



UNIVERSIDAD DE TALCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA DE AGRONOMÍA

**EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA FISIOLÓGICA DE 5 VARIEDADES
DE ARROZ (*Oryza sativa L.*) DE CICLO LARGO Y CORTO BAJO UNA
ESTRATEGIA DE RIEGO POR INTERMITENCIA.**

MEMORIA DE TÍTULO

VICTOR HUGO SALAZAR FREDES

TALCA- CHILE

2021

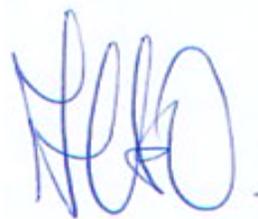
CONSTANCIA

La Dirección del Sistema de Bibliotecas a través de su unidad de procesos técnicos certifica que el autor del siguiente trabajo de titulación ha firmado su autorización para la reproducción en forma total o parcial e ilimitada del mismo.



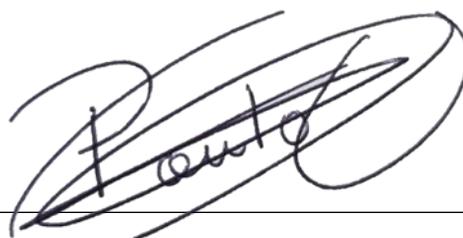
Talca, 2021

APROBACIÓN:



Profesor Guía

Ing. Agrónomo, M.Sc., Dr.
Cesar Acevedo Opazo
Profesor Asociado
Facultad de Ciencias Agrarias
Universidad de Talca



Profesor Co-Guía

Ing. Agrónomo, Dr. Paulo
Cañete Salinas
Facultad de Ciencias Agrarias
Universidad de Talca

Fecha de presentación de Memoria de Título: 12 de mayo de 2021

RESUMEN

La disminución de la disponibilidad hídrica para la agricultura ha sido un factor relevante para la incorporación de nuevas estrategias de riego, principalmente en cultivos de gran consumo hídrico como el arroz. Una de las estrategias orientadas a disminuir el consumo de agua es el riego por intermitencia, que llegaría a generar ahorros de agua en hasta un 60% en comparación con el sistema de riego por inundación permanente (riego tradicional en la producción de arroz). Bajo este contexto se evaluó la respuesta fisiológica y el rendimiento de cinco variedades de arroz (ciclo corto, intermedio y largo) manejadas bajo una estrategia de riego por intermitencia. Los resultados obtenidos indican que las variedades de ciclo corto presentan un comportamiento fisiológico más eficiente que las variedades de ciclo intermedio y largo, además de una mayor tolerancia al déficit hídrico y a las bajas temperaturas nocturnas. En cuanto a los componentes del rendimiento las variedades de ciclo corto, específicamente la 103 mostró un incremento de 60% en el número de panículas por metro cuadrado en comparación con la variedad Zafiro (variedad tradicional utilizada en nuestro país). Del mismo modo los porcentajes de esterilidad floral fueron mucho más bajos en las variedades de ciclo corto (103 y Sandora L-42). En cuanto al rendimiento por hectárea las variedades de ciclo corto presentaron los valores más altos. Así, la variedad 103 presentó un rendimiento promedio de 8.586,7 kg/ha, seguida por Sandora L-42 con un rendimiento promedio de 5.319,5 kg/ha, mientras que la variedad de ciclo largo Zafiro obtuvo un rendimiento promedio de 1.763 kg/ha (80% menos que la variedad 103). De este modo, se puede concluir que las variedades de ciclo corto permiten optimizar el consumo hídrico en arroz, mediante la implementación del sistema de riego por intermitencia sin sufrir una pérdida significativa de rendimiento, estimando que este se reduciría en tan solo un 10% en comparación al sistema de riego tradicional (sistema por inundación permanente).

