 | 0 | 16,1 | 37,5 | 53,6 |
| RIEGO 3 | 14/12/2011 | 0 | 18,3 | 42,6 | 60,9 |
| RIEGO 4 | 21/12/2011 | 0 | 17,3 | 40,3 | 57,6 |
| RIEGO 5 | 27/12/2012 | 0 | 18,0 | 42,0 | 60,0 |
| RIEGO TOTAL | | | | | |
| (mm) | | 0 | 85,6 | 199,5 | 285,3 |
| APORTE LLUVIA(mm) | | 722,4 | 722,4 | 722,4 | 722,4 |
| TOTAL (mm) | | 722,4 | 808,0 | 921,9 | 1007,7 |
| TOTAL (m³/ha) | | 7224 | 8080 | 9219 | 10077 |

Además, en el cuadro se señala el total de agua aplicada en los 5 riegos realizados por cada tratamiento, alcanzando 285,3 mm para el caso de 100% de la ETo, como también el aporte de agua otorgado por las precipitaciones. Este aporte se obtuvo de la suma de las precipitaciones caídas entre la siembra del trigo hasta la fecha de cosecha(mayo, 2011-enero, 2012).

Los volúmenes de agua para los 4 tratamientos (722.4 a 1007,7 mm), coinciden con el rango entregado por Benacchio (1982), que señala que el cultivo de trigo requiere de 700-1000

mm de precipitaciones para su desarrollo. Aunque solo el tratamiento T₀, cumple con el rango en base a las precipitaciones, ya que en los demás tratamientos los valores son mayores, debido al aporte de riego suplementario correspondiente a cada tratamiento.

4.2 Contenido de humedad del suelo.

En la figura 1, se muestra los resultados obtenidos de los muestreos realizados en las seis fechas señaladas, a cada tratamiento, correspondiente al contenido de humedad del suelo en la estrata de 0-30 cm de profundidad.

Para esta estrata se consideró un valor del contenido de humedad gravimétrico a capacidad de campo de 61% y a punto de marchitez permanente de 39 %, valores que estarían en el rango esperable para la serie de suelo Freire (véase anexo 2).

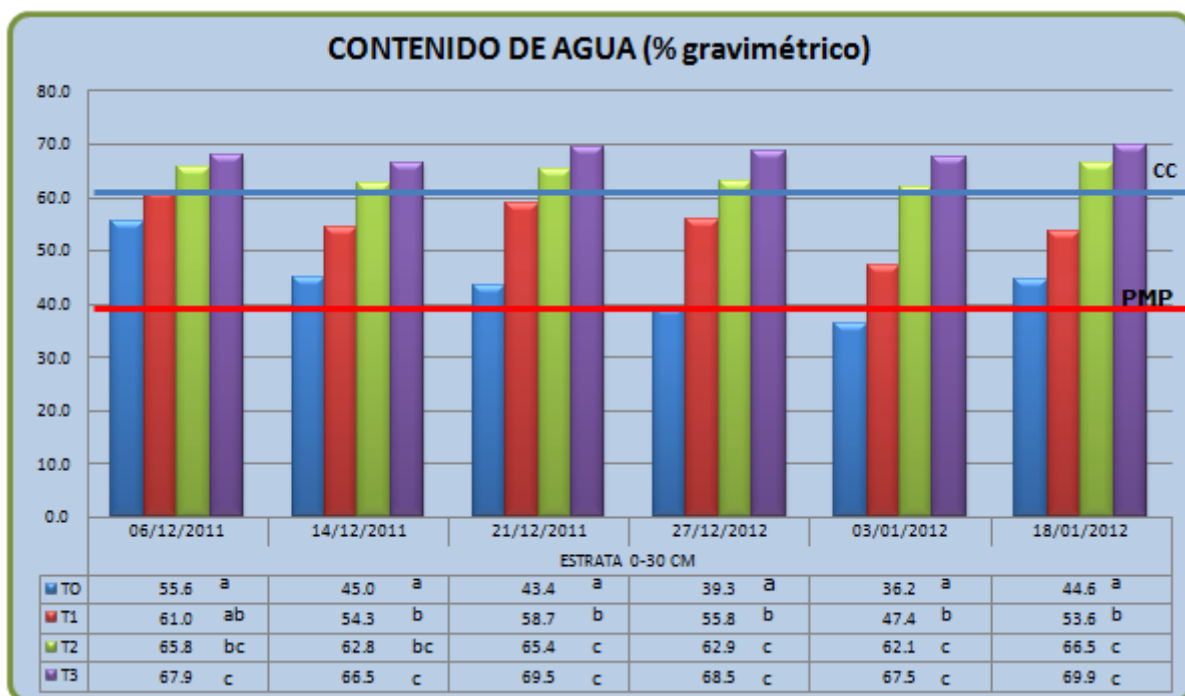


Figura 1. Contenido de humedad gravimétrico del suelo en la estrata de 0-30 cm, en las distintas fechas de muestreo indicados. Letras distintas indican diferencias significativas (Duncan, $P < 5\%$).

Los valores de humedad gravimétrica obtenidos en cada tratamiento, se mantuvieron por sobre el punto de marchitez permanente, lo cual indicaría que el agua estuvo en todo momento disponible para el cultivo en la estrata de 0-30 cm

Se observa que los tratamientos T0 y T1 se encuentran entre el rango de humedad aprovechable de suelo, en tanto los tratamientos T2 Y T3, se encuentra por sobre la capacidad de campo, indicando un exceso de humedad en esta primera estrata.

En la figura 2, se muestra los resultados obtenidos de los muestreos realizados en las seis fechas señaladas, a cada tratamiento, correspondiente al contenido de humedad del suelo en la estrata de 30-50 cm de profundidad.

Para esta estrata se consideró un valor del contenido de humedad gravimétrico a capacidad de campo de 61% y a punto de marchitez permanente de 39 %, valores que estarían en el rango esperable para la serie de suelo Freire.

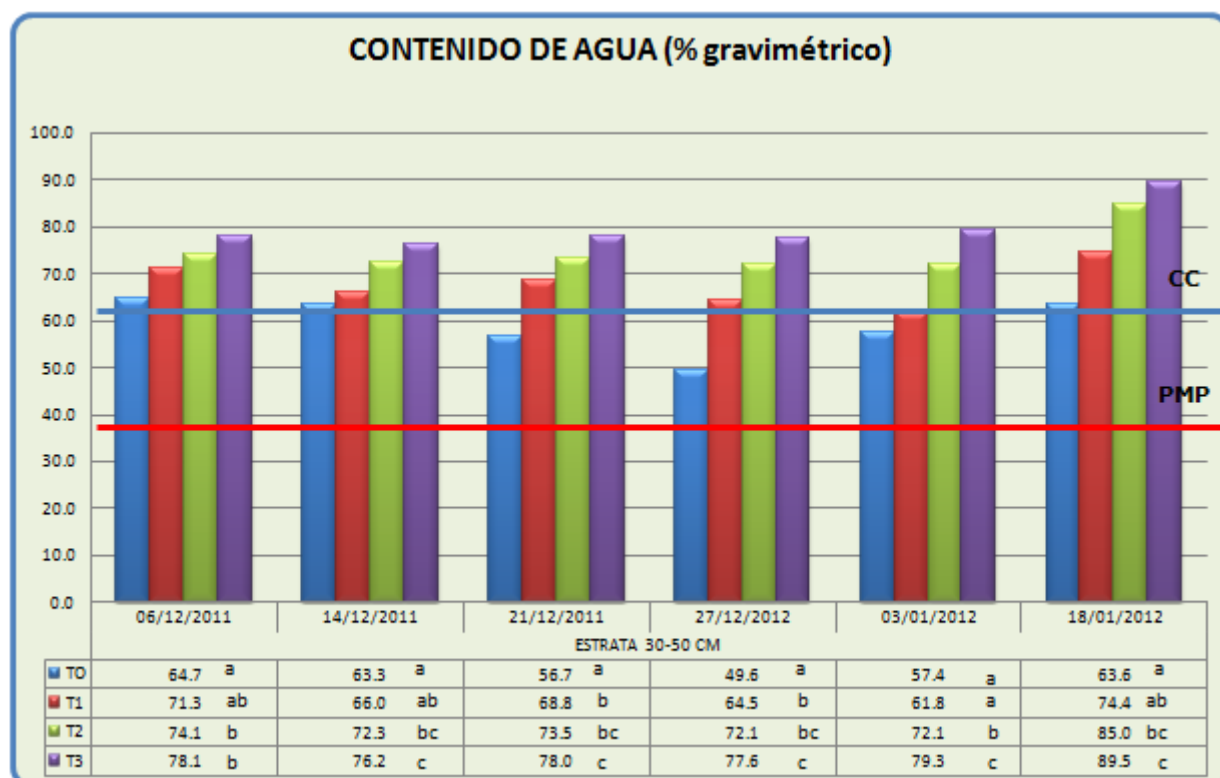


Figura 2. Contenido de humedad gravimétrico del suelo en la estrata de 30-50 cm, en las distintas fechas de muestreo indicados. Letras distintas indican diferencias significativas (Duncan, $P < 5\%$).

Los valores de humedad gravimétrica obtenidos en cada tratamiento en esta estrata, se mantuvieron por sobre el punto de marchitez permanente, lo cual indicaría que el agua estuvo en todo momento disponible para el cultivo en la estrata de 30-50 cm.

El tratamiento testigo se encuentra en el rango de humedad aprovechable del suelo, mientras que en los 3 tratamientos restantes sus valores se encuentran por sobre la capacidad de campo, lo que

indicaria un exceso de agua en esta estrata, destacandose los tratamientos T2 y T3, alcanzando este ultimo, en la ultima fecha de muestreo un valor cercano al 90 % de humedad gravimetrica.

En la figura 3, se muestran los resultados obtenidos de los muestreos realizados en las seis fechas señaladas, a cada tratamiento, correspondiente al contenido de humedad del suelo en la estrata de 50-70 cm de profundidad.

Para esta estrata se consideró un valor del contenido de humedad gravimétrico a capacidad de campo de 61% y a punto de marchitez permanente de 39 %, valores que estarían en el rango esperable para la serie de suelo Freire.

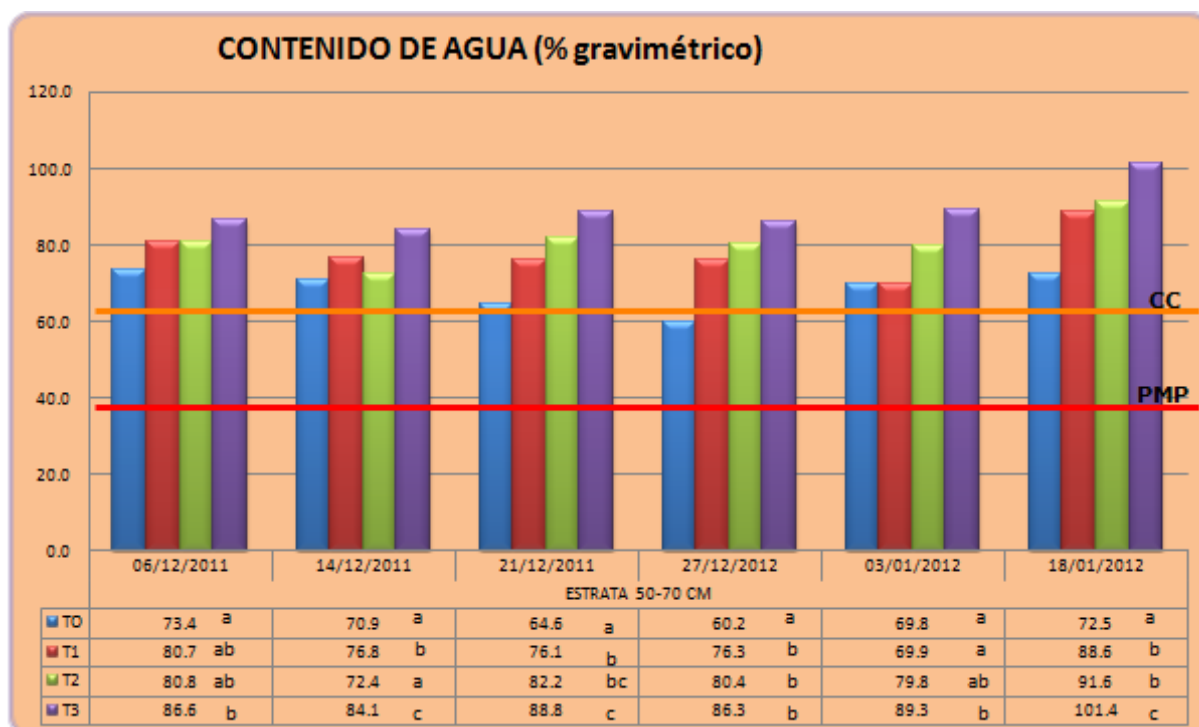


Figura 3. Contenido de humedad gravimétrico del suelo en la estrata de 50-70 cm, en las distintas fechas de muestreo indicados. Letras distintas indican diferencias significativas (Duncan, $P < 5\%$).

Los valores de humedad gravimétrica obtenidos en cada tratamiento en esta estrata, se mantuvieron por sobre el punto de marchitez permanente, lo cual indicaría que el agua estuvo en todo momento disponible para el cultivo en la estrata de 50-70 cm.

En esta estrata todos los tratamientos se encuentran por sobre la capacidad de campo, salvo en el caso del testigo en la fecha 27/12/2012 que se encuentra levemente por debajo de CC. En este caso el contenido de humedad del suelo es altamente excesivo en todos los tratamientos, por lo cual se estima que se produjo una sobre-estimación de las necesidades hídricas del cultivo.

4.3 Rendimiento.

En relación al rendimiento en qqm/ha obtenidos por los 4 tratamientos aplicados (Figura 4), el testigo, es decir, solo con aporte de agua al suelo en base a las precipitaciones obtuvo el rendimiento más bajo (94.8 qqm/ha), valor que se diferenció significativamente con los demás tratamientos. Entre los tratamientos regados, no arrojó diferencias significativas.

Esto indica que dosis mayores de riego, no producen mayor rendimiento bajo las condiciones en que se realizó el estudio. Por el hecho de regar en base a un 30% de la ETo (T1), el rendimiento se aumentó en un 15,2%, mientras que en el caso 70 y 100% de la ETo, se aumentó 12,4 y 15,9 %, respectivamente.

Hewstone y Jobet, 2001 señalan que la trigo Dollinco-Inia es una variedad de alto potencial de rendimiento alcanzando 100 qqm/ha. Los valores obtenidos en rendimiento se asemejan a los obtenidos por los autores antes mencionados, en ensayos realizados en las localidades de Carillanca y La Pampa, sembrados en épocas de invierno y primavera, arrojó valores de 9,93-7,84 qqm/ha y 14,46- 11,38 qqm/ha, respectivamente.

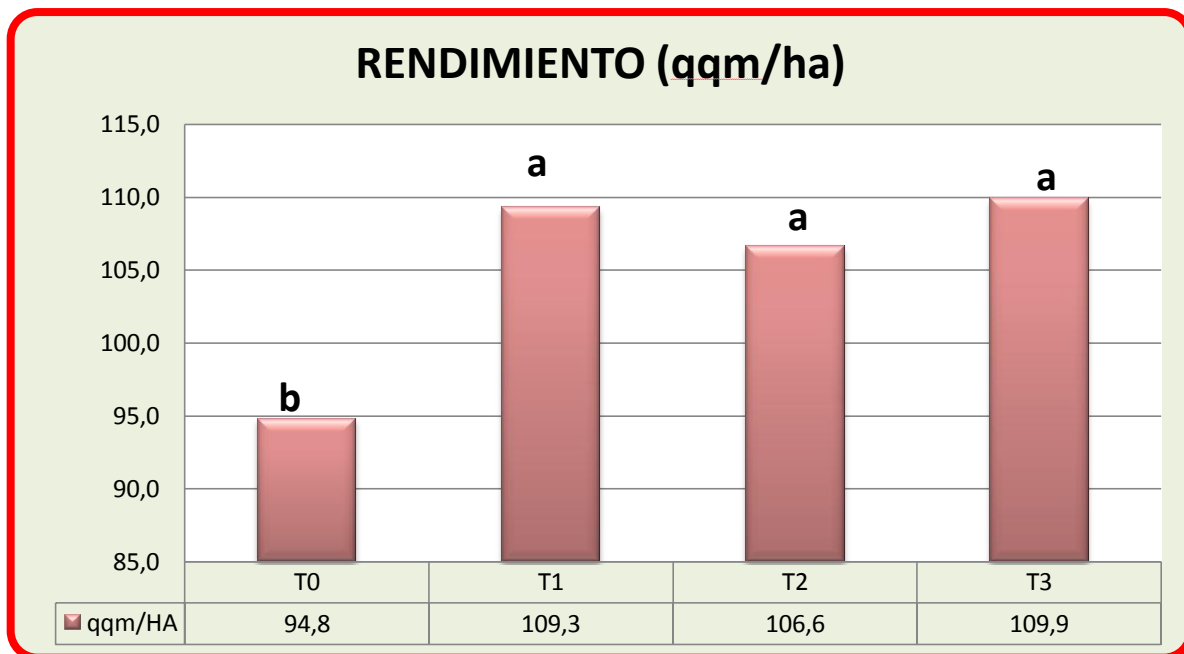


Figura 4. Rendimiento obtenido (qqm/ha), en las diferentes tasas de riego. Letras distintas indican diferencias significativas (Duncan, $P < 5\%$).

Ensayos realizados en los años 1981 y 1982 de riego en la VIII Región, en suelos del secano interior y de la precordillera andina, las siembras se realizaron en mayo con la misma variedad, el riego se realizó cada vez que se agotaba el 50% de la humedad aprovechable. Los resultados arrojaron en el secano interior el rendimiento con riego fue de 26% superior al de secano, mientras que en la zona de precordillera fue tan solo de un 2%. (Maldonado y Del Canto, 1981, 1982).

4.4 Biomasa total aérea.

En la figura 5, se indican los valores de biomasa total aérea, los cual no incluye la biomasa de las raíces, debido a la forma de cosecha, el cual consistió en forma de arranque manual, que generó perdidas de material vegetal a nivel de las raíces.

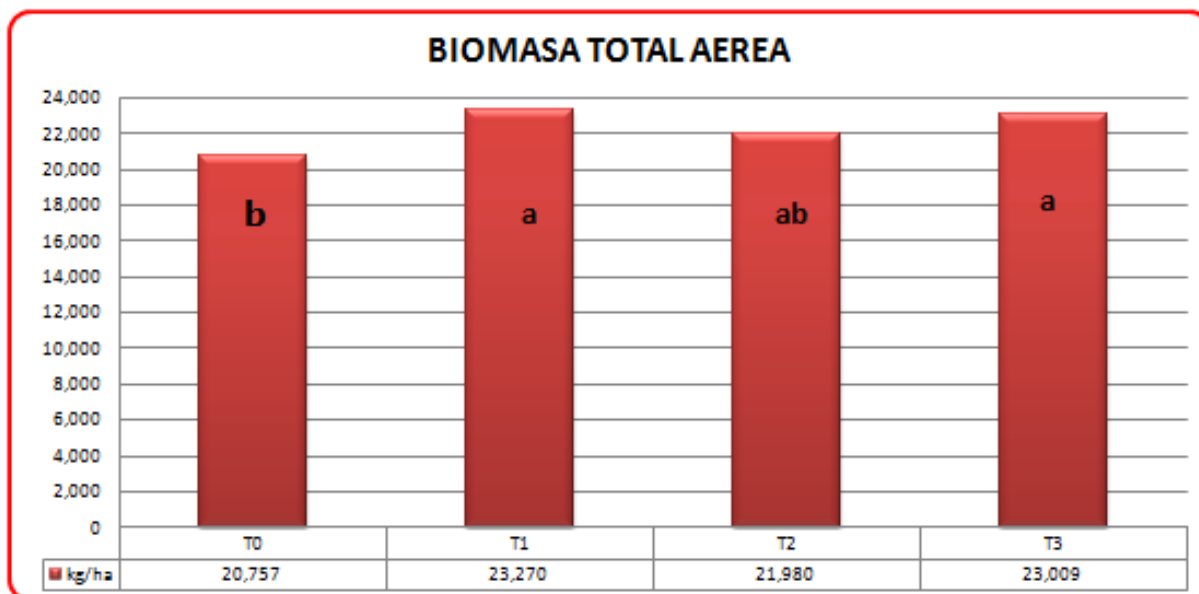


Figura 5. Efecto de las tasas de riego en la biomasa aérea en kg/ha. Letras distintas indican diferencias significativas (Duncan, $P < 5\%$).