ABSTRACT

The decrease in water availability for agriculture has been a relevant factor for the incorporation of new irrigation strategies, mainly in crops with high water consumption such as rice. One of the strategies aimed at reducing water consumption is intermittent irrigation, which would generate water savings of up to 60% compared to the permanent flood irrigation system (traditional irrigation in rice production). Under this context, the physiological response and yield of five rice varieties (short, intermediate and long-cycle) managed under an intermittent irrigation strategy were evaluated. The results obtained indicate that short-cycle varieties show a more efficient physiological behavior than intermediate and long-cycle varieties, in addition to a greater tolerance to water deficit and low night temperatures. Regarding the yield components of the short cycle varieties, specifically the 103 showed an increase of 60% in the number of panicles per square meter compared to the Zafiro variety (traditional variety used in our country). In the same way, the percentages of floral sterility were much lower in the short cycle varieties (103 and Sandora L-42). Regarding the yield per hectare, short-cycle varieties showed the highest values. Thus, variety 103 showed an average yield of 8,586.7 kg/ha, followed by Sandora L-42 with an average yield of 5,319.5 kg/ha, while the long-cycle variety Zafiro obtained an average yield of 1,763 kg/ha (80% less than variety 103). In this way, it can be concluded that short-cycle varieties allow optimizing water consumption in rice, through the implementation of the intermittent irrigation system without suffering a significant loss of yield, estimating that this would be reduced by only 10% in comparison to the traditional irrigation system (permanent flood system).

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	8
1.1	Hipótesis	11
1.2	Objetivo general.....	11
1.3	Objetivos específicos	11
2	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	12
2.1	Cultivo del arroz y su importancia económica en Chile y el mundo.	12
2.2	Características botánicas del arroz y condiciones edafoclimáticas óptimas para su producción.....	12
2.3	Subespecies de arroz y variedades de ciclo corto y largo.....	13
2.4	Componentes de rendimientos del arroz.....	14
2.5	Uso y manejo del recurso hídrico (efecto de la restricción hídrica sobre las variables fisiológicas y rendimiento de arroz).....	15
3	MATERIALES Y METODOS	18
3.1	Descripción sitio experimental y material vegetal del estudio.	18
3.2	Características del suelo.....	20
3.3	Características del ensayo.....	20
3.4	Mediciones de campo	21
3.5	Análisis estadístico.....	21
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
4.1	Resultados fisiológicos	22
4.1.1	Conductancia estomática.....	24
4.1.2	Transpiración.....	25
4.2	Componentes del rendimiento	26

4.2.1	Numero de panículas por m ²	27
4.2.2	Número de granos por panícula	28
4.2.3	Número de grano lleno por panícula	28
4.2.4	Número de grano vano por panícula y esterilidad floral	29
4.2.5	Peso de los 1000 granos lleno	30
4.2.6	Rendimiento en kg/ha.....	31
4.2.7	Eficiencia del uso de agua	31
5	CONCLUSIONES	33
6	REFERENCIAS.....	34

1 INTRODUCCIÓN

El arroz (*Oryza sativa L.*) es considerado uno de los principales cereales cultivados después del maíz y el trigo para la alimentación humana, siendo el responsable de aportar cerca de la quinta parte de calorías en la dieta mundial (Smith, 1998). La producción mundial de arroz fue cercana a los 770 millones de toneladas durante el año 2018, con un 90% de la producción concentrada en Asia, principalmente en China continental, India e Indonesia (FAOSTAT, 2018).

Las condiciones ambientales necesarias para el desarrollo del arroz permiten que sea cultivado en regiones de climas tropicales, así como en zonas de clima templado, por lo cual es posible encontrarlo en gran parte del mundo, en condiciones de secano, inundación permanente, en suelos de texturas arcillosas a arenosas, a nivel del mar y a altitudes superiores a los 2000 m.s.n.m, convirtiéndolo en un cultivo muy versátil y adaptable (Tinarelli, 1989). En zonas templadas un factor importante a considerar son las bajas temperaturas nocturnas (<20°C), las cuales pueden afectar de forma negativa el desarrollo de órganos reproductivos y por ende el rendimiento final (Fuentealba *et al.*, 2014).

En Chile el cultivo del arroz se estima que comenzó cerca del año 1925, debido a que era la mejor opción de cultivo para utilizar en suelos arcillosos de drenaje deficiente, por lo cual la estación agronómica del Ministerio de Agricultura en el año 1928 comenzó con los primeros estudios sobre este cultivo (Alvarado, 1986).

Entre las regiones del Maule y Ñuble se concentra la zona productora de arroz de nuestro país, en su mayoría en suelos con características del tipo arcillosas con una gran capacidad de retención de agua, debido a la baja infiltración que presentan estos suelos (Alvarado y Grau, 1986).

En el arroz cultivado en el mundo se reconocen tres subespecies (*subsp. indica S. Kato*, *subsp. japonica S. Kato* y *subsp. javanica S. Kato*) (Acevedo *et al.*, 2006). En Chile comúnmente se utiliza la subsp. Japónica, la cual presenta características que les permiten

desarrollarse en climas templados, además de contar con cierta tolerancia a las bajas temperaturas nocturnas. A esta subespecie pertenecen los cultivares Diamante-INIA, Brillante-INIA y Zafiro-INIA (Barrios, 2010), los cuales son los más utilizados en nuestro país.

La baja disponibilidad del recurso hídrico es uno de los factores productivos que más afecta a la agricultura en todo el mundo, debido principalmente al cambio climático, lo que conlleva a la disminución secular de las precipitaciones en la zona centro del país junto con la recesión de las reservas de hielo glacial (Bonilla, 2000). Esto pasa a ser un gran problema, debido a que el arroz se maneja en condiciones de inundación permanente, lo cual representa un consumo aproximado de 18.000 m³ por hectárea durante la temporada de crecimiento. Para poder hacer más llevadero este problema se hace indispensable contar con herramientas tecnológicas y de manejo productivo que permitan aumentar la eficiencia del uso del agua, especialmente en sistemas tan demandantes de agua como el arrozero, sin afectar significativamente el rendimiento comercial de este cultivo (Kato *et al.*, 2009).

La conductancia estomática representa la tasa intercambio gaseoso, es decir el consumo de dióxido de carbono en la planta. A su vez, también representa la transpiración, es decir el agua que pierde la planta por medio de los estomas de las hojas. Ambas variables en conjunto controlan por la apertura estomática la cual es regulada por la planta de acuerdo a las condiciones medioambientales en que se encuentre (Alisstair Pask *et all.*, 2013). Ante un déficit hídrico la planta por medio de la apertura estomática regula la salida de agua de ella provocando una disminución de la conductancia estomática y así mantener la planta turgente viéndose restringida la salida de agua, lo que provoca una disminución en la tasa transpiratoria (Jones y Sutherland, 1991).

En la actualidad, para mejorar el uso eficiente del agua se están implementando prácticas de manejo hídricos que eviten utilizar láminas permanentes de agua en el suelo, reduciendo de forma considerable la cantidad de agua utilizada durante la temporada

(Bouman y Tuong, 2001). Esta práctica en Chile no está muy difundida, debido a las bajas temperaturas que se presentan en las noches durante el periodo de floración ($<12^{\circ}\text{C}$), para lo cual se recomienda como práctica habitual de manejo una lámina de agua con una altura importante ($>200\text{ mm}$), la que actúa como protección para los órganos reproductivos del arroz en formación (como un buffer térmico).

Una estrategia posible de implementar para ahorrar agua en el cultivo de arroz es el riego por intermitencia (Khepar *et al.*, 2000), el cual permitiría ahorros de agua que irían entre un 40 a un 60 % en comparación con el sistema de riego por inundación permanente (riego tradicional). El riego por intermitencia consiste en utilizar durante los primeros estados de desarrollo un sistema de inundación permanente, aproximadamente hasta el estado de emisión de la panícula, para posteriormente pasar a un régimen de riegos por intermitencia hasta el inicio del primordio floral. Esta estrategia consiste en aplicar agua una vez que la lámina de agua ha desaparecido de la superficie del suelo, llevando la humedad de suelo al estado de saturación (Anbumozhi *et al.*, 1998; Tabbal *et al.*, 2002).