Los valores obtenidos arrojan que el tratamiento testigo no presenta diferencias significativas con el tratamiento T_2 , siendo diferente con los tratamientos T_1 y T_3 , los cuales presenta el mayor valor en biomasa total. El tratamiento T_2 se comportó de forma errática los cual se explicara en base a los otros componentes de la parte área.

4.4.1 Materia seca de las hojas.

A continuación se muestras los resultados del efecto que tuvo las diferentes tasas de riego en relación al peso de las hojas (figura 6), cabe destacar que el inicio de los tratamiento se comenzó

en la etapa de antesis del cultivo, por lo cual no se esperaría algún efecto en el peso de las hojas, ya que el área foliar alcanza su máximo previo a la etapa de antesis.

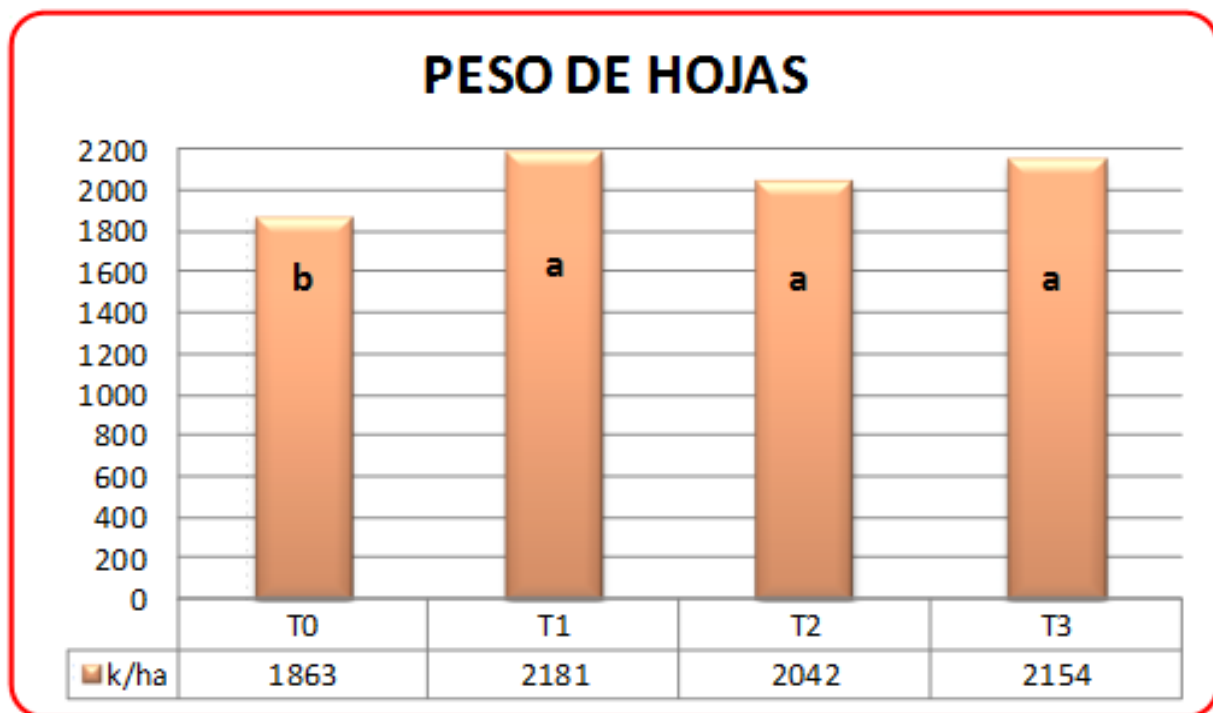


Figura 6. Efecto de las tasas de riego en peso de hojas(kg/ha). Letras distintas indican diferencias significativas (Duncan, $P < 5\%$).

Los análisis estadísticos señalan, que el tratamiento testigo T0 es significativamente diferente a los tratamientos regados, lo cual genera duda en respecto a su forma de obtención de la materia seca de las hojas, pudiendo en la cosecha generada pérdidas o no recolección de estas.

4.4.2 Materia seca de tallos

En relación al peso de la materia seca de tallos (figura 7), se señala que los análisis estadísticos, no presentaron diferencias significativas, debido a que las tasas de riego no generaron un efecto en el peso debido a la etapa del cultivo en que se comenzó los tratamientos.

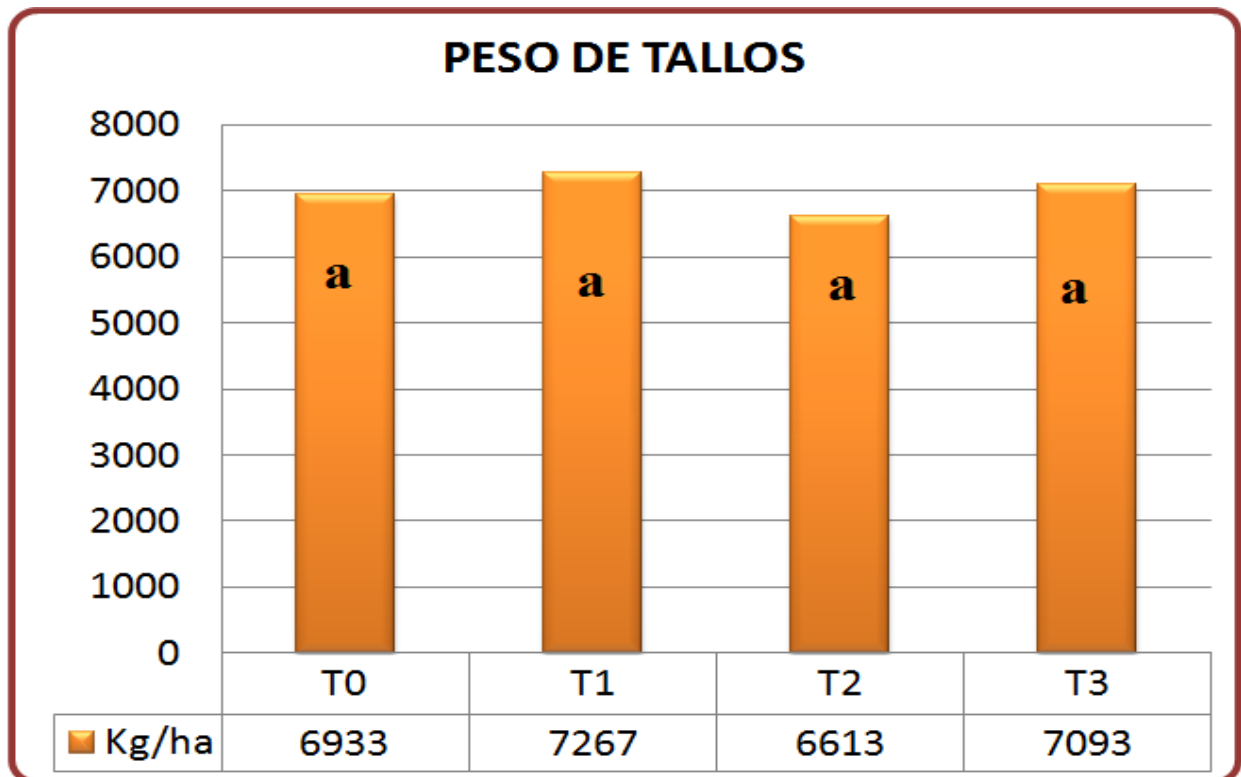


Figura 7. Efecto de las tasas de riego en peso de tallos (kg/ha). Letras distintas indican diferencias significativas (Duncan, $P < 5\%$).

Las diferencias significativas que presentan los valores de biomasa total aérea, no se deben al peso de los tallos, ya que estos no arrojan diferencias significativas.

4.4.3 Peso y Numero de espigas.

En la figura 8. Se aprecia el peso de las espigas en k/ha, en el cual las diferentes tasas de riego, generaron un efecto en el peso, los cual se afirma con los análisis estadísticos.

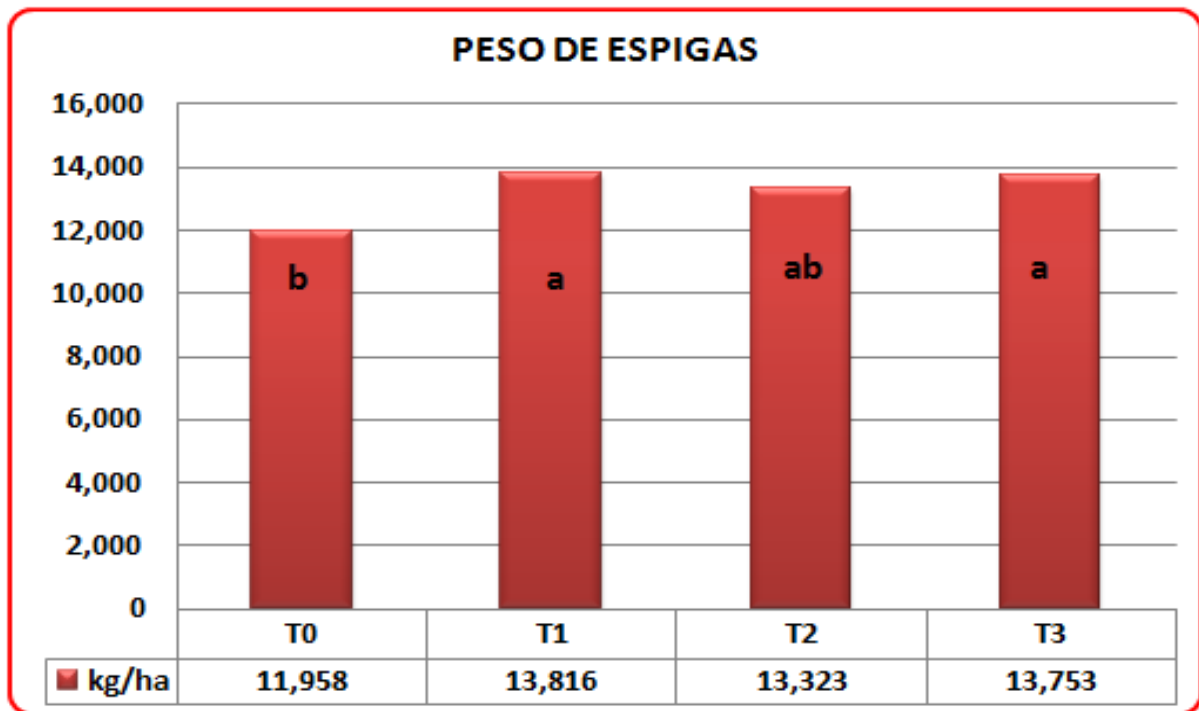


Figura 8. Efecto de las tasas de riego en peso de espigas (kg/ha). Letras distintas indican diferencias significativas (Duncan, $P < 5\%$).

El tratamiento testigo T_0 , presentó diferencias significativas con los tratamientos regados, no así entre los tratamientos regados, el testigo alcanzó un valor cercano a 12 ton/ha, mientras que los tratamientos regados sobrepasan las 13 ton/ha, esto debido al aporte de riego que generó espigas con más pesos que en tratamiento seco.

En el caso del número de espigas por hectárea (figura 9), se indica que el tratamiento testigo T_0 no presentó diferencias significativas, con respecto al tratamiento T_2 , siendo los tratamientos T_1 y T_3 los con mayor valor en el número de espigas, alcanzando valores cercanos a 500 espigas/m².

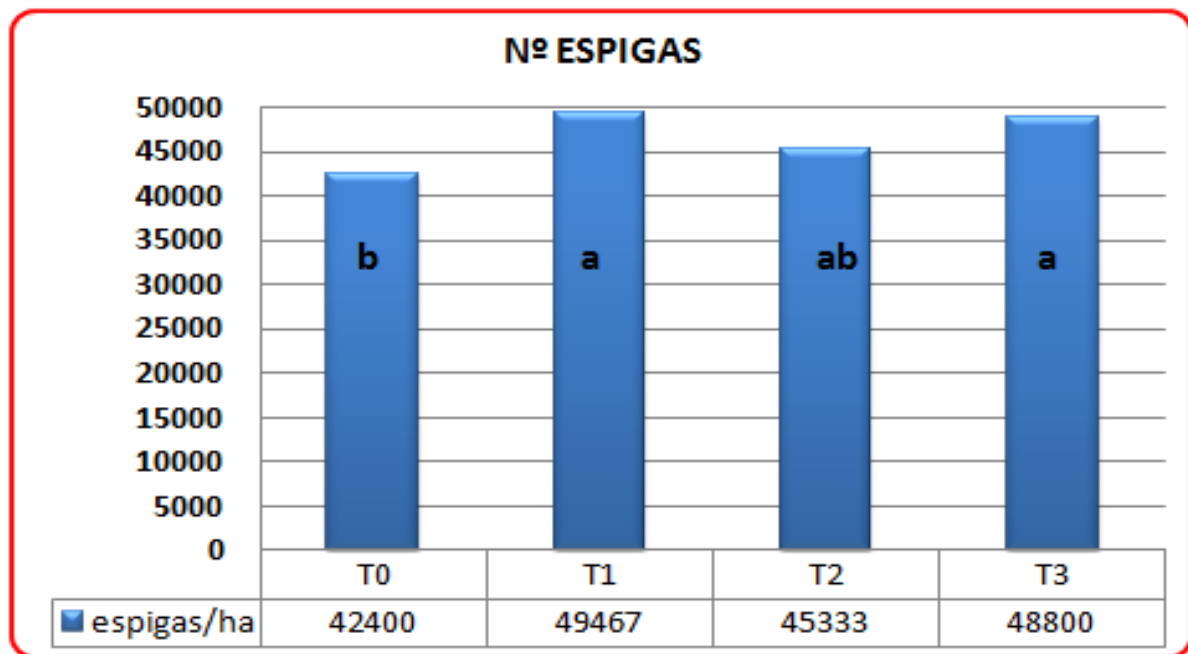


Figura 9. Efecto de las tasas de riego en el número de espiga por hectárea. Letras distintas indican diferencias significativas (Duncan, $P < 5\%$).

Según el análisis estadístico, que señala que el tratamiento testigo T_0 , es similar al tratamiento T_2 , en el punto de biomasa total aérea, se explicaría por el efecto que tiene el número de espigas/ m^2 , que señala un comportamiento similar en el análisis estadístico

4.4.4 Numero de granos por espiga.

En la figura 10, se indica el número de granos por espiga, obtenidos del promedio de 5 espigas al azar, a las cuales se les extrajo los granos y se contabilizaron.

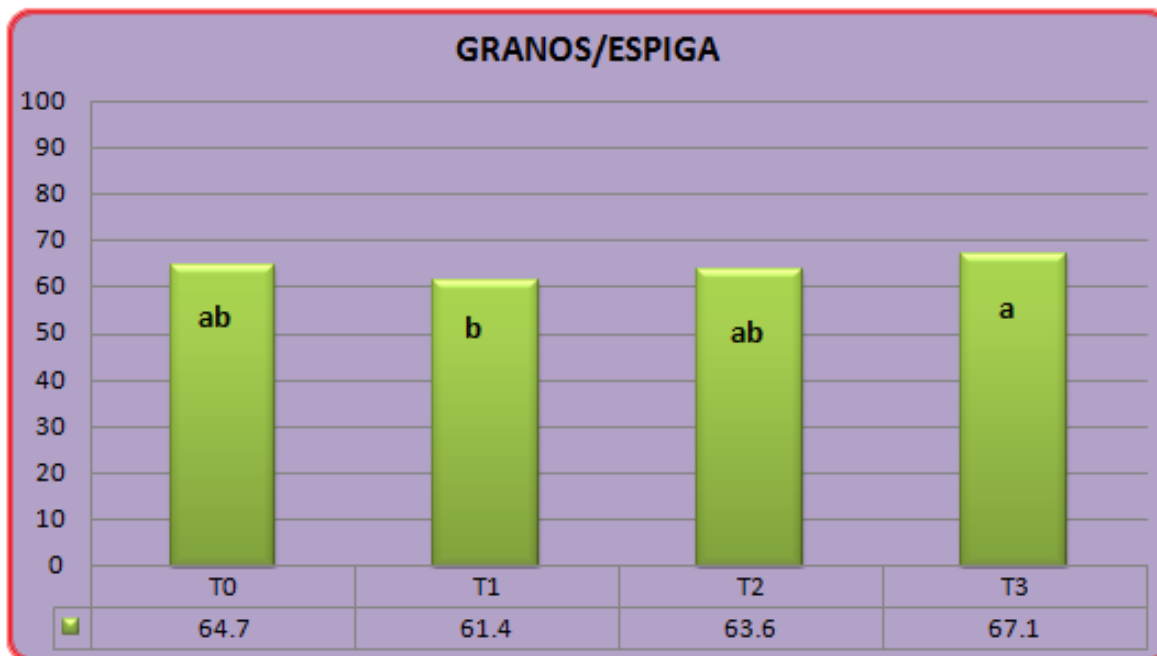


Figura 10. Efecto de las tasas de riego en el número de granos por espiga. Letras distintas indican diferencias significativas (Duncan, $P < 5\%$).

Los análisis estadísticos señalan que los tratamientos T0, T2 y T3 no presentan diferencias significativas, obteniendo el mayor valor T3 con 67,1 granos/espiga, en cambio el tratamiento T1 es similar al tratamiento T2 y T0.

Con respecto al rendimiento el tratamiento T1 alcanzó el mayor valor, lo cual se explicaría, no por el hecho de un mayor número de granos por espiga, sino por la razón, de que los granos tenían un mayor peso en el tratamiento T1.

4.5 Área específica de las hojas.

Las distintas tasas de riego no arrojaron diferencias significativas, con respecto al área específica de las hojas (figura 11), esto debido a que los tratamientos se iniciaron una vez formada el área foliar, no teniendo efecto alguno, el riego aplicado en periodo de antesis.

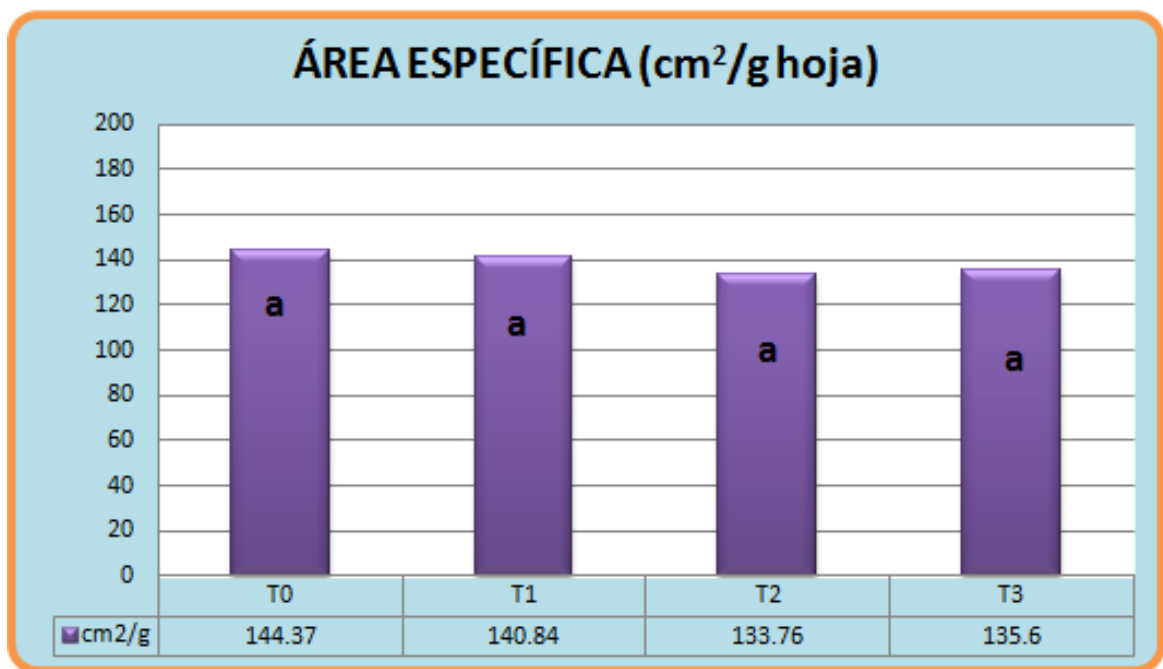


Figura 11. Efecto de las diferentes tasas de riego sobre área específica (cm²/g hoja) de las hojas en cada tratamiento. Letras distintas indican diferencias significativas (Duncan, P < 5%).

El área específica de las hojas, se considera un indicador del estrés hídrico de las plantas, en este caso, cabe destacar que el tratamiento T₀, el cual solo se desarrolló con el agua aportada por las precipitaciones, no estuvo sometido a estrés ya que, no presenta diferencias con los tratamientos regados, lo cual explica el alto rendimiento que obtuvo.

4.6 Eficiencia del uso del agua.

A continuación en la figura 11, se indica los valores obtenidos en cada tratamiento, con respecto a la eficiencia del uso de agua, en el cual se relaciona el rendimiento obtenido versus el volumen de agua aportado por el riego más las precipitaciones.

Se indica que los tratamientos T₀ y T₁, obtienen los mayores valores en la EUA, 1,31 y 1,32, respectivamente, presentando diferencias significativas con los tratamientos T₂ y T₃, los cuales presentan la menor eficiencia en el uso del agua, lo que demuestra que a tasas de riego de 70 y 100%, no aumentan la eficiencia, ya que esto se relaciona con el rendimiento obtenidos por estos tratamientos. Se destaca que el tratamiento T₁, alcanzó la mayor eficiencia.

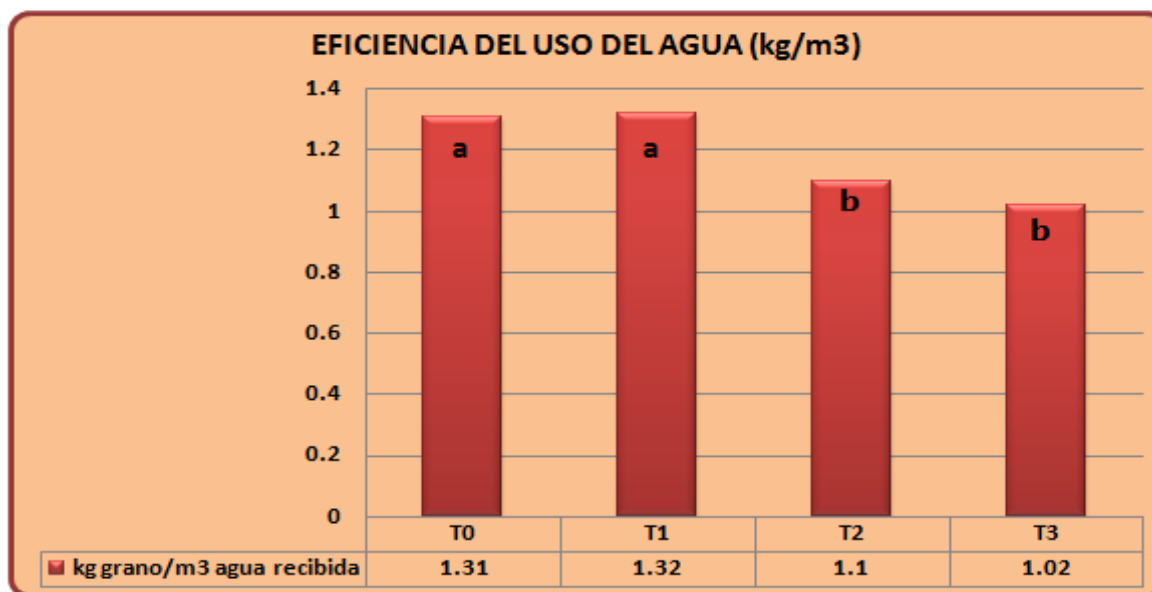


Figura 11. Efecto de las diferentes tasas de riego en la EUA. Letras distintas indican diferencias significativas (Duncan, $P < 5\%$).

Los valores obtenidos en este ensayo, están por sobre el rango $0,8-1,0 \text{ kg/m}^3$ indicado por Doorenbos y Kassam. (1979) y se asemejan a $1,14 \text{ kg/m}^3$, obtenido por Dardanelli et al (1997) en condiciones de riego suplementario. Según Oweis et al. (2000), señala que los valores obtenidos

al aplicar 2/3 del total de requerimiento de riego suplementario con respecto al agua, son de 0,77 a 0,92 kg/m³, mientras que Sadras y Angus (2006), obtuvo valores promedio de 1 kg/m³ en la eficiencia del uso del agua realizados en Australia, con una fertilización de 100 kg N/ha.

4.7 Productividad del riego.

En la figura 12, se indica la productividad del riego, los cuales se obtuvieron de la diferencial entre el tratamiento regado con respecto al tratamiento seco versus el volumen de agua aplicado en la dosis de riego, no considerando las precipitaciones.

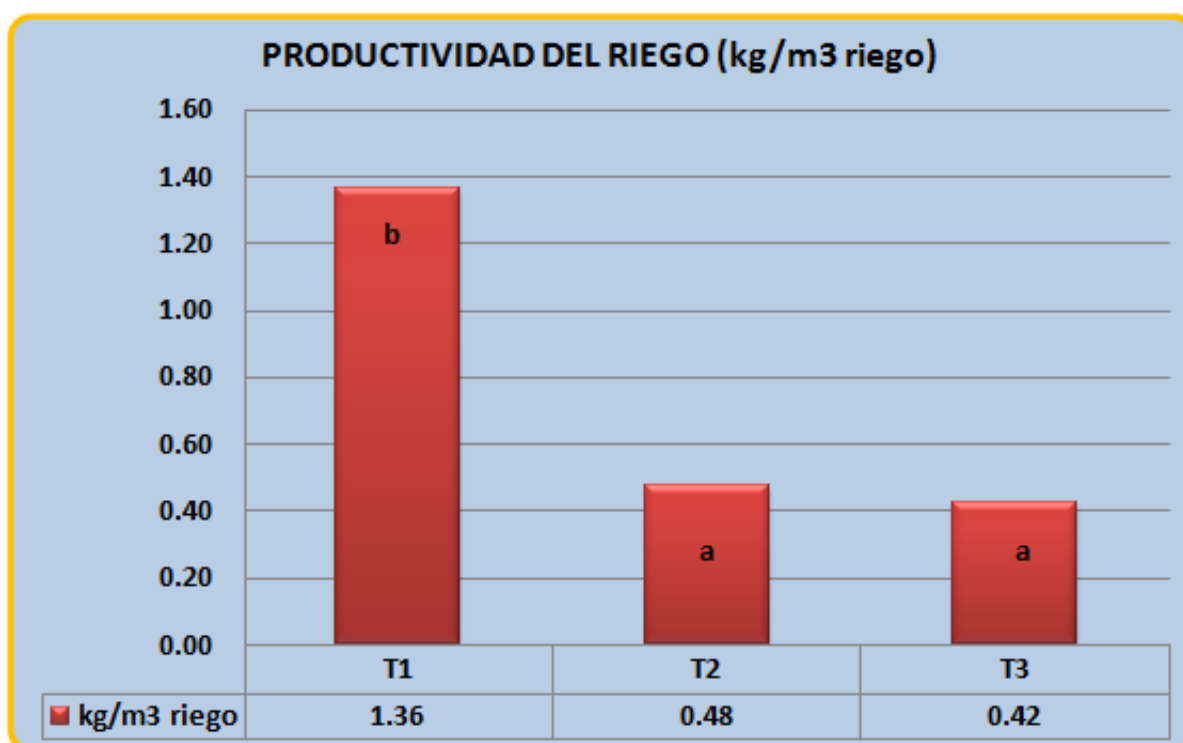


Figura 12. Efecto de las diferentes tasas de riego en la productividad del riego. Letras distintas indican diferencias significativas (Duncan, $P < 5\%$).

Se destaca que el tratamiento T1 presenta diferencias significativas con respecto a los tratamientos T2 y T3, siendo no significativos entre ellos, esto indica que el tratamiento con un 30% de dosis de riego, presenta valor más alto en la productividad de riego. Por lo cual en base a

las condiciones del estudio, es recomendable regar el trigo con un 30% de la ETo, ya que aumenta el rendimiento en un 15% en relación con el testigo, y a la vez presenta el mayor valor en la eficiencia del uso de agua y productividad, a tasas mayores de riego no aumentaría el rendimiento y se disminuye la eficiencia.

5. CONCLUSIONES.

El contenido de agua del suelo fue mayor al aumentar el aporte de riego en todas las fechas consideradas, especialmente en la estrata superficial. Las estratas más subsuperficiales presentaron altos contenidos de humedad, por lo que se estima que la dosis de riego se sobreestimo.

El rendimiento en los tratamientos con riego fue superior al del testigo y no hubo diferencias entre ellos. El tratamiento de un 30% de la ETo resultó con mayor rendimiento, a pesar de tener menor cantidad de número de granos por espiga, esto se compensó con un mayor peso de los granos en comparación con los demás tratamientos.

Los tratamientos de 30 y 100% de riego fueron superiores al testigo en biomasa total del cultivo. El aumento en materia seca total se debería al efecto de esos tratamientos en aumentar el peso de espigas, granos y hojas. El peso de tallos no generó diferencias significativas.

El área específica de las hojas, no resultó con diferencias significativas al efecto de las diferentes tasas de riego, debido a que los tratamientos se aplicaron una vez que el área foliar habría alcanzado el máximo desarrollo, sin tener efecto el riego.

La eficiencia del uso del agua basada en el agua recibida por la lluvia más el riego, fue mayor en el tratamiento testigo y de 30% de riego. Los tratamiento de 70 y 100% fueron similares estadísticamente.

De mantenerse las condiciones experimentales, se puede decir que el trigo debiera regarse con un 30% de la evapotranspiración pronosticada, dado que tasas mayores de riego no producirían aumentos en los rendimientos

6. RESUMEN

El trigo en la zona sur de Chile es un cultivo netamente de secano, pero en los últimos años se ha requerido implementar la opción de riego suplementario para satisfacer las necesidades de agua del cultivo en los periodos de déficit hídricos, provocado por el aumento en la temperatura, y una menor disponibilidad del agua en esta zona. Otro aspecto a considerar es cuán eficiente es el cultivo en el uso del agua en condiciones de secano comparado con riego, en posibles escenarios de déficit hídrico. Esta investigación se realizó en el Campo Experimental Maquehue desde noviembre del 2011 a enero del 2012, coincidiendo con la etapa reproductiva del trigo. Se instaló en una sementera de trigo variedad Dollinco, utilizando 12 parcelas (4 tratamientos y 3 repeticiones) de 1 m². A cada parcela se le realizó una zanja de 80 cm de profundidad y se rodeó el contorno con una cubierta de plástico, para evitar aportes de aguas laterales. La dosis de riego se calculó en base a la fórmula de evapotranspiración de referencia (ET_o) de Hargreaves y Samani (1982, 1985). La frecuencia de riego fue de 7 días. Para determinar la cantidad de agua a aplicar en los tratamientos (T) se consideraron distintos FR (fracción de riego, correspondientes a distintos porcentajes de la ET_o). Los Tratamientos correspondieron a 100, 70, 30 y 0 % de la ET_o pronosticada para la semana. El contenido de humedad del suelo con muestras tomadas con barreno a 30, 50 y 70 cm, se utilizó el método gravimétrico para su determinación. Además se evaluó el efecto de las tasas de riego en el rendimiento y sus componentes, en el área específica de las hojas y la eficiencia del uso de agua de riego. Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar. Bajo las condiciones de la investigación se concluye que: al aplicar un 30% de la ET_o pronosticada, se presentó un mayor rendimiento que al aplicar una dosis superior. En el caso del contenido de agua del suelo los valores se mantuvieron entre capacidad de campo y punto de marchitez permanente, manteniendo homogeneidad en las capas más profundas, no así en la capa superficial, en donde se encuentra la mayor proporción de las raíces del trigo. En relación al área específica, no hubo diferencias significativas. La eficiencia del uso de agua fue mayor en el tratamiento de 30 % obteniendo un valor 1,32 kg/m³, las dosis superiores obtuvieron valores menores.

7. SUMMARY

Wheat in Southern Chile is a purely rainfed cultivation, but in recent years has been required to implement the option of supplementary irrigation to meet crop water needs during periods of water deficit in the season, caused by the increase in temperature, the higher and lower availability of water in this area. Another aspect to consider is how efficient the crop water use under rainfed conditions compared to irrigation in water deficit scenarios. This research was conducted at the Experimental Field Maquehue from November 2011 to January 2012, coinciding with the reproductive stage of wheat. Was installed on a variety Dollinco wheat sowing, using 12 plots (4 treatments and 3 replicates) of 1 m². Each plot was made a trench 80 cm deep and rodeo contour with a plastic cover to prevent lateral water supply. The irrigation rate was calculated based on the formula of reference evapotranspiration (ET₀) Hargreaves and Samani (1982, 1985). Watering frequency was 7 days. To determine the amount of water applied in the treatments (T) are considered various FR (irrigation fraction, corresponding to different percentages of the ET₀). Treatments corresponded to 100, 70, 30 and 0% of the predicted ET₀ for the week. The moisture content of the soil sample taken with hole at 30, 50 and 70 cm., The gravimetric method was used for determination. also evaluated the effect of irrigation rates and component performance, in the specific area of the leaves and the efficient use of irrigation water. We used a randomized experimental design. The values obtained were subjected to analysis of variance. We performed a multiple comparison test of Duncan (p₀, 05) (SPSS 11.0 software). Under the conditions of the research concludes that by applying 30% of the predicted ET₀, was a higher performance than when applying a higher dose. In the case of soil water content values were maintained between field capacity and wilting point, maintaining uniformity in the deeper layers, not in the surface layer, where the highest proportion of wheat roots . In relation to specific area, no significant difference, because the leaf area had reached its peak before the application of the treatments. The water use efficiency was higher in the treatment of obtaining a value 30% 1.32 kg/m³, higher doses were significantly less.

8. LITERATURA CITADA.

- **Águila, H. 1987.** Agricultura general y especial. Editorial Universitaria. Santiago, Chile. 334 p.
- **Allen R, Pereira L, Raes D. 2006.** Evapotranspiración del cultivo. Estudios FAO, Riego y drenaje, N° 56, Roma. 320 p.
- **Benacchio, S. 1982.** Algunas exigencias agroecológicas en 58 especies de cultivos con potencial de producción en el trópico americano. FONAIAP- CENIAP. Maracay, Venecia. 202 p.
- **Boyeldieu, J. 1980.** Les cultures cerealieres. Ed. Hachette. Paris. 255 p.
- **Camussi, G. F. y Marano, R. P. 2008.** Respuesta del trigo al riego suplementario en la región central de Santa Fe. Revista Fave. Ciencia Agraria. 7(1-2).
- **Dardanelli, J, A. Salinas, P. Mazzini; E. Lovera, y H. P. Salas. 1997.** El riego del trigo en la región central de Córdoba. En Jornadas de Riego. INTA EEA Manfredi, pp. 26-31.
- **Del Pozo, A., J. Garcia-Huidobro, R. Novoa and S. Villaseca, 1987.** Relationship of base temperature to development of spring wheat. Experimental Agriculture 23:21-20
- **DGA. 1987.** Balance hídrico de Chile. Ministerio de Obras Públicas. Dirección General de Aguas (DGA), Santiago, Chile. 33 p.

- **Díaz, M., y Parodi, P. 1974.** Influencia de la densidad de siembra y fertilización sobre componentes de rendimiento y rendimiento en trigo (*Triticum spp.*). Ciencia e investigación agraria. 1 (4): 195 – 205.
- **Doorenbos, J., Kassam, A.H. 1979.** Efecto del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Estudios FAO, Serie riego y drenaje n° 33 (rev).Roma. 193 p.
- **Doorenbos, JI y Pruitt, W. 1977.** Guidelines for predicting crop water requirements. Irrigation and Drainage, 24. Editorial FAO, Roma. 45: 48 y 63.
- **Faiguenbaum, H. 2003.** Labranza, siembra y producción de los principales cultivos de Chile. Editora Ograma, Chile. 760 p.
- **Fuentes J. 2003.** Técnicas de riego. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 248 p.
- **Gurovich L. 1997.** Riego superficial. Ediciones Univ. Católica de Chile. Santiago, Chile. 246 p.
- **Hargreaves, G. H. y Samani, Z. A., 1982.** Estimating potencial evapotranspiration. J. of Irrig.and Drain. ASCE. 108:223-230.
- **Hewstone, M. C. y Jobet, F. C. 2001.** Dollinco-INIA: trigo alternativo para el sur de Chile. Chillán. Chile Agricultura. Técnica. V.61 n.1

- **Hochman, I. 1982.** Effect of wáter stress with phasic development on yield of wheat grown in asemiarid environment. *Field Crop Res.* 5:55-57.
- **Hsiao, T. C.; Acevedo, E.; Fereres, E.; Herdenson, D. W. 1976.** Stress metabolism, wáter stress growth and osmotic adjustment. *Phil. Trans, R. Soc. London, B.* 273:479-500.
- **IREN-CORFO. 1970.** Estudio integrado de los recursos naturales de la provincia de Cautín. Descripción de suelo, Capitulo 29. Temuco, Chile.
- **Jerez, J. 1994.** Manual de riego para el sur de Chile. Serie Carillanca N° 39, INIA CARILLANCA, Chile. 83 p.
- **Kent, N., y Evers, A. 1994.** *Technology of Cereals: an introduction for students of fodd science and agriculture.* Cuarta edición. Oxford, Inglaterra. 334 p.
- **Luzio, W., y S. Alcayaga. 1992.** Mapa de asociaciones de grandes grupos de suelos de Chile. *Agricultura Técnica (Chile)* 52:347-353
- **Mellado, M. 2007.** *El trigo en Chile. Cultura, ciencia y tecnología.* Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Chillan. Chile. 684 p.
- **Novoa, R., S. Villaseca, P. Del Canto, L. Rouanet, C. Sierra, y A. Del Pozo, 1989.** *Mapa Agroclimático de Chile.* Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Santiago, Chile. 221 p.

- **Oficina de Estudios y Políticas Agrarias, (ODEPA), 2012-2013**
<http://www.odepa.cl/base-datos/estadisticas/>. Fecha de entrada 12 julio 2013
- **Olalla, F; Valero, J; Ramirez, A; Botella, O y Campos, I. 1993.** Agronomía del riego. Editorial Mundi-Prensa, Madrid, España. 469 p.
- **Oweis, T.;Zhang, H. and Pala, M. 2000.** Water use efficiency of rained and irrigated bread wheat in a Mediterranean environment. *Agron. J.* 92:231-238.
- **Parker R. 2000.** La ciencia de las plantas. Impreso por Paraninfo, España. 275 p.
- **Parodi, P. 1980.** Rendimiento, componentes de rendimiento y medio ambiente. *Ciencia e Investigación Agraria (Chile)*. 7(3): 205-217
- **Perrier, A. 1984.** Updated evapotranspiration and crop water requirements definitions. In: *Les besoins en eau des cultures / Crop Water Requirements*, Conference internationale, Paris.
- **Poehlman, J. 1965.** Mejoramiento genético del trigo. En mejoramiento genético de las cosechas. Editorial Limusa- Wiley. México. 453 p.
- **Rawson, H., y H. Macpherson. 2001.** Trigo regado. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 105 p.

- **Ritchie, J. T. 1971.** Dryland evaporative flux in a subhumid climate. I. Micrometeorological influences. *Agron. J.* 63:51-55.
- **Rouanet J. 1983.** Clasificación agroclimática. IX región, Macro-área II. Investigación y progreso agropecuario, Carillanca, Chile.
- **Rouanet, J.L., I. Pino., A.M. Parada, y A. Nario. 2001.** Efecto de tres sistemas de manejo de suelo en la eficiencia fisiológica de uso de nitrógeno fertilizante en trigo. *Agricultura Técnica. Chile.* 61:459-469.
- **Sadras, V. O. and Angus, J. F. 2006.** Benchmarking water use efficiency of rained wheat crops in dry environments. *Aust. J. Agric. Res.* 57:847-856.
- **Salgado, E. 2001.** Relaciones suelo, planta y agua. Universidad Católica de Valparaíso. Ediciones Universitarias de Valparaíso. Chile. 385 p.
- **Slafer, G. A.; Mirralles, D. J.; Savin, R.; Whitechurch, E. M. y Gonzalez F. G. 2003.** Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y calidad del trigo. En producción de granos: bases funcionales para su manejo. Pascale A. (Ed.). Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. 99-132 pp.
- **Vauchn H. y Orson I. 1981.** Principios y aplicaciones del riego. Editorial Reverte, España. 153 p.