Berdel *et al.*, (2003) señalan que al utilizar riego por intermitencia no se observaría diferencia significativa en el rendimiento del arroz en comparación con el tratamiento testigo (riego inundado), obteniendo ahorros en el consumo de agua entre un 15 y 18%. Por otro lado, Quezada *et al.*, (2011) afirman que se puede lograr ahorros de agua en hasta 50% al utilizar el sistema de riego por intermitencia, observando disminuciones en el rendimiento cercanas al 30%.

Para complementar una estrategia eficiente en el ahorro del recurso hídrico es importante incluir la utilización de variedades de arroz de ciclo corto, las cuales son altamente tolerantes a la falta de agua y al frío nocturno característico de climas mediterráneos fríos como el de la zona arrocería de nuestro país. Estas variedades pueden llegar a reducir su ciclo de desarrollo completo en hasta 30 días en comparación con las variedades tradicionales, generando de esta manera ahorros significativo de agua, sin afectar de manera significativa el rendimiento final del cultivo de arroz.

1.1 Hipótesis

- Bajo condiciones de riego por intermitencia, las variedades de arroz de ciclo corto presentarían un aumento en las variables de intercambio gaseoso y un mayor rendimiento productivo que las variedades convencionales.

1.2 Objetivo general

- Evaluar la respuesta fisiológica de planta en 5 variedades de arroz (*Oryza sativa* L.) de ciclo largo y corto sometidas a una estrategia de riego por intermitencia.

1.3 Objetivos específicos

- Evaluar el efecto del uso de riego por intermitencia en variedades de arroz de ciclo largo y corto sobre la respuesta fisiológica de planta (Conductancia estomática, y transpiración).
- Evaluar el efecto del uso de riego por intermitencia en variedades de arroz de ciclo largo y corto sobre los componentes del rendimiento.

2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cultivo del arroz y su importancia económica en Chile y el mundo.

En el mundo la producción de arroz se concentra principalmente en los países asiáticos. China es quien lidera la producción, aportando con el 29% del volumen total de arroz y con un 19% de la superficie sembrada. En segundo lugar, esta India, el país con la mayor superficie de arroz en el mundo (26%) pero produce menos que China, cercano a un 20%. Seguidos por Indonesia (9%), Bangladesh (7%) y Vietnam (6%) (REDPA, 2012).

Si bien Chile no es de los principales productores a nivel mundial, en la última década la producción de arroz ha crecido considerablemente pasando de las 127.000 toneladas en el 2008 a 193.000 toneladas en el año 2018. De la misma forma aumentó la superficie, pasando de 23.700 hectáreas a 29.500 hectáreas durante el mismo periodo. El crecimiento de la producción arrocería en Chile ha ocurrido principalmente por mejoramiento genético y una mejora en los manejos agronómicos asociados, logrando rendimientos promedios de 65,3 quintales por hectárea durante los últimos años (Comisión Nacional del Arroz en Chile, 2019).

2.2 Características botánicas del arroz y condiciones edafoclimáticas óptimas para su producción.

El arroz (*Oryza sativa L.*) es una gramínea anual, de tallos huecos y redondos compuestos por nudos y entrenudos, hojas de lámina plana unidas al tallo por una vaina, presentando una panícula como inflorescencia. Las hojas de la planta de arroz cuentan con una lígula y aurículas. Las lígulas son unas estructuras triangulares que aparecen en prolongación de la vaina, y las aurículas son dos apéndices que se encuentran en el cuello, con pequeños dientes en la parte convexa. La presencia de estas estructuras en las hojas de las plantas de arroz facilita la identificación de malezas en estado de plántula ya que carecen de ellas.