ANEXOS

Anexo 1. Dosis de agua aplicada a cada tratamiento en los diferentes riegos.

| Nº RIEGO | FECHA | T MAX | T MIN | T MEDIA | RAIZ TD | ETO mm/día | VOLUMEN ETO LITROS/PARCELA | T0 | T1 | T2 | T3 |
|----------|------------|-------|-------|---------|---------|------------|----------------------------|--------|---------|---------|----------|
| 1 | 29/11/2011 | 21 | 3.8 | 12.4 | 4.15 | 7.78 | 0.75 m2 | 0% Eto | 30% Eto | 70% Eto | 100% Eto |
| | 30/11/2011 | 24 | 5 | 14.5 | 4.36 | 8.74 | | | | | |
| | 01/12/2011 | 26 | 6 | 16.0 | 4.47 | 9.39 | | | | | |
| | 02/12/2011 | 21 | 4 | 12.5 | 4.12 | 7.76 | | | | | |
| | 03/12/2011 | 15 | 3 | 9.0 | 3.46 | 5.77 | | | | | |
| | 04/12/2011 | 20 | 10 | 15.0 | 3.16 | 6.44 | | | | | |
| | 05/12/2011 | 21 | 9 | 15.0 | 3.46 | 7.06 | | | | | |
| | | | | | | | 40 | 0 | 12 | 28 | 40 |
| TOTAL | | | | | | 52.93 | | | | | |

| Nº RIEGO | FECHA | T MAX | T MIN | T MEDIA | RAIZ TD | ETO mm/día | VOLUMEN ETO LITROS/PARCELA | T0 | T1 | T2 | T3 |
|----------|------------|-------|-------|---------|---------|------------|----------------------------|--------|---------|---------|----------|
| 2 | 06/12/2011 | 26 | 11 | 18.5 | 3.87 | 8.73 | 0.75 m2 | 0% Eto | 30% Eto | 70% Eto | 100% Eto |
| | 07/12/2011 | 24 | 10 | 17.0 | 3.74 | 8.09 | | | | | |
| | 08/12/2011 | 27 | 8 | 17.5 | 4.36 | 9.56 | | | | | |
| | 09/12/2011 | 23 | 9 | 16.0 | 3.74 | 7.85 | | | | | |
| | 10/12/2011 | 20 | 10 | 15.0 | 3.16 | 6.44 | | | | | |
| | 11/12/2011 | 18 | 8 | 13.0 | 3.16 | 6.05 | | | | | |
| | 12/12/2011 | 21 | 10 | 15.5 | 3.32 | 6.86 | | | | | |
| | | | | | | | 40 | 0 | 12 | 28 | 40 |
| TOTAL | | | | | | 53.57 | | | | | |

| Nº RIEGO | FECHA | T MAX | T MIN | T MEDIA | RAIZ TD | ETO mm/día | VOLUMEN ETO LITROS/PAR CELA | T0 | T1 | T2 | T3 |
|----------|------------|-------|-------|---------|---------|------------|-----------------------------|--------|---------|---------|----------|
| 3 | 13/12/2011 | 26 | 13 | 19.5 | 3.61 | 8.35 | 0.75 m2 | 0% Eto | 30% Eto | 70% Eto | 100% Eto |
| | 14/12/2011 | 28 | 9 | 18.5 | 4.36 | 9.83 | | | | | |
| | 15/12/2011 | 28 | 10 | 19.0 | 4.24 | 9.70 | | | | | |
| | 16/12/2011 | 27 | 10 | 18.5 | 4.12 | 9.29 | | | | | |
| | 17/12/2011 | 27 | 9 | 18.0 | 4.24 | 9.43 | | | | | |
| | 18/12/2011 | 23 | 11 | 17.0 | 3.46 | 7.49 | | | | | |
| | 19/12/2011 | 22 | 12 | 17.0 | 3.16 | 6.83 | | | | | |
| | | | | | | | 46 | 0 | 14 | 32 | 46 |
| | | | | | TOTAL | 60.91 | | | | | |

| Nº RIEGO | FECHA | T MAX | T MIN | T MEDIA | RAIZ TD | ETO mm/día | VOLUMEN ETO LITROS/PARC ELA | T0 | T1 | T2 | T3 |
|----------|------------|-------|-------|---------|---------|------------|-----------------------------|--------|---------|---------|----------|
| 4 | 21/12/2011 | 18 | 8 | 13.0 | 3.16 | 6.05 | 0.75 m2 | 0% Eto | 30% Eto | 70% Eto | 100% Eto |
| | 22/12/2011 | 18 | 5 | 11.5 | 3.61 | 6.56 | | | | | |
| | 23/12/2011 | 21 | 5 | 13.0 | 4.00 | 7.65 | | | | | |
| | 24/12/2011 | 25 | 7 | 16.0 | 4.24 | 8.91 | | | | | |
| | 25/12/2011 | 26 | 10 | 18.0 | 4.00 | 8.89 | | | | | |
| | 26/12/2011 | 29 | 14 | 21.5 | 3.87 | 9.45 | | | | | |
| | 27/12/2011 | 30 | 13 | 21.5 | 4.12 | 10.06 | | | | | |
| | | | | | | | 43 | 0 | 13 | 30 | 43 |
| | | | | | TOTAL | 57.57 | | | | | |

| Nº RIEGO | FECHA | T MAX | T MIN | T MEDIA | RAIZ TD | ETO mm/día | VOLUMEN ETO LITROS/PARC ELA | T0 | T1 | T2 | T3 |
|----------|------------|-------|-------|---------|---------|------------|-----------------------------|--------|---------|---------|----------|
| 5 | 27/12/2011 | 29 | 12 | 20.5 | 4.12 | 9.81 | 0.75 m2 | 0% Eto | 30% Eto | 70% Eto | 100% Eto |
| | 28/12/2011 | 27 | 11 | 19.0 | 4.00 | 9.14 | | | | | |
| | 29/12/2011 | 23 | 12 | 17.5 | 3.32 | 7.27 | | | | | |
| | 30/12/2011 | 23 | 11 | 17.0 | 3.46 | 7.49 | | | | | |
| | 31/12/2011 | 24 | 10 | 17.0 | 3.74 | 8.09 | | | | | |
| | 01/01/2012 | 27 | 13 | 20.0 | 3.74 | 8.78 | | | | | |
| | 02/01/2012 | 28 | 12 | 20.0 | 4.00 | 9.39 | | | | | |
| | | | | | | | 45 | 0 | 13 | 31 | 45 |
| | | | | | TOTAL | 59.96 | | | | | |

Anexo 2.Características físico-hídricas de los suelos de la serie Freire (Jerez, 1994).

| Profundidad | CC (%) | PMP (%) |
|-------------|--------|---------|
| 0-31 | 65,7 | 37,6 |
| 31-43 | 74,7 | 51,3 |
| 43-57 | 72,2 | 52,5 |
| 57-80 | 47,3 | 53,7 |

1. INTRODUCCION

La Región de La Araucanía se destaca por la producción de cultivos tradicionales de cereales tales como trigo, avena y cebada, además de lupino y papa. De los anteriores, el trigo es el cereal de mayor importancia en la región, cuyo cultivo concentra más del 40 % de la producción nacional.

El trigo en esta zona de Chile es un cultivo netamente de secano, pero en los últimos años se ha requerido implementar la opción de riego suplementario para satisfacer las necesidades de agua del cultivo en los periodos de déficit hídricos en la temporada.

Lo anterior debido a modificaciones en las condiciones climáticas, que han provocado un aumento en la temperatura, conllevando una mayor demanda hídrica de los cultivos y una menor disponibilidad del agua en la zona Sur, atisbos de un posible efecto del cambio climático global.

Otro aspecto a considerar es cuán eficiente es el cultivo en el uso del agua en condiciones de secano comparado con riego, ante posibles escenarios de déficit hídrico, instancia en que será necesario priorizar y/u optimizar al máximo el recurso, para no afectar los rendimientos, producción y rentabilidad para el agricultor.

Existen investigaciones que demuestra un aumento del rendimiento en el cultivo de trigo cuando se aplica riego suplementario en la etapa de floración, que corresponde a uno de los periodos críticos del cultivo por demanda de agua, frente a periodos de escasez hídrica.

En relación a lo expuesto anteriormente, esta investigación tiene como hipótesis que aumentando la tasa de aplicación de riego desde la etapa de antesis, aumentaría el rendimiento y la eficiencia de uso del agua por el cultivo de trigo cv. Dollinco.

El objetivo general fue evaluar el efecto de distintas tasas de riego, aplicadas entre el estado de antesis y madurez de grano, sobre la eficiencia del uso del agua y rendimiento de Trigo cv. Dollinco en el Campo Experimental Maquehue, Región de La Araucanía durante la temporada 2011-2012.

Objetivos específicos:

1. Determinar el efecto de cuatro tasas de riego sobre el rendimiento del Trigo cv. Dollinco y los componentes de este rendimiento.
2. Establecer la eficiencia del uso de agua del trigo sometido a cuatro tasas de riego aplicadas desde antesis a madurez de grano.
3. Cuantificar el contenido de agua del suelo en relación con el volumen de agua aplicado.
4. Evaluar el efecto de las tasas de riego aplicadas sobre el área foliar específica de las hojas, como indicador de la condición de estrés hídrico.

2. REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1 Antecedentes generales del trigo (*Triticum aestivum* L.)

El trigo es una planta anual que pertenece a las familias de las gramíneas (Águila, 1987), y cuyo origen corresponde al suroeste de Asia, siendo introducido a Chile en el siglo XVI por los colonizadores españoles y a Estados Unidos por los primeros colonizadores ingleses (Poehlman, 1965).

Según Faiguenbaum (2003), las especies más importantes del trigo corresponden a *Triticum aestivum* L., el cual se utiliza en la producción panadera, galletas y repostería. La segunda, *Triticum turgidum* L. ssp. *Durum* (Desf.) *Huns*, especie utilizada en la obtención de semolina para la fabricación de fideos y pastas.

Kent y Evers (1994), según su importancia, establecieron que el uso de este cereal estaría mayoritariamente destinado para la alimentación humana (67%), en segundo lugar, para la alimentación animal (20%), y cerca de 7%, para semilla y uso industrial.

En Chile, el cultivo de trigo se encuentra desde la I a la XI región, pero se concentra básicamente entre la VII y la IX región, donde se siembra aproximadamente el 80% del total nacional. A nivel nacional la superficie de cultivos anuales establecidos en la temporada 2005/2006 fue de 754.550 ha, de las cuales 314.720 ha correspondieron a siembras de trigo, abarcando el 41,7 % de la superficie destinadas a cultivos anuales. En la temporada 2011/2012 el rendimiento obtenido fue de 49,5qqm/ha, con una producción total nacional de 1.212.983 toneladas (ODEPA, 2013).

2.2 Requerimientos edafoclimaticos del cultivo.

El trigo prospera en texturas de suelos franco-arcillo-limosos y franco-arcillosos (Benacchio, 1982). Según Luzio y Alcayaga (1992), el cultivo se siembra en diferentes tipos de suelos perteneciente a uno de los siguientes ordenes: Entisoles, Inceptisoles, Mollisoles,

Alfisoles, Vertisoles, Andisoles o Utisoles. Requiere suelos con buen drenaje para no afectar el desarrollo radicular (Doorenbos y Kassam, 1979).

El clima más favorable para este cereal es de tipo mediterráneo, lluvioso en invierno y seco en verano el cual está presente desde la IV a la IX regiones, sin periodos de sequía (Novoa y otros, 1989). En relación a la humedad ambiental requiere una atmósfera seca, la alta humedad no le es favorable (Benacchio, 1982), ya que propician la presencia de enfermedades fungosas.

Las etapas de germinación, emergencia, macolla y elongación de las hojas que forman parte de la etapa vegetativa requiere una temperatura base de unos 2°C, la elongación del tallo y la fase reproductiva requiere una temperatura base sobre 6°C (Del Pozo et al., 1987).

El trigo de invierno necesita un período frío (vernalización) durante sus primeras etapas de crecimiento, para el desarrollo normal de las espigas durante los días largos. En sus etapas iniciales de desarrollo, el trigo de invierno tolera temperaturas de hasta -20°C, sin embargo, en las siguientes etapas de desarrollo el trigo es susceptible al daño por heladas cercanas a 0°C. Heladas en trigo de primavera durante la floración y desarrollo de la espiga, producen alto grado de esterilidad (Doorenbos y Kassam, 1979).

2.3 Rendimiento y componentes de rendimiento

El rendimiento es expresado en forma absoluta, como el carácter multigenico, en cuya expresión participan en acción e interacción, todos los genes y mecanismo de las plantas. Debido a estos, es frecuentemente modificado por el medio ambiente. Es así, como la acción individual de cada componente del rendimiento es drásticamente afectada por el medio ambiente y por la interacción de los restantes componentes del rendimiento (Parodi, 1980).

Los componentes del rendimiento están determinados en diferentes épocas de la ontogenia del cultivo, por este motivo son afectados en períodos diferentes por el medio ambiente. Como consecuencia, se obtiene un efecto compensatorio (Díaz y Parodi, 1974; Parodi, 1980).

Los componentes para estimar el rendimiento en trigo son número de espigas por metro cuadrado, el número de espiguillas por espiga, el número de granos por espiguilla y el peso de los granos (Faiguenbaum, 2003).

En zonas donde la humedad del suelo es restrictiva durante la primavera, el riego es el factor más importante en la productividad, ya que el rendimiento está relacionado directamente con el agua que la planta transpira (Mellado, 2007).

2.4 Requerimientos hídricos del cultivo.

En Chile, el 75% de las siembras de trigo se desarrollan bajo el régimen de secano, es decir, el agua aportada al suelo, corresponde a la agua lluvia.

La cantidad de agua que utiliza el cultivo a través de sus diferentes estados de desarrollo vegetativo y reproductivo hasta llegar a madurez fisiológica se denomina uso consumo (Mellado, 2007). El trigo requiere de 700 a 1.000 mm de precipitaciones durante el ciclo del cultivo (Benacchio, 1982).

Se debe partir de la premisa que cuando las siembras de trigo no cuentan con condiciones naturales que aseguren una disponibilidad de agua ajustada a los requerimientos de la planta, es necesario regarlas. En las áreas de producción triguera del país, el déficit hídrico es una de las principales limitaciones para la producción de trigo en secano, desde la IV hasta la VIII regiones, fenómeno que se ha agudizado en los últimos cien años (Mellado, 2007). Por ejemplo, en La Serena la precipitación ha disminuido de 170 mm anuales a menos de 80 mm durante el siglo XX (DGA, 1987).

En la zona centro sur del país, las necesidades de agua para el cultivo aumentan significativamente desde el mes de octubre hasta diciembre, debido al rápido desarrollo y crecimiento de las plantas, y al aumento del poder de evaporación a la atmosfera, que coincide con las etapas de encañado, espigado y formación de grano. Este mayor consumo de agua por

parte del trigo durante la primavera, a veces se ve obstaculizado por la falta de precipitaciones en las siembras de secano, incluso en el sur de Chile (Mellado, 2007).

Rouanet y otros (2001), señalan que en experimentos efectuados en Nueva Imperial (IX Región) la caída de la humedad aprovechable del suelo, desde octubre en adelante, habría afectado negativamente el llenado de grano de la variedad Dalcahue-INIA sembrada en mayo.

2.5 La Evapotranspiración.

Perrier (1984), define este proceso como “la pérdida total de agua de una cubierta vegetal bajo forma de vapor a través de la evaporación y transpiración durante un intervalo de tiempo dado. La evaporación y la transpiración ocurren simultáneamente, siendo muy difícil cuantificar cada uno por separado (Salgado, 2001).

Ollala *et al.*, (1993), define evapotranspiración como la suma del agua evaporada directamente durante el proceso de riego, del agua evaporada desde el suelo, la evaporación de agua libre interceptada y retenida en la superficie de la cubierta y del agua absorbida por el cultivo y transpirada hacia la atmosfera. Tanto la evaporación como la transpiración son procesos físicos muy similares, en cual el agua pasa del estado líquido a vapor, liberándose hacia la atmosfera, estos procesos difieren en el tipo de superficie evaporante (Fuentes, 2003; Parker, 2000).

Ambos procesos estarían limitados, por la demanda evaporativa de la atmosfera, cantidad de agua disponible en el suelo, por las características del suelo y por las características de la cubierta vegetal (Ritchie, 1971). A medida que crece y se desarrolla la cubierta vegetal aumenta la transpiración, en consecuencia aumenta el índice foliar y el grado de cobertura de la superficie, por lo tanto cuando la cobertura es total, la transpiración es la principal fuente de pérdida de agua (Ollala *et al.*, 1993).

2.5.1 Evapotranspiración de Referencia (ET_o). El concepto se introdujo para estudiar la demanda de evapotranspiración a la atmósfera, independientemente del tipo y desarrollo del cultivo y de las prácticas de manejo (Allenset *et al.*, 2006). La superficie de referencia corresponde

al consumo de agua de un cultivo de alfalfa o gramíneas con características específicas, bajo ciertas condiciones en un periodo de tiempo (Fuentes, 2003). El mismo autor señala los factores que afectan la evapotranspiración de referencia, entre ellos, factores climáticos, por lo mismo puede ser calculada con datos climáticos. ETo expresa el poder evaporante de la atmósfera en una localidad y época del año específicas, sin considera las características del cultivo, ni los factores del suelo.

2.5.2 Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (ETc). Es la correspondiente a la cubierta vegetal exenta de enfermedades, en condiciones óptimas de suministro de agua y nutrientes, en amplias superficies, con el fin de obtener la máxima producción en ciertas condiciones climáticas. La ETc depende de la fase del crecimiento en que se encuentre el cultivo (Fuentes, 2003).

Las características morfológicas y fisiológicas que poseen tanto el cultivo de estudio, como el cultivo de referencia (alfalfa o gramínea) difieren la ETc y ETo, estos se relacionan a través, de un coeficiente de cultivo; que es el cuociente entre ambas, el cual permite librar las diferencias presentadas entre ambos cultivos (Allen *et al.*, 2006)

Gurovich (1997), señala que los factores atmosféricos involucrados son: la humedad relativa del aire, la insolación y la radiación solar. En tanto, Doorenbos y Pruitt (1977), admiten el hecho de que la evapotranspiración está influenciada por la temperatura y la velocidad del viento.

2.6 Periodos críticos del cultivo en periodo de déficit hídrico.

El agua juega un papel fundamental desde la emergencia hasta la madurez fisiológica; por lo que no debe faltar en ningún momento durante el ciclo del cultivo (Mellado, 2007).

El periodo más sensible a déficit hídrico comprende entre el estado de bota y floración, mientras que el periodo en que el riego produce más beneficios al cultivo abarcaría entre estado

de encañado a grano pastoso. Rawson y Macpherson (2001) indican que la demanda de agua es más elevada entre el macollaje y el encañado. Un déficit hídrico en estado pre-antesis afecta el índice de área foliar, el índice foliar y número de granos por espiga (Hochman, 1982). Los períodos de escasez de agua que pueden coincidir con momentos críticos de definición del rendimiento, desde 20 días prefloración a 10 días post floración, para el caso del trigo (Slafer *et al.*, 2003), siendo necesaria la aplicación de agua por riego.

Cuando la humedad aprovechable del suelo es escasa en la fase vegetativa, se reduce el número de macollas y disminuye el tamaño de la planta, debido a que se afecta el crecimiento celular, durante el periodo de encañado el déficit hídrico afecta el inicio de los primordios florales, si la humedad faltase antes de floración se disminuye la cantidad de biomasa y la altura, mientras que durante la floración se afecta la cantidad potencial de granos por espigas, si falta durante el periodo de llenado de grano, se afecta el peso y tamaño de los granos (Mellado, 2007).

En situaciones de una severa sequía durante la floración, el rendimiento se reduce a un mínimo debido al aborto floral, acompañado de bajo porcentaje de fecundación, lo cual origina la producción de pocos granos y de mal desarrollo. En periodo de llenado de grano una severa sequía causara la detención del proceso de translocación de fotosintatos. Lo anterior se agrava más si es acompañado de periodos de fuertes vientos y temperaturas altas (Mellado, 2007).

2.7 Medición del contenido de humedad del suelo.

El contenido de humedad del suelo es un indicador del consumo, dado que el balance hídrico establece que las variaciones en este contenido, equivale a la diferencia entre las entradas de agua al suelo y las salidas (Ollala *et al.*, 1993).

Es necesario indicar, la gran dificultad que tiene el obtener datos representativos del contenido hídrico del suelo en terreno, dado la gran variabilidad vertical y horizontal que dicho contenido presenta, debido a la dinámica del agua, a irregularidades en la distribución de las

raíces, a los cambios topográficos y a las diferencias de propiedades físicas de los distintos perfiles de suelo (Olalla *et al.*, 1993).

Desde el punto de vista hidrológico, el suelo, es un depósito de agua cuya capacidad para contenerla y retenerla dependen en gran medida de sus propiedades físicas y químicas (Fuentes, 2003).

Los métodos directos para la determinación de la humedad contenida en el suelo, aunque laboriosos y costosos, son de gran valor. La práctica consiste en barrenar o taladrar hasta las profundidades deseadas con una barrena de edafología o con un tubo, extraer las muestras obtenidas de suelo húmedo y colocarlas en botes con tapadera y llevarlas al laboratorio para su posterior desecación y pesada. Las muestras de suelo húmedo, se colocan en hornos a una temperatura de 105-110 °C, hasta que quedan exentas de humedad (Vaughn y Orson, 1981). El tiempo durante el cual las muestras están en el horno, es generalmente de 48 horas. (Olalla *et al.*, 1993).

La humedad del suelo puede expresarse en forma gravimétrica, como una relación de masas o en forma volumétrica, como una relación de volúmenes. En ambos casos el agua debe ser separada del suelo y luego, medida o estimada (Fuentes, 2003). En riego, especialmente en la determinación de necesidades hídricas de los cultivos, la expresión de contenido de humedad de suelo que más interesa es la volumétrica, sin embargo, la determinación de esta generalmente se realiza a partir del contenido gravimétrico de humedad, pues resulta bastante difícil establecer el volumen exacto de una muestra de suelo (Gurovich, 1997).

2.8 Eficiencia del uso del agua (EUA) y productividad del agua.

El incremento de la demanda de agua de los cultivos, junto con lo limitado en que se encuentra el recurso en los últimos años, conduce a la necesidad de generar prácticas agrícolas, que logren aumentar la eficiencia del uso del agua en el riego (Fuentes, 2003).

Los términos de resistencia a sequía y eficiencia en la utilización del agua son a veces utilizados como sinónimos, aunque no se relacionan frecuentemente. Ya que el primero es la

capacidad de una planta para sobrevivir y producir satisfactoriamente frente a condiciones de sequía, en tanto el segundo, es la eficiencia con que el agua es utilizada para producir materia seca(Hsiao y Acevedo, 1974).

La eficiencia de uso de agua (EUA), se puede expresar en términos de relación entre unidades de materia seca total producida, por unidad de agua consumida, o como miligramos de CO₂ consumido por gramo de agua gastada en el proceso de transpiración(Ollala *et al.*, 1993).

Según Boyeldieu (1980), las necesidades de agua del trigo, expresado en kilogramos de agua para producir un kilogramo de materia, es decir, el coeficiente de transpiración corresponde a 500-550.

Los factores más influyentes en la EUA, son la humedad del aire, los niveles de CO₂ en la atmosfera, como también la temperatura del aire, la radiación y las disponibilidades hídricas del suelo.

La productividad del riego, se puede definir como la diferencia de rendimiento entre trigo regado y trigo en secano versus el aporte de riego (Camussi y Marano, 2008).

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Ubicación del ensayo.

Esta tesis se desarrolló en el Campo Experimental Maquehue, propiedad de la Universidad de la Frontera, ubicada en el Llano Central de la IX Región de la Araucanía a 14 km. de la comuna de Padre las Casas (coordenadas UTM; 699.875 mE, 5.698.229 mN, datum WGS 84).

3.2 Duración de la investigación

El ensayo se realizó, desde el mes de octubre del 2011 hasta el mes de febrero de 2012, con el fin de realizar el ensayo coincidiendo con la etapa reproductiva del cultivo.

3.3 Características edafoclimáticas.

El suelo de la Estación Experimental Maquehue, pertenece a la serie Freire; el cual se ha desarrollado a partir de cenizas volcánicas modernas depositadas sobre gravas y arenas ligeramente compactadas de topografía plana a muy plana, con pendientes de 1% a 3%. Son suelos moderadamente profundos (50 – 90 cm), de texturas medias y de colores pardos muy oscuros en la superficie. Su drenaje es pobre a moderado (IRENCORFO, 1970).

Presenta un clima mediterráneo templado, el cual se caracteriza por tener una temperatura promedio anual de 12° C. El periodo libre de heladas se extiende desde enero hasta febrero. El régimen hídrico se caracteriza por una precipitación anual de 1.680 mm, siendo mayo el mes más lluvioso. (Rouanet, 1983). La evapotranspiración de referencia promedio para el sector donde se encuentra el predio, según la Cartografía de Evapotranspiración de Chile elaborada por la Comisión Nacional de Riego (2000), es del orden de los 975 mm anuales.

3.4 Material biológico.

Se utilizó una siembra de trigo alternativo variedad Dollinco-INIA, cuya época de siembra se realizó en el mes de mayo del 2011, con una dosis semilla de 200 kg ha⁻¹, con una fertilización de 30 unidades de N ha⁻¹, 180 unidades de P₂O₅ ha⁻¹, y 100 unidades de K₂O ha⁻¹. El resto de las unidades de N (95 u) fueron aplicados al inicio de macolla y la segunda aplicación (95 u N) al término de macolla, lo que suma en total 220 unidades de N.

3.5 Instalación del ensayo y materiales utilizados.

El ensayo se realizó a 20 metros hacia el interior de una sementera de trigo variedad Dollinco, allí se procedió a dimensionar 12 parcelas de 0,75 m², usando huincha de medir, estacas de maderas, martillo y cortadora de pasto para la demarcación de los caminos.

Luego de realizado lo anterior, se procedió a excavar una zanja con pala y picotas alrededor de cada parcela, con una profundidad de 80 cm, con el fin de instalar una cubierta de plástico que rodeara todo el contorno de la parcela hasta la profundidad señalada, y se rellenaron las zanjas con la tierra extraída, con el propósito de evitar el flujo de aguas laterales.

3.6 Determinación de la evapotranspiración y dosis de riego aplicado.

Para calcular las necesidades hídricas del cultivo, se utilizó la fórmula de evapotranspiración de referencia establecida por Hargreaves y Samani (1985). La ecuación simplificada es:

$$ET_o = 0.0135 * KT * Ra * TD^{1/2} * (TC + 17.8)$$

Donde:

ET_o: Evapotranspiración de referencia (mm/día).

KT: Coeficiente empírico. Coeficientes que relacionan la radiación global solar con la diferencia de las temperaturas. Necesita ser calibrado para la zona en que se aplique.

Ra: Radiación extraterrestre que llega al tope de la atmósfera en mm/día y que es constante para cada lugar en un determinado día del año, depende de la latitud, siendo para el mes de Diciembre 18,2.

TD: Diferencia entre la temperatura máxima y la temperatura mínima (° C).

TC: Temperatura media diaria (° C).

Se pronostico la evapotranspiración semanal según esta fórmula, utilizando los pronósticos de las temperaturas máximas y mínimas, de la Dirección Meteorológica de Chile (<http://www.meteochile.cl/pronostico.html>). Con éstas se pudo estimar finalmente los milímetros de agua evaporada diariamente, lo que dio un pronóstico de las necesidades hídricas de la planta, para un periodo de una semana, con el fin de establecer las dosis de riego.

Ajustada de acuerdo a las condiciones en que se desarrolló el estudio, la fórmula quedó establecida como:

$$ET_o = 0.0135 * 0.0975 * Ra * TD^{1/2} * (TC + 17.8)$$

Se estableció una frecuencia de riego de 7 días, para determinar la cantidad semanal de agua a aplicar en los tratamientos de riego se consideraron distintas fracciones de riego, correspondientes a distintos porcentajes de la ET_o , quedando la cantidad total de agua a aplicar por planta establecida como se indica a continuación:

$$Dosis(l / parcela) = A_{parcela}(m^2) * \sum_1^7 ET_{oi}(l / m^2)$$

La aplicación de agua se realizó mediante balde graduado sobre la superficie de la parcela. Los tratamientos de dosis de riego fueron de 0, 30, 70 y 100 por ciento de la ET_o (T_0 , T_1 , T_2 Y T_3 respectivamente) pronosticada para la semana siguiente a cada riego. (Véase anexo 1)

3.7 Determinación del contenido de humedad del suelo.

Las muestras de suelos fueron tomadas antes de la aplicación de cada riego semanal con un barreno a las profundidades de 30, 50 y 70 cm y conservadas en recipientes de aluminio. La humedad del suelo se determinó en base al método gravimétrico.

Después de ser tomadas las muestras de suelo estas fueron pesadas, para determinar la masa de suelo húmedo (Msh) y posteriormente llevadas a un horno de secado, donde permanecieron hasta que tuvieran un peso constante (24 h a 110 ° C), para luego ser pesadas y determinar la masa de suelo seco (Mss). Una vez determinada las respectivas masas, se calculó la humedad gravimétrica; este método es aceptado como estándar para expresar la humedad contenida en el suelo y se basa en la siguiente ecuación (Salgado, 2001; Gurovich, 1997; Olalla *et al.*, 1993).

$$\theta_w(g/g) = (Msh - Mss) / Mss$$

θ_w : humedad gravimétrica (g/g).

Msh: masa de suelo húmedo (g).

Mss: masa de suelo seco (g).

El contenido gravimétrico en g/g, puede expresarse también en porcentaje, es decir, gramos de agua por cada 100 g de suelo. Los valores obtenidos se compararon con los contenidos de capacidad de campo (CC) punto de marchitez permanente (PMP), determinados para las tres estratas en el laboratorio de acuerdo al método de cámaras de presión.

3.8 Determinación del área específica

Para estimar el efecto de las tasa de riego en el desarrollo vegetativo, se determinó el área específica de hojas. Se tomaron como muestra 5 hojas bandera del cultivo al azar por parcela en estado verde en el periodo post-antesis, las cuales fueron colocadas en láminas de transparencia,

para luego ser escaneadas. Con ayuda del programa computacional Topocal, se determino el área (cm^2) de cada hoja. Así se obtuvo un promedio de aéreas para cada parcela.

Después de realizado lo anterior, se procedió a secar las hojas en forma natural a la exposición del sol, para la eliminación del contenido de agua. Una vez secadas se pesaron en una balanza analítica. Con estos datos, se relacionó área y peso, obteniéndose el área específica de las hojas en cm^2/g .

3.9 Determinación del rendimiento y componentes de rendimiento.

La cosecha del trigo se realizó una vez terminado su periodo de secado de grano, lo que ocurrió el 18 de enero del 2012, se realizó en forma de arranque manual y las plantas se almacenaron en bolsas plásticas, luego en el laboratorio se procedió a separar cada componente de la biomasa aérea.

3.9.1 Peso de componentes vegetativos de la materia seca aérea. Se pesó el total de tallos y hojas de cada parcela, obteniéndose un promedio por cada tratamiento.

3.9.2 Número y peso de espigas. Se contabilizaron y pesaron el total de espigas de cada parcela, obteniéndose un promedio por cada tratamiento.

3.9.3 Numero de granos por espiga. Se tomó de cada parcela 5 espigas al azar, y se contabilizó el número de granos de cada una de ellas. Del promedio por muestra, se obtuvo el valor de esta medición para cada parcela.

3.9.4 Rendimiento de grano. El grano cosechado de esta superficie fue pesado en una balanza analítica, para posteriormente ser llevado a qqm ha^{-1} .

3.10 Determinación de la eficiencia de uso del agua y su productividad.

La eficiencia y su productividad se determinaron, mediante las siguientes ecuaciones:

$$EUA(kg / m^3) = \frac{rend.obtenido}{vol.deagua(riego + lluvia)}$$

La fórmula anterior, relaciona el rendimiento obtenido de cada tratamiento con el volumen de agua (m^3), aportado tanto, por las precipitaciones en la temporada de desarrollo del cultivo y la aplicación del riego suplementario correspondiente a cada tratamiento, obteniéndose la eficiencia de uso del agua en kg/m^3 .

$$PDR(kg / m^3) = \frac{(rend.riego - rend.sec\ ano)}{vol.riego}$$

En esta fórmula, relaciona el rendimiento diferencial entre el obtenido en cada tratamiento regado con el tratamiento en seco, según el volumen de agua (m^3), el cual solo involucra el agua aportado por el riego en cada tratamiento regado, obteniéndose la productividad del riego.

4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Agua aplicada.

En el cuadro 1, se indican las fechas de riego en que se aplicaron los tratamientos, destacando que el riego se realizó con una frecuencia de 7 días y un total de 5 riegos, abarcando desde noviembre a fines de diciembre. Se indican las dosis de agua aplicada a cada tratamiento, determinado según la ecuación de Hargreaves y Samani (1985), como se explicó, correspondiendo a 0, 30, 70 y 100% de la ETo pronosticada para la semana, para los tratamientos T₀, T₁, T₂ y T₄, respectivamente. Se destaca que el T₀ se desarrolló solo con el volumen de agua entregado por las precipitaciones (secano).

Cuadro 1. Fechas de riego y dosis de agua (mm) aplicada a cada tratamiento.

| | | TO | T1 | T2 | T3 |
|---------------------------------|-------------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| FECHA | | | | | |
| RIEGO 1 | 29/11/2011 | 0 | 15,9 | 37,1 | 52,9 |
| RIEGO 2 | 06/12/2011 | 0 | 16,1 | 37,5 | 53,6 |
| RIEGO 3 | 14/12/2011 | 0 | 18,3 | 42,6 | 60,9 |
| RIEGO 4 | 21/12/2011 | 0 | 17,3 | 40,3 | 57,6 |
| RIEGO 5 | 27/12/2012 | 0 | 18,0 | 42,0 | 60,0 |
| RIEGO TOTAL | | | | | |
| (mm) | | 0 | 85,6 | 199,5 | 285,3 |
| APORTE LLUVIA(mm) | | 722,4 | 722,4 | 722,4 | 722,4 |
| TOTAL (mm) | | 722,4 | 808,0 | 921,9 | 1007,7 |
| TOTAL (m³/ha) | | 7224 | 8080 | 9219 | 10077 |

Además, en el cuadro se señala el total de agua aplicada en los 5 riegos realizados por cada tratamiento, alcanzando 285,3 mm para el caso de 100% de la ETo, como también el aporte de agua otorgado por las precipitaciones. Este aporte se obtuvo de la suma de las precipitaciones caídas entre la siembra del trigo hasta la fecha de cosecha(mayo, 2011-enero, 2012).

Los volúmenes de agua para los 4 tratamientos (722,4 a 1007,7 mm), coinciden con el rango entregado por Benacchio (1982), que señala que el cultivo de trigo requiere de 700-1000 mm de precipitaciones para su desarrollo. Aunque solo el tratamiento T₀, cumple con el rango en base a las precipitaciones, ya que en los demás tratamientos los valores son mayores, debido al aporte de riego suplementario correspondiente a cada tratamiento.

4.2 Contenido de humedad del suelo.

En la figura 1, se muestra los resultados obtenidos de los muestreos realizados en las seis fechas señaladas, a cada tratamiento, correspondiente al contenido de humedad del suelo en la estrata de 0-30 cm de profundidad.

Para esta estrata se consideró un valor del contenido de humedad gravimétrico a capacidad de campo de 61% y a punto de marchitez permanente de 39 %, valores que estarían en el rango esperable para la serie de suelo Freire (véase anexo 2).

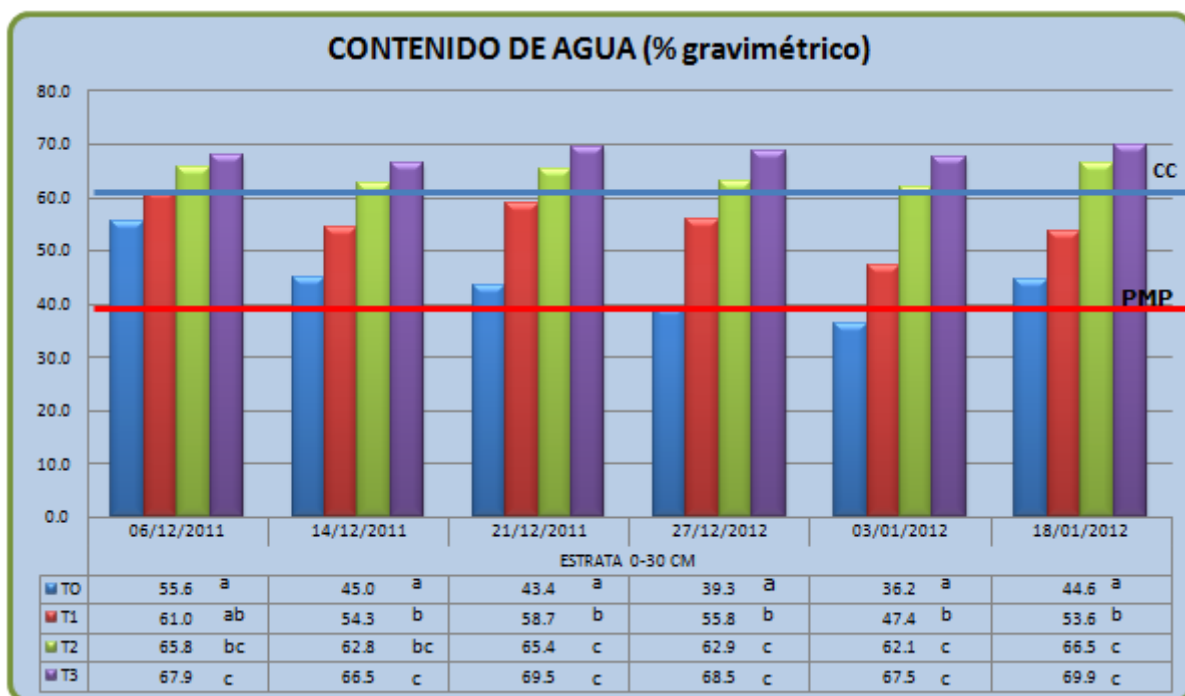


Figura 1. Contenido de humedad gravimétrico del suelo en la estrata de 0-30 cm, en las distintas fechas de muestreo indicados. Letras distintas indican diferencias significativas (Duncan, $P < 5\%$).

Los valores de humedad gravimétrica obtenidos en cada tratamiento, se mantuvieron por sobre el punto de marchitez permanente, lo cual indicaría que el agua estuvo en todo momento disponible para el cultivo en la estrata de 0-30 cm

Se observa que los tratamientos T0 y T1 se encuentran entre el rango de humedad aprovechable de suelo, en tanto los tratamientos T2 Y T3, se encuentra por sobre la capacidad de campo, indicando un exceso de humedad en esta primera estrata.

En la figura 2, se muestra los resultados obtenidos de los muestreos realizados en las seis fechas señaladas, a cada tratamiento, correspondiente al contenido de humedad del suelo en la estrata de 30-50 cm de profundidad.

Para esta estrata se consideró un valor del contenido de humedad gravimétrico a capacidad de campo de 61% y a punto de marchitez permanente de 39 %, valores que estarían en el rango esperable para la serie de suelo Freire.