Las condiciones edafoclimáticas óptimas para el adecuado desarrollo del cultivo son muy diversas, presentando los mayores rendimientos en climas tropicales. Dentro de las condiciones más importantes está el suelo, el cual debe contar con características más bien arcillosas, generando así altos niveles de retención de agua. En climas tropicales donde gran parte de la producción es en seco, es decir, dependen completamente de las precipitaciones, contar con un suelo con alta retención de agua genera una buena producción del cultivo. La zona arroceras de Chile se destaca por presentar un clima templado frío, con estaciones bien marcadas, siendo un factor limitante en la producción del cultivo. En el estado de panícula la planta es muy poco tolerante a las bajas temperaturas nocturnas ($<20^{\circ}\text{C}$), las cuales son muy comunes en la zona centro sur del país, debido a esto los arroceros chilenos se han visto obligados a aumentar la altura de la lámina de agua en el manejo hídrico de este cultivo, para generar de esta manera un efecto buffer térmico, favoreciendo la mantención de la temperatura a nivel de suelo durante la noche, protegiendo a la planta durante el periodo de floración. Sin embargo, esta práctica tradicional de manejo genera altos consumos de agua durante la temporada productiva.

2.3 Subespecies de arroz y variedades de ciclo corto y largo.

Las subespecies Indicas y Japónicas son las dos más utilizadas en el mundo, la primera contempla cerca del 80% total de la superficie sembrada presenta un grano más firme, fino y largo, además de una mayor concentración de almidón de amilosa. Esta subespecie es cultivada en zonas bajas tropicales y subtropicales, debido a su poca tolerancia a las bajas temperaturas.

La subespecie Japónica es sembrada en tierras altas del trópico y en climas templados, como lo es Chile. Presenta un grano más corto, grueso y más pegajoso, con menos almidón de amilosa. Si el grano de arroz acumula más amilosa se resiste más a la cocción, requiere de más agua y el grano queda más suelto (más graneado).

En los años 20 fue cuando comenzó el cultivo del arroz en Chile, la primera variedad fue producto de la selección de distintos tipos de arroz que se sembraban en el país.

Gracias a eso se logró generar la variedad Oro que por gran parte del siglo fue la más sembrada en Chile, incluso hubo años en que ocupó casi el 100% de la superficie. Esta era una variedad de grano corto-grueso, con panza blanca y susceptible a la tendadura por su caña débil (INIA, 2015).

El Instituto Nacional de Investigación Agrícola inició los programas de mejoramiento de arroz con el objetivo de aumentar la estabilidad y el rendimiento potencial del cultivo. A su vez, se centró en aumentar la tolerancia a bajas temperaturas, mejorar la calidad del grano, mejorar características agronómicas (resistencia a la tendadura, altura de la planta, precocidad), entre otros. INIA ha lanzado 8 variedades al mercado con diferentes características, en la cual destaca Diamante-INIA, siendo una variedad que posee un alto rendimiento en grano, con buena estabilidad y rendimiento industrial.

Dentro de las variedades de arroz existen de ciclo largo y corto. Las de ciclo largo son las usadas actualmente en Chile, las cuales cumplen su desarrollo en 135-150 días desde la siembra hasta la madurez de cosecha (octubre-marzo), iniciando su fase reproductiva (inicio del primordio floral) 70 días después de la emergencia. En cambio, las variedades de ciclo corto, el inicio de la fase reproductiva ocurre a los 40 días de la emergencia, además que la diferenciación de la panoja puede ocurrir antes que se alcance el número máximo de macollos (Olmos, 2007).

2.4 Componentes de rendimientos del arroz.

Los componentes del rendimiento en el arroz corresponden a plantas por m², granos por panícula, porcentaje de granos vanos y peso de los granos. Para lograr una buena expresión de estos es necesario realizar un óptimo manejo agronómico del cultivo (INIA, 2015).

El peso de granos se refiere al peso que se obtiene al pesar mil granos de arroz, donde principalmente estos son calculados en el periodo de llenado de granos, y al momento en que la traslocación de almidón llega a valores normales donde el grano llega a su máximo

desarrollo. Es importante considerar que para que esto ocurra se necesitan condiciones favorables durante el último mes o un poco antes de cosecha (CIAT, 1986).

El número de grano por panículas es controlado durante la fase reproductiva, muchos estudios demuestran que existe una relación estrecha entre la nutrición de la planta con la cantidad de granos por panícula. Del mismo modo, la actividad fotosintética cuenta con una gran influencia en el número de granos por panícula entre los estados de floración hasta maduración (CIAT, 1985).

El porcentaje de granos vanos es el indicador que muestra el grado de esterilidad floral a causa de bajas temperaturas, donde principalmente en Chile este es un componente del rendimiento muy importante pues los agricultores arroceros tienen que lidiar con las bajas temperaturas nocturnas que afectan el estado reproductivo de las plantas (Alvarado, 2007).

2.5 Uso y manejo del recurso hídrico (efecto de la restricción hídrica sobre las variables fisiológicas y rendimiento de arroz).

Uno de los factores más importantes para obtener altos rendimientos en arroz es el agua. La gran mayoría de la superficie sembrada con arroz en Chile está bajo condiciones de inundación desde la siembra hasta la madurez, lo que conlleva a la utilización de grandes volúmenes de agua, siendo común utilizar alrededor de 18.000 m³/ha/temporada.

Una lámina de agua permanente, con una altura de alrededor de 5 cm, es de suma importancia para el desarrollo del cultivo de arroz, sobre todo durante el periodo de siembra hasta inicio del primordio floral. Esto se debe a que esta altura de agua favorece un buen desarrollo inicial de la planta, evitando plantas alargadas y débiles, incentivando la formación de macollas (Alvarado, 2007).

En la etapa reproductiva, la cual inicia con la formación del primordio floral hasta floración, el manejo del agua es muy importante, ya que tiene el propósito de proteger el primordio floral de las bajas temperaturas nocturnas. Esta lámina de agua debe ir

aumentando su altura debido a la elongación paulatina de los entrenudos que ocurre junto con el desarrollo del primordio floral, hasta una altura máxima de 30 cm.

El diseño de riego adecuado para el manejo hídrico del arroz consiste en la separación por cuadros conectados por canales para la distribución del agua (pretilos), lo cual tiene una gran importancia en el rendimiento del cultivo. A través de la circulación del agua es posible controlar la temperatura del agua, por ejemplo, en la etapa vegetativa el nivel óptimo es sobre los 15° C. Cuando el ambiente está muy frío se recomienda cortar la circulación del agua de tal forma de mantener la temperatura constante. Sin embargo, cuando las bajas temperaturas duran muchos días, hay que mantener el arrozal con una circulación mínima de agua para no estimular la formación de lama. Del mismo modo si en la etapa reproductiva la temperatura del agua está muy baja se debe disminuir la circulación del agua.

Para optimizar el recurso hídrico existen estrategias como el riego por intermitencia, el cual consiste en un sistema de inundación permanente durante los primeros estados de desarrollo, hasta la emisión de la panícula, siguiente a esto se comienza con un régimen de riegos por intermitencia hasta el inicio del primordio floral (con láminas de agua de 50 mm). Al momento de la emisión de la panícula los cuadros se llenan con una lámina de agua entre los 100 a 150 mm, una vez que el agua desaparezca de la superficie del suelo se vuelven a inundar los cuadros y así hasta inicios del primordio. La frecuencia de esta estrategia dependerá de la textura del suelo y de los niveles de evapotranspiración. Bouman (2001) destaca que el riego por intermitencia reduce el consumo de agua, pero al costo de una disminución del número de granos por panícula, del mismo modo Quezada *et al.*, (2011) confirma tales resultados además de observar una disminución en el tamaño de las plantas sometidas a riego por intermitencia en comparación con inundación permanente.

Al momento en que termina el riego por intermitencia se vuelve a la inundación permanente, donde el momento óptimo para no agregar más agua a los cuadros es desde floración en adelante, siempre considerando las características del suelo, principalmente

las de retención de agua, así permitiéndonos un máximo rendimiento y calidad de grano, además de facilitar las labores de cosecha (Alvarado, 2007).