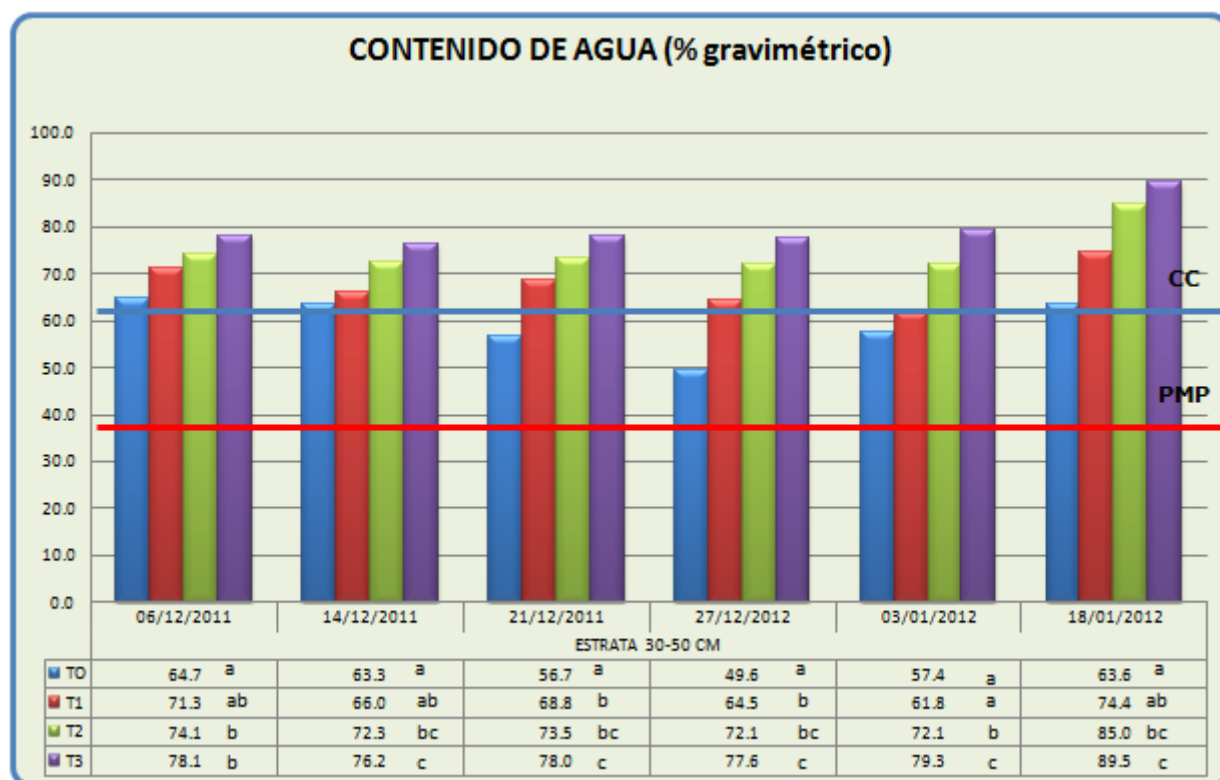


Figura 2. Contenido de humedad gravimétrico del suelo en la estrata de 30-50 cm, en las distintas fechas de muestreo indicados. Letras distintas indican diferencias significativas (Duncan, $P < 5\%$).

Los valores de humedad gravimétrica obtenidos en cada tratamiento en esta estrata, se mantuvieron por sobre el punto de marchitez permanente, lo cual indicaría que el agua estuvo en todo momento disponible para el cultivo en la estrata de 30-50 cm.

El tratamiento testigo se encuentra en el rango de humedad aprovechable del suelo, mientras que en los 3 tratamientos restantes sus valores se encuentran por sobre la capacidad de campo, lo que

indicaria un exceso de agua en esta estrata, destacandose los tratamientos T2 y T3, alcanzando este ultimo, en la ultima fecha de muestreo un valor cercano al 90 % de humedad gravimetrica.

En la figura 3, se muestran los resultados obtenidos de los muestreos realizados en las seis fechas señaladas, a cada tratamiento, correspondiente al contenido de humedad del suelo en la estrata de 50-70 cm de profundidad.

Para esta estrata se consideró un valor del contenido de humedad gravimétrico a capacidad de campo de 61% y a punto de marchitez permanente de 39 %, valores que estarían en el rango esperable para la serie de suelo Freire.

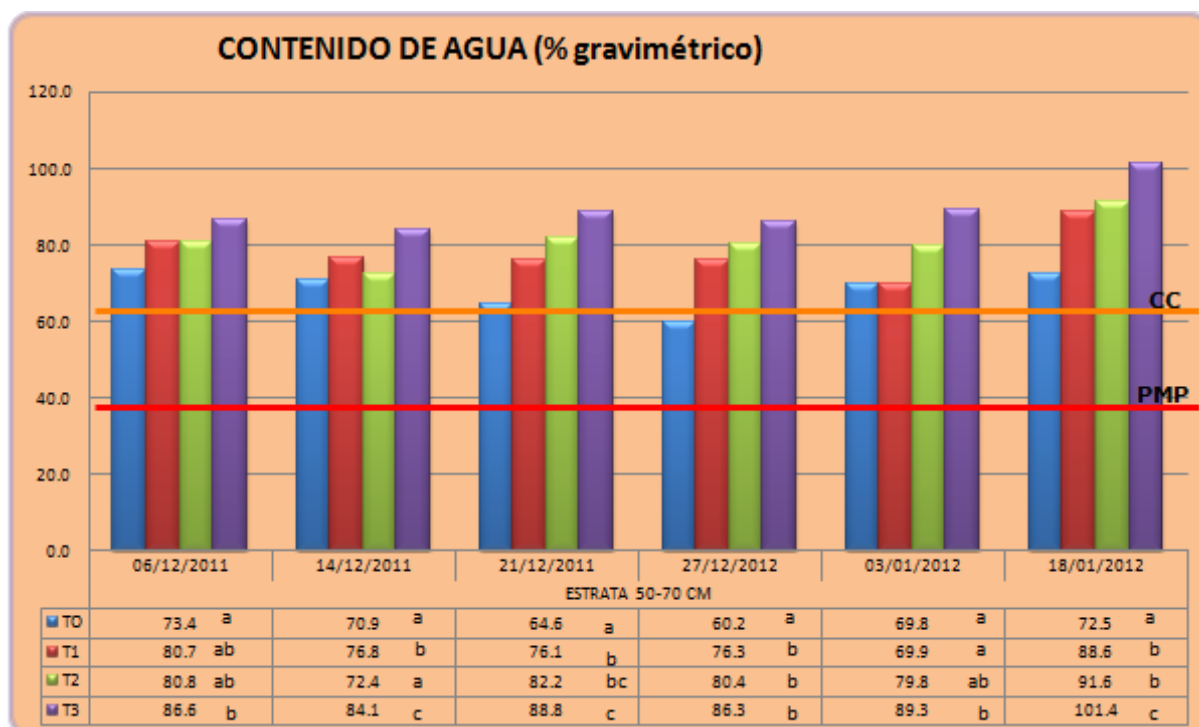


Figura 3. Contenido de humedad gravimétrico del suelo en la estrata de 50-70 cm, en las distintas fechas de muestreo indicados. Letras distintas indican diferencias significativas (Duncan, $P < 5\%$).

Los valores de humedad gravimétrica obtenidos en cada tratamiento en esta estrata, se mantuvieron por sobre el punto de marchitez permanente, lo cual indicaría que el agua estuvo en todo momento disponible para el cultivo en la estrata de 50-70 cm.

En esta estrata todos los tratamientos se encuentran por sobre la capacidad de campo, salvo en el caso del testigo en la fecha 27/12/2012 que se encuentra levemente por debajo de CC. En este caso el contenido de humedad del suelo es altamente excesivo en todos los tratamientos, por lo cual se estima que se produjo una sobre-estimación de las necesidades hídricas del cultivo.

4.3 Rendimiento.

En relación al rendimiento en qqm/ha obtenidos por los 4 tratamientos aplicados (Figura 4), el testigo, es decir, solo con aporte de agua al suelo en base a las precipitaciones obtuvo el rendimiento más bajo (94.8 qqm/ha), valor que se diferenció significativamente con los demás tratamientos. Entre los tratamientos regados, no arrojó diferencias significativas.

Esto indica que dosis mayores de riego, no producen mayor rendimiento bajo las condiciones en que se realizó el estudio. Por el hecho de regar en base a un 30% de la ETo (T1), el rendimiento se aumentó en un 15,2%, mientras que en el caso 70 y 100% de la ETo, se aumentó 12,4 y 15,9 %, respectivamente.

Hewstone y Jobet, 2001 señalan que la trigo Dollinco-Inia es una variedad de alto potencial de rendimiento alcanzando 100 qqm/ha. Los valores obtenidos en rendimiento se asemejan a los obtenidos por los autores antes mencionados, en ensayos realizados en las localidades de Carillanca y La Pampa, sembrados en épocas de invierno y primavera, arrojó valores de 9,93-7,84 qqm/ha y 14,46- 11,38 qqm/ha, respectivamente.

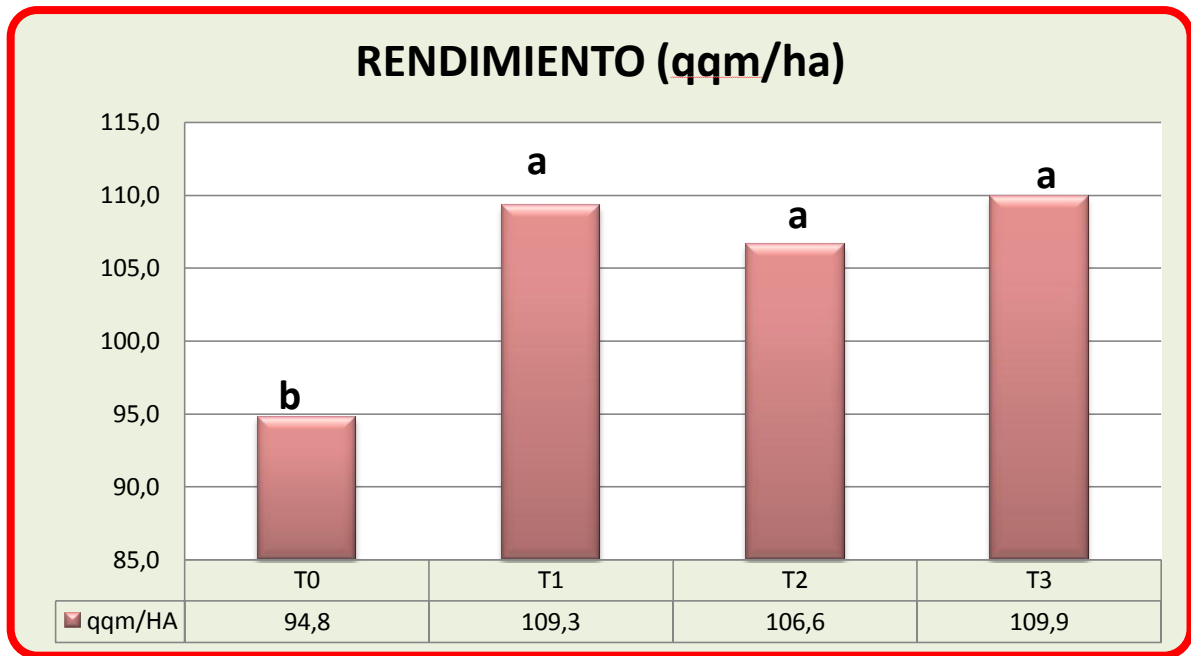


Figura 4. Rendimiento obtenido (qqm/ha), en las diferentes tasas de riego. Letras distintas indican diferencias significativas (Duncan, $P < 5\%$).

Ensayos realizados en los años 1981 y 1982 de riego en la VIII Región, en suelos del secano interior y de la precordillera andina, las siembras se realizaron en mayo con la misma variedad, el riego se realizó cada vez que se agotaba el 50% de la humedad aprovechable. Los resultados arrojaron en el secano interior el rendimiento con riego fue de 26% superior al de secano, mientras que en la zona de precordillera fue tan solo de un 2%. (Maldonado y Del Canto, 1981, 1982).

4.4 Biomasa total aérea.

En la figura 5, se indican los valores de biomasa total aérea, los cual no incluye la biomasa de las raíces, debido a la forma de cosecha, el cual consistió en forma de arranque manual, que generó pérdidas de material vegetal a nivel de las raíces.

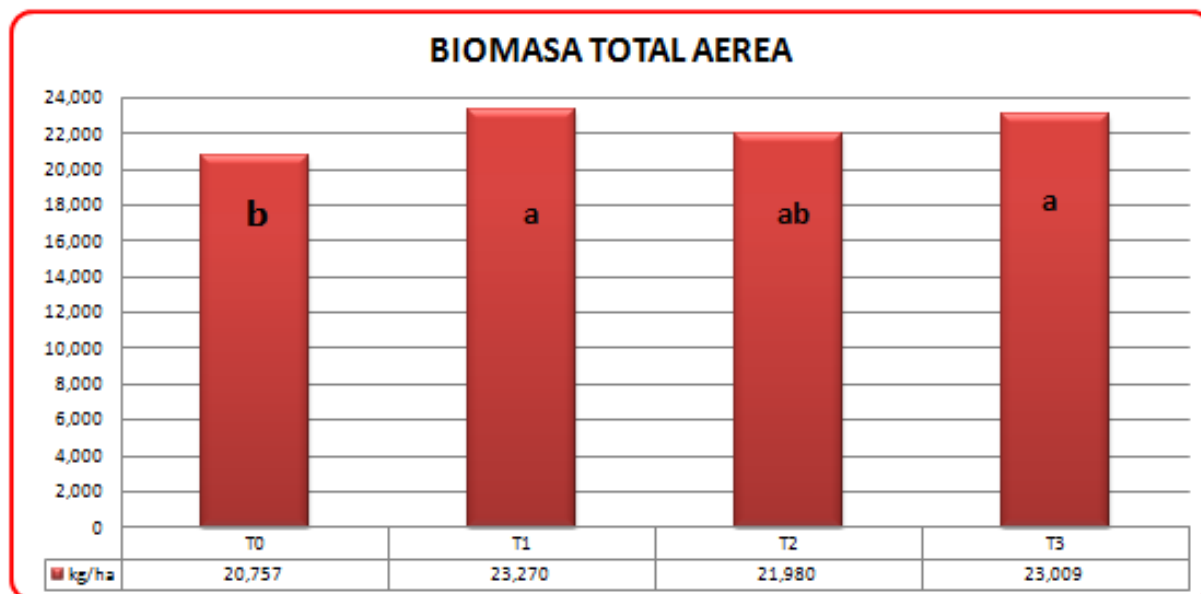


Figura 5. Efecto de las tasas de riego en la biomasa aérea en kg/ha. Letras distintas indican diferencias significativas (Duncan, $P < 5\%$).

Los valores obtenidos arrojan que el tratamiento testigo no presenta diferencias significativas con el tratamiento T₂, siendo diferente con los tratamientos T₁ y T₃, los cuales presenta el mayor valor en biomasa total. El tratamiento T₂ se comportó de forma errática los cual se explicara en base a los otros componentes de la parte área.

4.4.1 Materia seca de las hojas.

A continuación se muestran los resultados del efecto que tuvo las diferentes tasas de riego en relación al peso de las hojas (figura 6), cabe destacar que el inicio de los tratamiento se comenzó

en la etapa de antesis del cultivo, por lo cual no se esperaría algún efecto en el peso de las hojas, ya que el área foliar alcanza su máximo previo a la etapa de antesis.

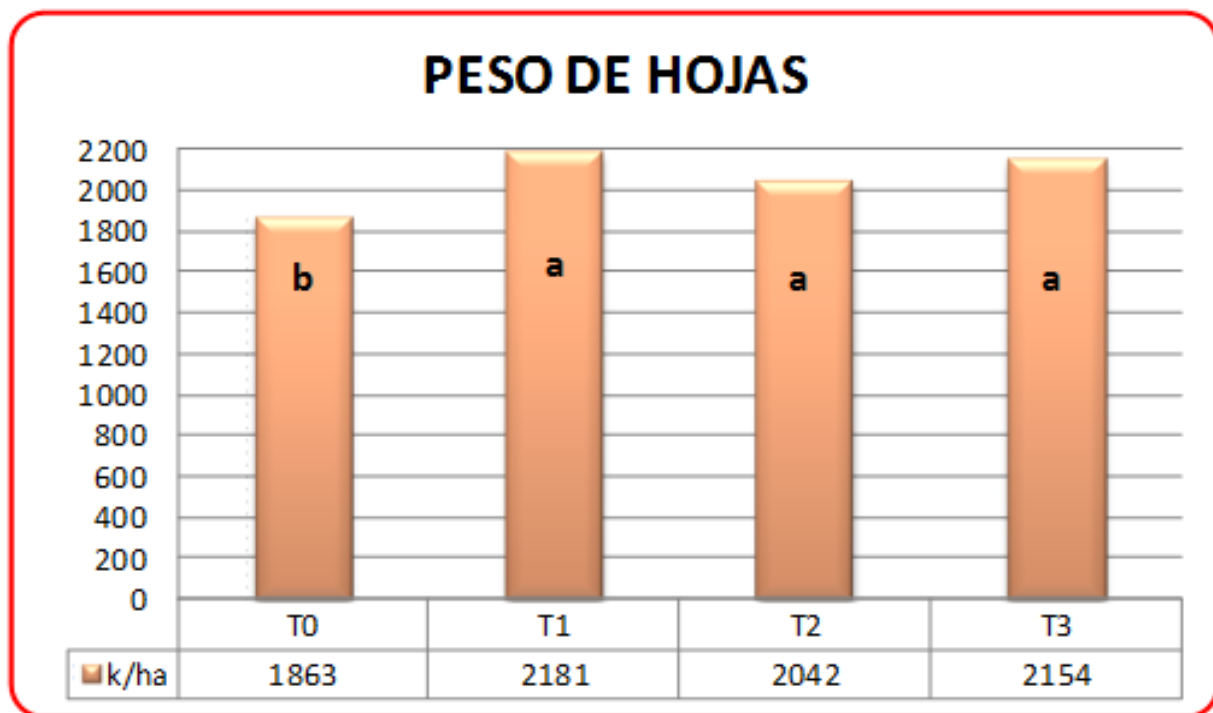


Figura 6. Efecto de las tasas de riego en peso de hojas(kg/ha). Letras distintas indican diferencias significativas (Duncan, $P < 5\%$).

Los análisis estadísticos señalan, que el tratamiento testigo T0 es significativamente diferente a los tratamientos regados, lo cual genera duda en respecto a su forma de obtención de la materia seca de las hojas, pudiendo en la cosecha generada pérdidas o no recolección de estas.

4.4.2 Materia seca de tallos

En relación al peso de la materia seca de tallos (figura 7), se señala que los análisis estadísticos, no presentaron diferencias significativas, debido a que las tasas de riego no generaron un efecto en el peso debido a la etapa del cultivo en que se comenzó los tratamientos.

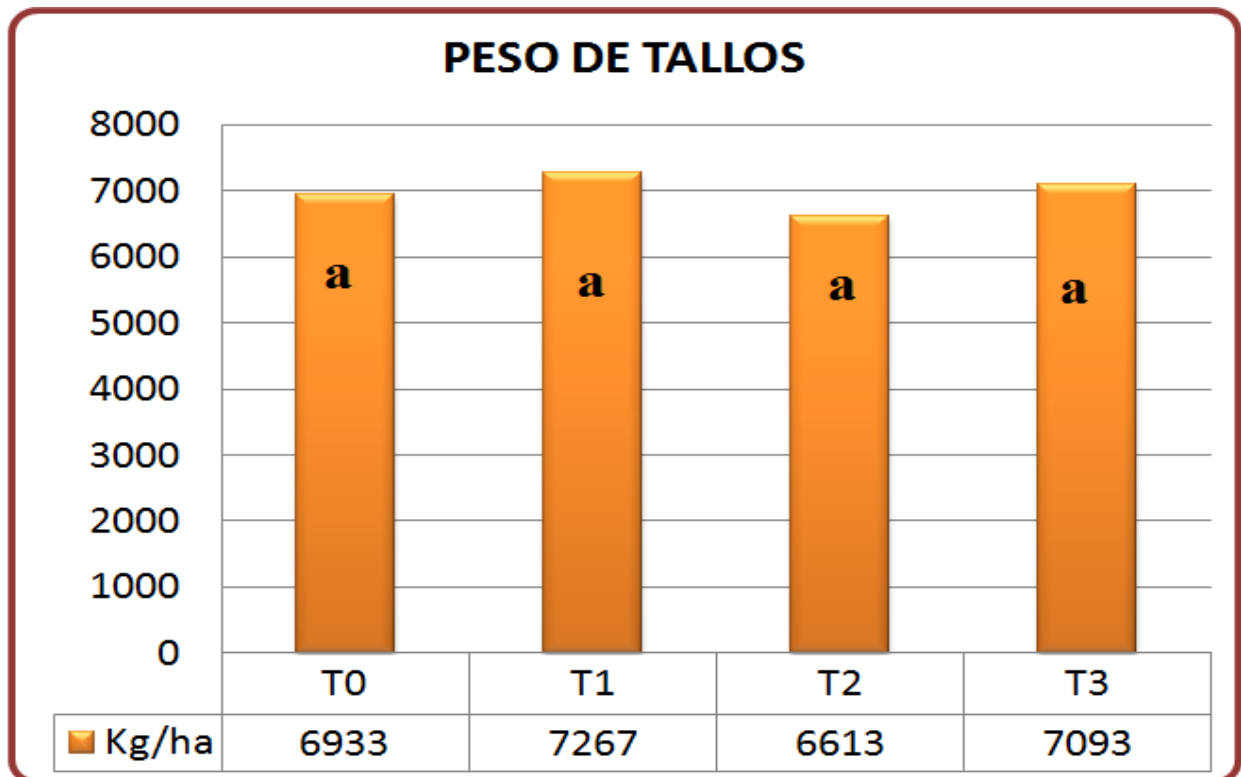


Figura 7. Efecto de las tasas de riego en peso de tallos (kg/ha). Letras distintas indican diferencias significativas (Duncan, $P < 5\%$).

Las diferencias significativas que presentan los valores de biomasa total aérea, no se deben al peso de los tallos, ya que estos no arrojan diferencias significativas.

4.4.3 Peso y Numero de espigas.

En la figura 8. Se aprecia el peso de las espigas en k/ha, en el cual las diferentes tasas de riego, generaron un efecto en el peso, los cual se afirma con los análisis estadísticos.

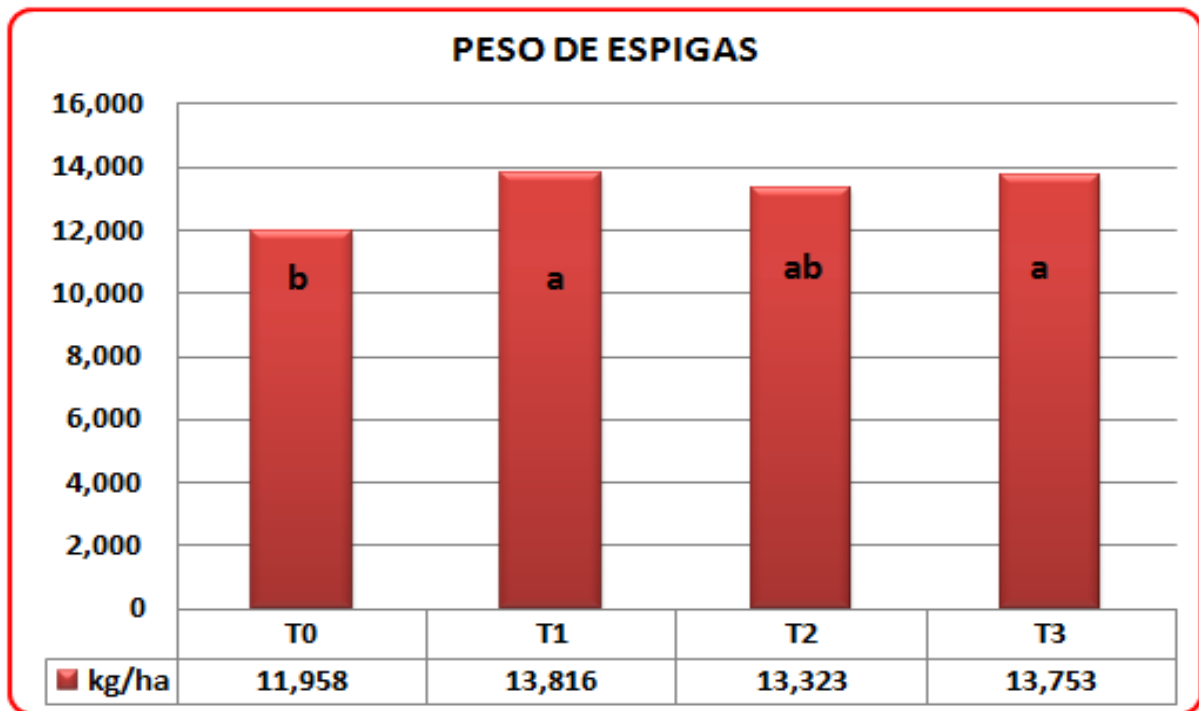


Figura 8. Efecto de las tasas de riego en peso de espigas (kg/ha). Letras distintas indican diferencias significativas (Duncan, $P < 5\%$).

El tratamiento testigo T_0 , presentó diferencias significativas con los tratamientos regados, no así entre los tratamientos regados, el testigo alcanzó un valor cercano a 12 ton/ha, mientras que los tratamientos regados sobrepasan las 13 ton/ha, esto debido al aporte de riego que generó espigas con más pesos que en tratamiento seco.

En el caso del número de espigas por hectárea (figura 9), se indica que el tratamiento testigo T_0 no presentó diferencias significativas, con respecto al tratamiento T_2 , siendo los tratamientos T_1 y T_3 los con mayor valor en el número de espigas, alcanzando valores cercanos a 500 espigas/m².

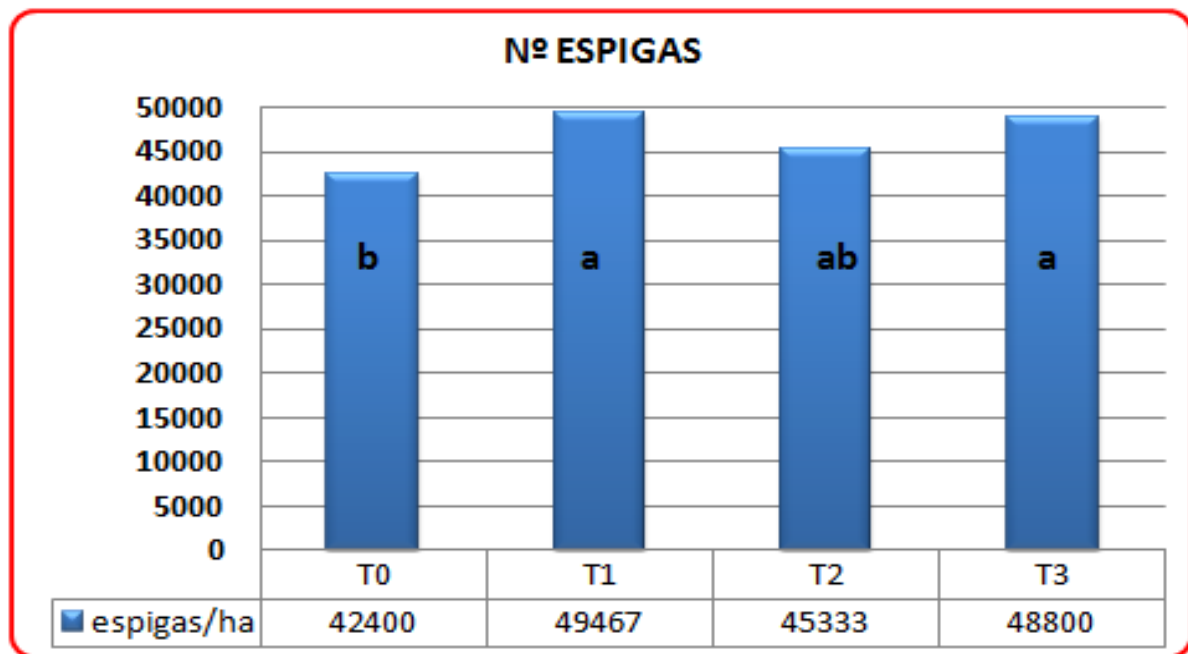


Figura 9. Efecto de las tasas de riego en el número de espiga por hectárea. Letras distintas indican diferencias significativas (Duncan, $P < 5\%$).

Según el análisis estadístico, que señala que el tratamiento testigo T_0 , es similar al tratamiento T_2 , en el punto de biomasa total aérea, se explicaría por el efecto que tiene el número de espigas/ m^2 , que señala un comportamiento similar en el análisis estadístico

4.4.4 Numero de granos por espiga.

En la figura 10, se indica el número de granos por espiga, obtenidos del promedio de 5 espigas al azar, a las cuales se les extrajo los granos y se contabilizaron.

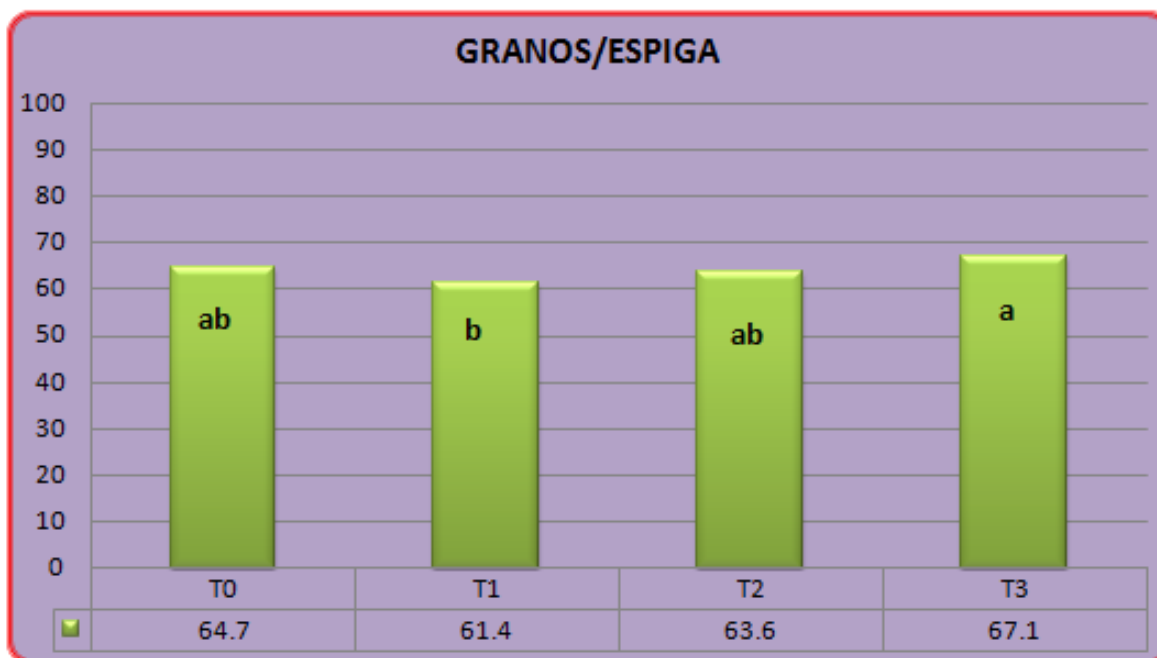


Figura 10. Efecto de las tasas de riego en el número de granos por espiga. Letras distintas indican diferencias significativas (Duncan, $P < 5\%$).

Los análisis estadísticos señalan que los tratamientos T0, T2 y T3 no presentan diferencias significativas, obteniendo el mayor valor T3 con 67,1 granos/espiga, en cambio el tratamiento T1 es similar al tratamiento T2 y T0.

Con respecto al rendimiento el tratamiento T1 alcanzó el mayor valor, lo cual se explicaría, no por el hecho de un mayor número de granos por espiga, sino por la razón, de que los granos tenían un mayor peso en el tratamiento T1.

4.5 Área específica de las hojas.

Las distintas tasas de riego no arrojaron diferencias significativas, con respecto al área específica de las hojas (figura 11), esto debido a que los tratamientos se iniciaron una vez formada el área foliar, no teniendo efecto alguno, el riego aplicado en periodo de antesis.

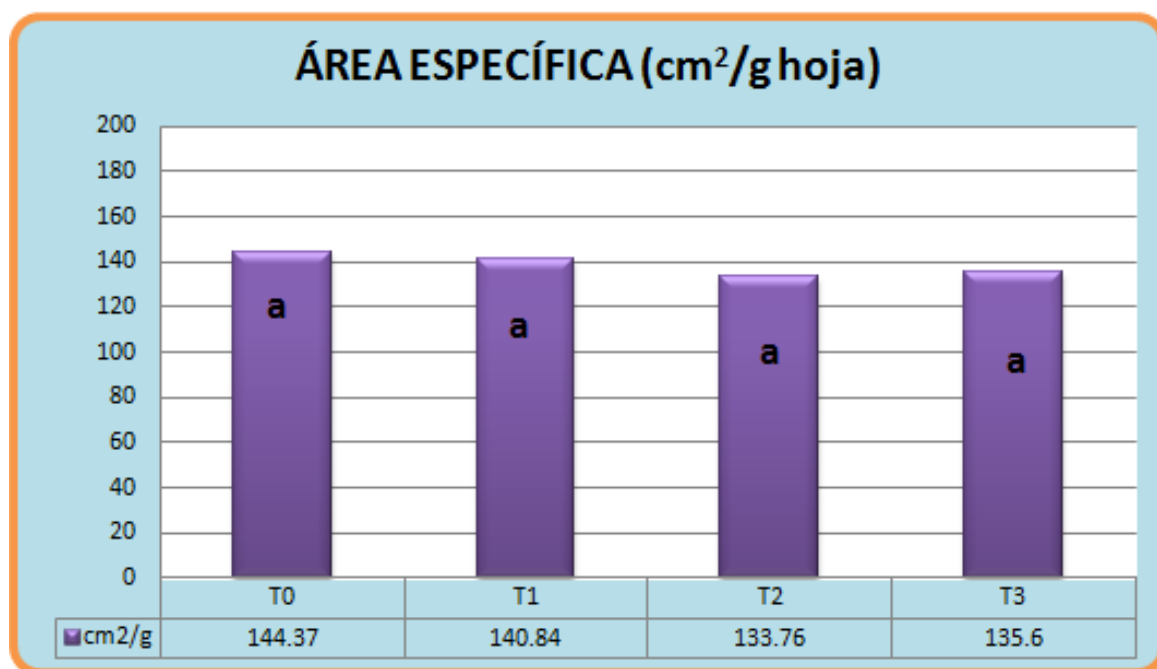


Figura 11. Efecto de las diferentes tasas de riego sobre área específica (cm²/g hoja) de las hojas en cada tratamiento. Letras distintas indican diferencias significativas (Duncan, P < 5%).

El área específica de las hojas, se considera un indicador del estrés hídrico de las plantas, en este caso, cabe destacar que el tratamiento T₀, el cual solo se desarrolló con el agua aportada por las precipitaciones, no estuvo sometido a estrés ya que, no presenta diferencias con los tratamientos regados, lo cual explica el alto rendimiento que obtuvo.

4.6 Eficiencia del uso del agua.

A continuación en la figura 11, se indica los valores obtenidos en cada tratamiento, con respecto a la eficiencia del uso de agua, en el cual se relaciona el rendimiento obtenido versus el volumen de agua aportado por el riego más las precipitaciones.

Se indica que los tratamientos T₀ y T₁, obtienen los mayores valores en la EUA, 1,31 y 1,32, respectivamente, presentando diferencias significativas con los tratamientos T₂ y T₃, los cuales presentan la menor eficiencia en el uso del agua, lo que demuestra que a tasas de riego de 70 y 100%, no aumentan la eficiencia, ya que esto se relaciona con el rendimiento obtenidos por estos tratamientos. Se destaca que el tratamiento T₁, alcanzó la mayor eficiencia.

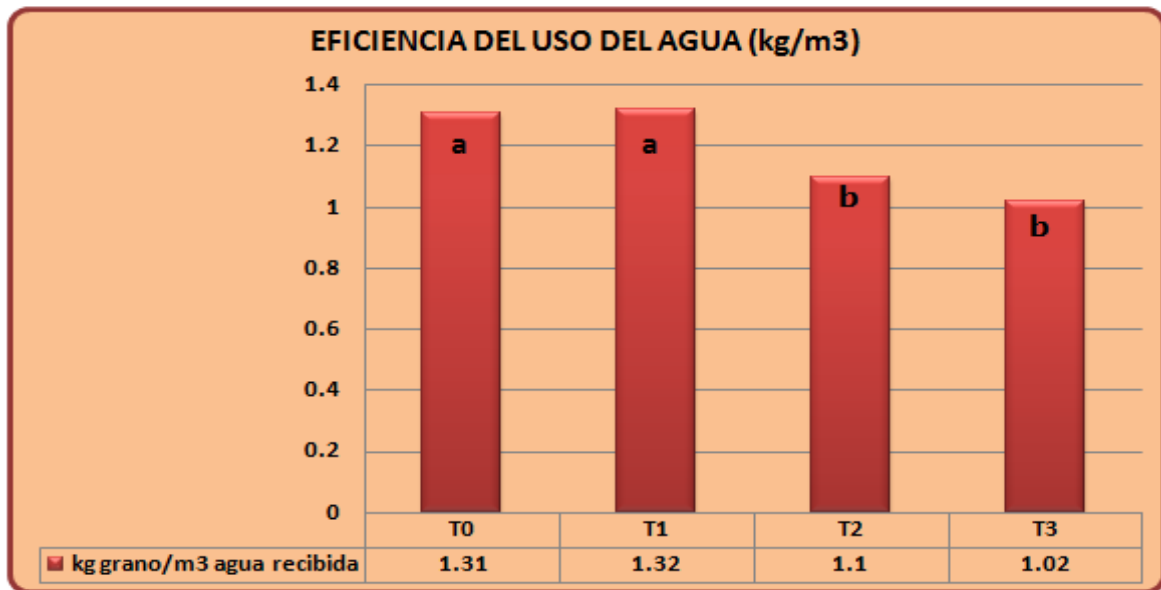


Figura 11. Efecto de las diferentes tasas de riego en la EUA. Letras distintas indican diferencias significativas (Duncan, $P < 5\%$).

Los valores obtenidos en este ensayo, están por sobre el rango 0,8-1,0 kg/m³ indicado por Doorenbos y Kassam. (1979) y se asemejan a 1,14 kg/m³, obtenido por Dardanelli et al (1997) en condiciones de riego suplementario. Según Oweis et al. (2000), señala que los valores obtenidos al aplicar 2/3 del total de requerimiento de riego suplementario con respecto al agua, son de 0,77

a $0,92 \text{ kg/m}^3$, mientras que Sadras y Angus (2006), obtuvo valores promedio de 1 kg/m^3 en la eficiencia del uso del agua realizados en Australia, con una fertilización de 100 kg N/ha .

4.7 Productividad del riego.

En la figura 12, se indica la productividad del riego, los cuales se obtuvieron de la diferencial entre el tratamiento regado con respecto al tratamiento seco versus el volumen de agua aplicado en la dosis de riego, no considerando las precipitaciones.

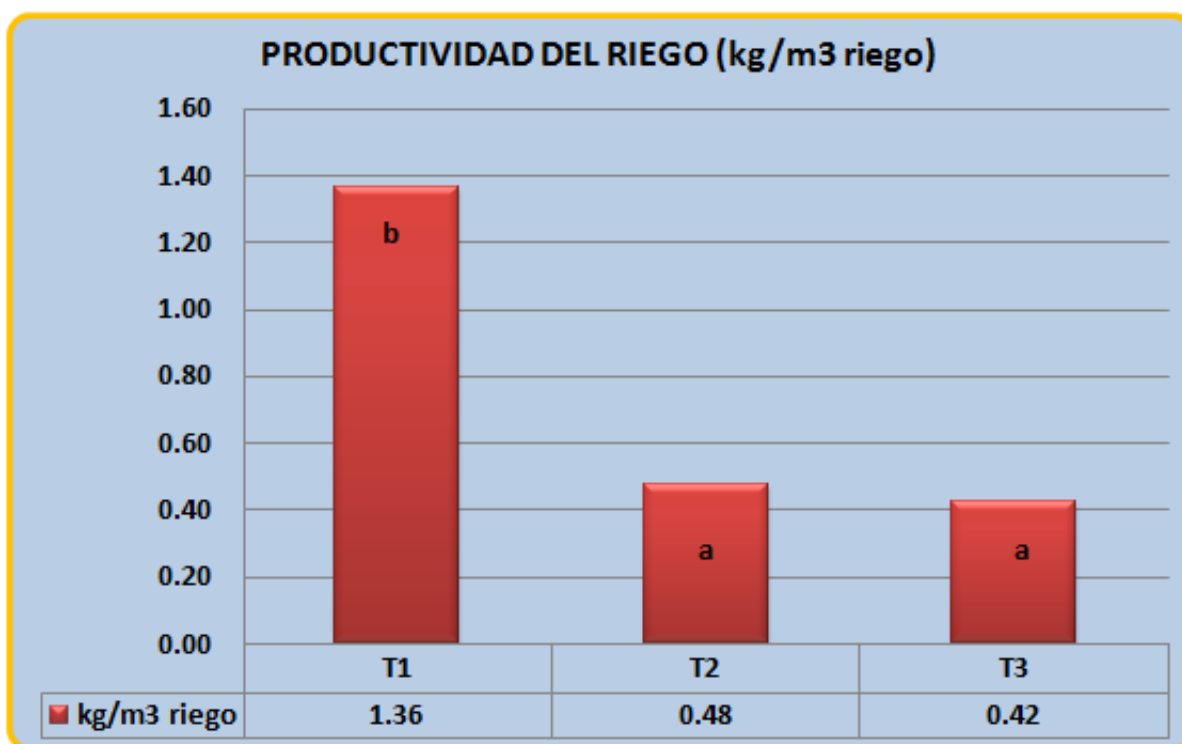


Figura 12. Efecto de las diferentes tasas de riego en la productividad del riego. Letras distintas indican diferencias significativas (Duncan, $P < 5\%$).