Por lo tanto, el riego por intermitencia es una de las estrategias de conservación y ahorro de agua más prometedoras para reducir los rendimientos hídricos del cultivo del arroz, y aminorar la escasez hídrica (Böcking *et al.*, 2005).

3 MATERIALES Y METODOS

3.1 Descripción sitio experimental y material vegetal del estudio.

El estudio fue realizado en el huerto comercial “el Almendro” ubicado en la comuna de Retiro, región del Maule, Chile ($35^{\circ}57' S$; $71^{\circ}47' O$). El clima de la zona de Retiro es mediterráneo frío, se caracteriza por no presentar precipitaciones durante la temporada productiva (octubre-marzo).

El material vegetal utilizado fueron cinco variedades de arroz que se diferencian por su ciclo de crecimiento (corto- intermedio- largo) cuya identificación fue: 106 de ciclo corto, ALM-103 de ciclo corto, Sandora L-42 de ciclo corto, Zafiro de ciclo largo y una variedad híbrida no comercial de ciclo intermedio.



Figura 1: Imagen Satelital del Fundo “El Almendro” en la comuna de Retiro, región del Maule, Chile, precisamente en el lugar en donde se realizó el ensayo ($35^{\circ}57'24.42''S$; $71^{\circ}47'23.95''O$).

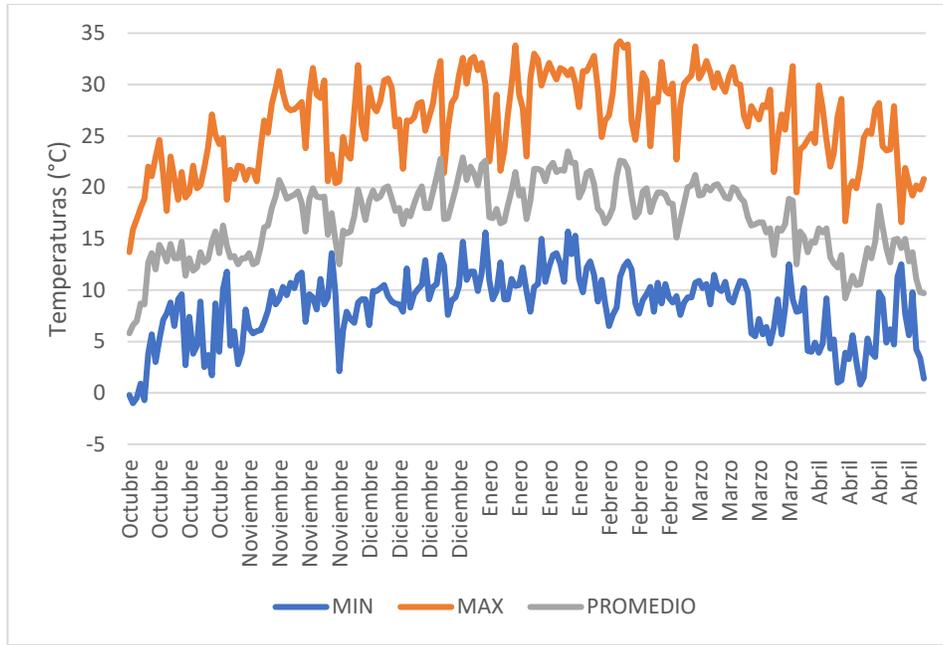


Figura 2: Grafico de temperaturas (Mínimas, máximas y promedios) entre los meses de octubre y abril de la temporada 2019-2020.