Se destaca que el tratamiento T1 presenta diferencias significativas con respecto a los tratamientos T2 y T3, siendo no significativos entre ellos, esto indica que el tratamiento con un 30% de dosis de riego, presenta valor más alto en la productividad de riego. Por lo cual en base a las condiciones del estudio, es recomendable regar el trigo con un 30% de la ETo , ya que

aumenta el rendimiento en un 15% en relación con el testigo, y a la vez presenta el mayor valor en la eficiencia del uso de agua y productividad, a tasas mayores de riego no aumentaría el rendimiento y se disminuye la eficiencia.

5. CONCLUSIONES.

El contenido de agua del suelo fue mayor al aumentar el aporte de riego en todas las fechas consideradas, especialmente en la estrata superficial. Las estratas más subsuperficiales presentaron altos contenidos de humedad, por lo que se estima que la dosis de riego se sobreestimo.

El rendimiento en los tratamientos con riego fue superior al del testigo y no hubo diferencias entre ellos. El tratamiento de un 30% de la ETo resultó con mayor rendimiento, a pesar de tener menor cantidad de número de granos por espiga, esto se compensó con un mayor peso de los granos en comparación con los demás tratamientos.

Los tratamientos de 30 y 100% de riego fueron superiores al testigo en biomasa total del cultivo. El aumento en materia seca total se debería al efecto de esos tratamientos en aumentar el peso de espigas, granos y hojas. El peso de tallos no generó diferencias significativas.

El área específica de las hojas, no resultó con diferencias significativas al efecto de las diferentes tasas de riego, debido a que los tratamientos se aplicaron una vez que el área foliar habría alcanzado el máximo desarrollo, sin tener efecto el riego.

La eficiencia del uso del agua basada en el agua recibida por la lluvia más el riego, fue mayor en el tratamiento testigo y de 30% de riego. Los tratamiento de 70 y 100% fueron similares estadísticamente.

De mantenerse las condiciones experimentales, se puede decir que el trigo debiera regarse con un 30% de la evapotranspiración pronosticada, dado que tasas mayores de riego no producirían aumentos en los rendimientos

6. RESUMEN

El trigo en la zona sur de Chile es un cultivo netamente de secano, pero en los últimos años se ha requerido implementar la opción de riego suplementario para satisfacer las necesidades de agua del cultivo en los periodos de déficit hídricos, provocado por el aumento en la temperatura, y una menor disponibilidad del agua en esta zona. Otro aspecto a considerar es cuán eficiente es el cultivo en el uso del agua en condiciones de secano comparado con riego, en posibles escenarios de déficit hídrico. Esta investigación se realizó en el Campo Experimental Maquehue desde noviembre del 2011 a enero del 2012, coincidiendo con la etapa reproductiva del trigo. Se instaló en una sementera de trigo variedad Dollinco, utilizando 12 parcelas (4 tratamientos y 3 repeticiones) de 1 m². A cada parcela se le realizó una zanja de 80 cm de profundidad y se rodeó el contorno con una cubierta de plástico, para evitar aportes de aguas laterales. La dosis de riego se calculó en base a la fórmula de evapotranspiración de referencia (ET_o) de Hargreaves y Samani (1982, 1985). La frecuencia de riego fue de 7 días. Para determinar la cantidad de agua a aplicar en los tratamientos (T) se consideraron distintos FR (fracción de riego, correspondientes a distintos porcentajes de la ET_o). Los Tratamientos correspondieron a 100, 70, 30 y 0 % de la ET_o pronosticada para la semana. El contenido de humedad del suelo con muestras tomadas con barreno a 30, 50 y 70 cm, se utilizó el método gravimétrico para su determinación. Además se evaluó el efecto de las tasas de riego en el rendimiento y sus componentes, en el área específica de las hojas y la eficiencia del uso de agua de riego. Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar. Bajo las condiciones de la investigación se concluye que: al aplicar un 30% de la ET_o pronosticada, se presentó un mayor rendimiento que al aplicar una dosis superior. En el caso del contenido de agua del suelo los valores se mantuvieron entre capacidad de campo y punto de marchitez permanente, manteniendo homogeneidad en las capas más profundas, no así en la capa superficial, en donde se encuentra la mayor proporción de las raíces del trigo. En relación al área específica, no hubo diferencias significativas. La eficiencia del uso de agua fue mayor en el tratamiento de 30 % obteniendo un valor 1,32 kg/m³, las dosis superiores obtuvieron valores menores.

7. SUMMARY

Wheat in Southern Chile is a purely rainfed cultivation, but in recent years has been required to implement the option of supplementary irrigation to meet crop water needs during periods of water deficit in the season, caused by the increase in temperature, the higher and lower availability of water in this area. Another aspect to consider is how efficient the crop water use under rainfed conditions compared to irrigation in water deficit scenarios. This research was conducted at the Experimental Field Maquehue from November 2011 to January 2012, coinciding with the reproductive stage of wheat. Was installed on a variety Dollinco wheat sowing, using 12 plots (4 treatments and 3 replicates) of 1 m². Each plot was made a trench 80 cm deep and rodeo contour with a plastic cover to prevent lateral water supply. The irrigation rate was calculated based on the formula of reference evapotranspiration (ET₀) Hargreaves and Samani (1982, 1985). Watering frequency was 7 days. To determine the amount of water applied in the treatments (T) are considered various FR (irrigation fraction, corresponding to different percentages of the ET₀). Treatments corresponded to 100, 70, 30 and 0% of the predicted ET₀ for the week. The moisture content of the soil sample taken with hole at 30, 50 and 70 cm., The gravimetric method was used for determination. also evaluated the effect of irrigation rates and component performance, in the specific area of the leaves and the efficient use of irrigation water. We used a randomized experimental design. The values obtained were subjected to analysis of variance. We performed a multiple comparison test of Duncan (p₀, 05) (SPSS 11.0 software). Under the conditions of the research concludes that by applying 30% of the predicted ET₀, was a higher performance than when applying a higher dose. In the case of soil water content values were maintained between field capacity and wilting point, maintaining uniformity in the deeper layers, not in the surface layer, where the highest proportion of wheat roots . In relation to specific area, no significant difference, because the leaf area had reached its peak before the application of the treatments. The water use efficiency was higher in the treatment of obtaining a value 30% 1.32 kg/m³, higher doses were significantly less.

8. LITERATURA CITADA.

- **Águila, H. 1987.** Agricultura general y especial. Editorial Universitaria. Santiago, Chile. 334 p.
- **Allen R, Pereira L, Raes D. 2006.** Evapotranspiración del cultivo. Estudios FAO, Riego y drenaje, N° 56, Roma. 320 p.
- **Benacchio, S. 1982.** Algunas exigencias agroecológicas en 58 especies de cultivos con potencial de producción en el trópico americano. FONAIAP- CENIAP. Maracay, Venecia. 202 p.
- **Boyeldieu, J. 1980.** Les cultures cerealieres. Ed. Hachette. Paris. 255 p.
- **Camussi, G. F. y Marano, R. P. 2008.** Respuesta del trigo al riego suplementario en la región central de Santa Fe. Revista Fave. Ciencia Agraria. 7(1-2).
- **Dardanelli, J, A. Salinas, P. Mazzini; E. Lovera, y H. P. Salas. 1997.** El riego del trigo en la región central de Córdoba. En Jornadas de Riego. INTA EEA Manfredi, pp. 26-31.
- **Del Pozo, A., J. Garcia-Huidobro, R. Novoa and S. Villaseca, 1987.** Relationship of base temperature to development of spring wheat. Experimental Agriculture 23:21-20
- **DGA. 1987.** Balance hídrico de Chile. Ministerio de Obras Públicas. Dirección General de Aguas (DGA), Santiago, Chile. 33 p.

- **Díaz, M., y Parodi, P. 1974.** Influencia de la densidad de siembra y fertilización sobre componentes de rendimiento y rendimiento en trigo (*Triticum spp.*). Ciencia e investigación agraria. 1 (4): 195 – 205.
- **Doorenbos, J., Kassam, A.H. 1979.** Efecto del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Estudios FAO, Serie riego y drenaje n° 33 (rev).Roma. 193 p.
- **Doorenbos, JI y Pruitt, W. 1977.** Guidelines for predicting crop water requirements. Irrigation and Drainage, 24. Editorial FAO, Roma. 45: 48 y 63.
- **Faiguenbaum, H. 2003.** Labranza, siembra y producción de los principales cultivos de Chile. Editora Ograma, Chile. 760 p.
- **Fuentes J. 2003.** Técnicas de riego. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 248 p.
- **Gurovich L. 1997.** Riego superficial. Ediciones Univ. Católica de Chile. Santiago, Chile. 246 p.
- **Hargreaves, G. H. y Samani, Z. A., 1982.** Estimating potencial evapotranspiration. J. of Irrig.and Drain. ASCE. 108:223-230.
- **Hewstone, M. C. y Jobet, F. C. 2001.** Dollinco-INIA: trigo alternativo para el sur de Chile. Chillán. Chile Agricultura. Técnica. V.61 n.1

- **Hochman, I. 1982.** Effect of wáter stress with phasic development on yield of wheat grown in asemiarid environment. *Field Crop Res.* 5:55-57.
- **Hsiao, T. C.; Acevedo, E.; Fereres, E.; Herdenson, D. W. 1976.** Stress metabolism, wáter stress growth and osmotic adjustment. *Phil. Trans, R. Soc. London, B.* 273:479-500.
- **IREN-CORFO. 1970.** Estudio integrado de los recursos naturales de la provincia de Cautín. Descripción de suelo, Capitulo 29. Temuco, Chile.
- **Jerez, J. 1994.** Manual de riego para el sur de Chile. Serie Carillanca N° 39, INIA CARILLANCA, Chile. 83 p.
- **Kent, N., y Evers, A. 1994.** *Technology of Cereals: an introduction for students of fodd science and agriculture.* Cuarta edición. Oxford, Inglaterra. 334 p.
- **Luzio, W., y S. Alcayaga. 1992.** Mapa de asociaciones de grandes grupos de suelos de Chile. *Agricultura Técnica (Chile)* 52:347-353
- **Mellado, M. 2007.** *El trigo en Chile. Cultura, ciencia y tecnología.* Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Chillan. Chile. 684 p.
- **Novoa, R., S. Villaseca, P. Del Canto, L. Rouanet, C. Sierra, y A. Del Pozo, 1989.** *Mapa Agroclimático de Chile.* Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Santiago, Chile. 221 p.

- **Oficina de Estudios y Políticas Agrarias, (ODEPA), 2012-2013**
<http://www.odepa.cl/base-datos/estadisticas/>. Fecha de entrada 12 julio 2013
- **Olalla, F; Valero, J; Ramirez, A; Botella, O y Campos, I. 1993.** Agronomía del riego. Editorial Mundi-Prensa, Madrid, España. 469 p.
- **Oweis, T.;Zhang, H. and Pala, M. 2000.** Water use efficiency of rained and irrigated bread wheat in a Mediterranean environment. Agron. J. 92:231-238.
- **Parker R. 2000.** La ciencia de las plantas. Impreso por Paraninfo, España. 275 p.
- **Parodi, P. 1980.** Rendimiento, componentes de rendimiento y medio ambiente. Ciencia e Investigación Agraria (Chile). 7(3): 205-217
- **Perrier, A. 1984.** Updated evapotranspiration and crop water requirements definitions. In: Les besoins en eau des cultures / Crop Water Requirements, Conference internationale, Paris.
- **Poehlman, J. 1965.** Mejoramiento genético del trigo. En mejoramiento genético de las cosechas. Editorial Limusa- Wiley. México. 453 p.
- **Rawson, H., y H. Macpherson. 2001.** Trigo regado. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 105 p.

- **Ritchie, J. T. 1971.** Dryland evaporative flux in a subhumid climate. I. Micrometeorological influences. *Agron. J.* 63:51-55.
- **Rouanet J. 1983.** Clasificación agroclimática. IX región, Macro-área II. Investigación y progreso agropecuario, Carillanca, Chile.
- **Rouanet, J.L., I. Pino., A.M. Parada, y A. Nario. 2001.** Efecto de tres sistemas de manejo de suelo en la eficiencia fisiológica de uso de nitrógeno fertilizante en trigo. *Agricultura Técnica. Chile.* 61:459-469.
- **Sadras, V. O. and Angus, J. F. 2006.** Benchmarking water use efficiency of rained wheat crops in dry environments. *Aust. J. Agric. Res.* 57:847-856.
- **Salgado, E. 2001.** Relaciones suelo, planta y agua. Universidad Católica de Valparaíso. Ediciones Universitarias de Valparaíso. Chile. 385 p.
- **Slafer, G. A.; Mirralles, D. J.; Savin, R.; Whitechurch, E. M. y Gonzalez F. G. 2003.** Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y calidad del trigo. En producción de granos: bases funcionales para su manejo. Pascale A. (Ed.). Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. 99-132 pp.
- **Vauchn H. y Orson I. 1981.** Principios y aplicaciones del riego. Editorial Reverte, España. 153 p.

ANEXOS

Anexo 1. Dosis de agua aplicada a cada tratamiento en los diferentes riegos.

| Nº RIEGO | FECHA | T MAX | T MIN | T MEDIA | RAIZ TD | ETO mm/día | VOLUMEN ETO LITROS/PARCELA | T0 | T1 | T2 | T3 |
|----------|------------|-------|-------|---------|---------|------------|----------------------------|--------|---------|---------|----------|
| 1 | 29/11/2011 | 21 | 3.8 | 12.4 | 4.15 | 7.78 | 0.75 m2 | 0% Eto | 30% Eto | 70% Eto | 100% Eto |
| | 30/11/2011 | 24 | 5 | 14.5 | 4.36 | 8.74 | | | | | |
| | 01/12/2011 | 26 | 6 | 16.0 | 4.47 | 9.39 | | | | | |
| | 02/12/2011 | 21 | 4 | 12.5 | 4.12 | 7.76 | | | | | |
| | 03/12/2011 | 15 | 3 | 9.0 | 3.46 | 5.77 | | | | | |
| | 04/12/2011 | 20 | 10 | 15.0 | 3.16 | 6.44 | | | | | |
| | 05/12/2011 | 21 | 9 | 15.0 | 3.46 | 7.06 | | | | | |
| | | | | | | | 40 | 0 | 12 | 28 | 40 |
| TOTAL | | | | | | 52.93 | | | | | |

| Nº RIEGO | FECHA | T MAX | T MIN | T MEDIA | RAIZ TD | ETO mm/día | VOLUMEN ETO LITROS/PARCELA | T0 | T1 | T2 | T3 |
|----------|------------|-------|-------|---------|---------|------------|----------------------------|--------|---------|---------|----------|
| 2 | 06/12/2011 | 26 | 11 | 18.5 | 3.87 | 8.73 | 0.75 m2 | 0% Eto | 30% Eto | 70% Eto | 100% Eto |
| | 07/12/2011 | 24 | 10 | 17.0 | 3.74 | 8.09 | | | | | |
| | 08/12/2011 | 27 | 8 | 17.5 | 4.36 | 9.56 | | | | | |
| | 09/12/2011 | 23 | 9 | 16.0 | 3.74 | 7.85 | | | | | |
| | 10/12/2011 | 20 | 10 | 15.0 | 3.16 | 6.44 | | | | | |
| | 11/12/2011 | 18 | 8 | 13.0 | 3.16 | 6.05 | | | | | |
| | 12/12/2011 | 21 | 10 | 15.5 | 3.32 | 6.86 | | | | | |
| | | | | | | | 40 | 0 | 12 | 28 | 40 |
| TOTAL | | | | | | 53.57 | | | | | |

| Nº RIEGO | FECHA | T MAX | T MIN | T MEDIA | RAIZ TD | ETO mm/día | VOLUMEN ETO LITROS/PAR CELA | T0 | T1 | T2 | T3 |
|----------|------------|-------|-------|---------|---------|------------|-----------------------------|--------|---------|---------|----------|
| 3 | 13/12/2011 | 26 | 13 | 19.5 | 3.61 | 8.35 | 0.75 m2 | 0% Eto | 30% Eto | 70% Eto | 100% Eto |
| | 14/12/2011 | 28 | 9 | 18.5 | 4.36 | 9.83 | | | | | |
| | 15/12/2011 | 28 | 10 | 19.0 | 4.24 | 9.70 | | | | | |
| | 16/12/2011 | 27 | 10 | 18.5 | 4.12 | 9.29 | | | | | |
| | 17/12/2011 | 27 | 9 | 18.0 | 4.24 | 9.43 | | | | | |
| | 18/12/2011 | 23 | 11 | 17.0 | 3.46 | 7.49 | | | | | |
| | 19/12/2011 | 22 | 12 | 17.0 | 3.16 | 6.83 | | | | | |
| | | | | | | | 46 | 0 | 14 | 32 | 46 |
| | | | | | TOTAL | 60.91 | | | | | |

| Nº RIEGO | FECHA | T MAX | T MIN | T MEDIA | RAIZ TD | ETO mm/día | VOLUMEN ETO LITROS/PARC ELA | T0 | T1 | T2 | T3 |
|----------|------------|-------|-------|---------|---------|------------|-----------------------------|--------|---------|---------|----------|
| 4 | 21/12/2011 | 18 | 8 | 13.0 | 3.16 | 6.05 | 0.75 m2 | 0% Eto | 30% Eto | 70% Eto | 100% Eto |
| | 22/12/2011 | 18 | 5 | 11.5 | 3.61 | 6.56 | | | | | |
| | 23/12/2011 | 21 | 5 | 13.0 | 4.00 | 7.65 | | | | | |
| | 24/12/2011 | 25 | 7 | 16.0 | 4.24 | 8.91 | | | | | |
| | 25/12/2011 | 26 | 10 | 18.0 | 4.00 | 8.89 | | | | | |
| | 26/12/2011 | 29 | 14 | 21.5 | 3.87 | 9.45 | | | | | |
| | 27/12/2011 | 30 | 13 | 21.5 | 4.12 | 10.06 | | | | | |
| | | | | | | | 43 | 0 | 13 | 30 | 43 |
| | | | | | TOTAL | 57.57 | | | | | |

| Nº RIEGO | FECHA | T MAX | T MIN | T MEDIA | RAIZ TD | ETO mm/día | VOLUMEN ETO LITROS/PARC ELA | T0 | T1 | T2 | T3 |
|----------|------------|-------|-------|---------|---------|------------|-----------------------------|--------|---------|---------|----------|
| 5 | 27/12/2011 | 29 | 12 | 20.5 | 4.12 | 9.81 | 0.75 m2 | 0% Eto | 30% Eto | 70% Eto | 100% Eto |
| | 28/12/2011 | 27 | 11 | 19.0 | 4.00 | 9.14 | | | | | |
| | 29/12/2011 | 23 | 12 | 17.5 | 3.32 | 7.27 | | | | | |
| | 30/12/2011 | 23 | 11 | 17.0 | 3.46 | 7.49 | | | | | |
| | 31/12/2011 | 24 | 10 | 17.0 | 3.74 | 8.09 | | | | | |
| | 01/01/2012 | 27 | 13 | 20.0 | 3.74 | 8.78 | | | | | |
| | 02/01/2012 | 28 | 12 | 20.0 | 4.00 | 9.39 | | | | | |
| | | | | | | | 45 | 0 | 13 | 31 | 45 |
| | | | | | TOTAL | 59.96 | | | | | |

Anexo 2.Características físico-hídricas de los suelos de la serie Freire (Jerez, 1994).

| Profundidad | CC (%) | PMP (%) |
|-------------|--------|---------|
| 0-31 | 65,7 | 37,6 |
| 31-43 | 74,7 | 51,3 |
| 43-57 | 72,2 | 52,5 |
| 57-80 | 47,3 | 53,7 |