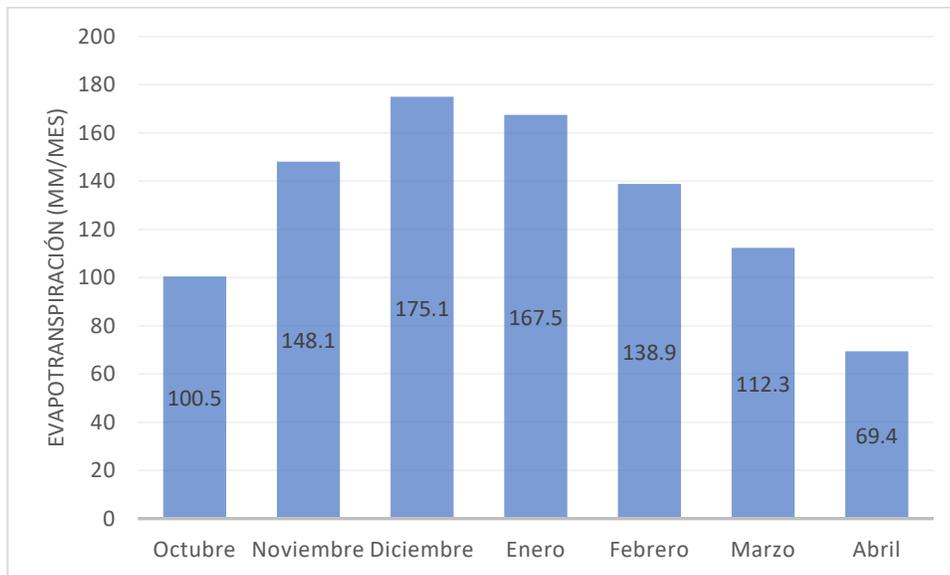


Figura 3: Grafico de evapotranspiración mensual (mm) entre los meses de octubre y abril de la temporada 2019-2020.

3.2 Características del suelo

En el Fundo el Almendro encontramos las series de suelo Quella y Parral. La serie Quella está constituida por suelos derivados de cenizas volcánicas antiguas además de depósitos lacustrinos formados principalmente por arcillas, generando una restricción de drenaje debido a la presencia de una toba dura cercana al metro de profundidad, muy pobre en contenidos de materia orgánica (CNR, 1988). La serie Parral, cercano a la precordillera cuenta con suelos sedimentarios, principalmente derivados de toba volcánica, de textura franca-arcillosa y arcillosa en profundidad. Suelo de topografía plana, de drenaje moderado, y rico en materia orgánica (Santis, 2005). En la serie Parral es en donde fue establecido el estudio.

3.3 Características del ensayo.

El ensayo consistió en comparar las respuestas fisiológicas y de rendimiento de las cinco variedades ya nombradas, sometidas todas a una estrategia de riego por intermitencia. Cada parcela experimental contó con una superficie de 15 m² dividida en 5 bloques de 3 m² cada una.

La preparación de suelo se realizó con rastra de disco, se hizo una nivelación de la cota del terreno a cero, además de una aplicación de productos químicos para el control de malezas pre-emergentes en arroz.

La siembra fue en seco con maquina sembradora a 3 cm de profundidad junto con una fertilización estándar de Nitrógeno, Fosforo y Potasio.

El manejo del riego comenzó al día siguiente de la siembra donde se aplicó una lámina de agua y se mantuvo con inundación permanente hasta la emergencia de la plata (3 a 4 hojas). Posteriormente se dio inicio al riego por intermitencia, en el cual se cerraron las entradas y salidas de agua hasta que la lámina de agua desapareció de la superficie del suelo. Una vez ocurrido esto se volvió a aplicar una nueva lámina de agua de 50 mm de

altura. Este procedimiento se realizó con una frecuencia promedio de 5 días y duró hasta el periodo de primordio floral. Iniciando este periodo se vuelve a inundación permanente, pero con una altura de lámina mucho mayor (300 mm), para proteger el primordio floral de las bajas temperaturas nocturnas. Se cortó la entrada de agua días pos-floración, para mantener la lámina de agua hasta madurez.

3.4 Mediciones de campo

La conductancia estomática (g.) se midió mediante la utilización de un porómetro (PMR-5 PP-System, EE. UU.), donde la temperatura y la humedad relativa se consideraron en condiciones ambientales. Esta medición fue realizada al mediodía (12 AM y 14 PM), en donde se evaluaron dos plantas por repetición en hojas sanas y expuestas a la radiación solar incidente.

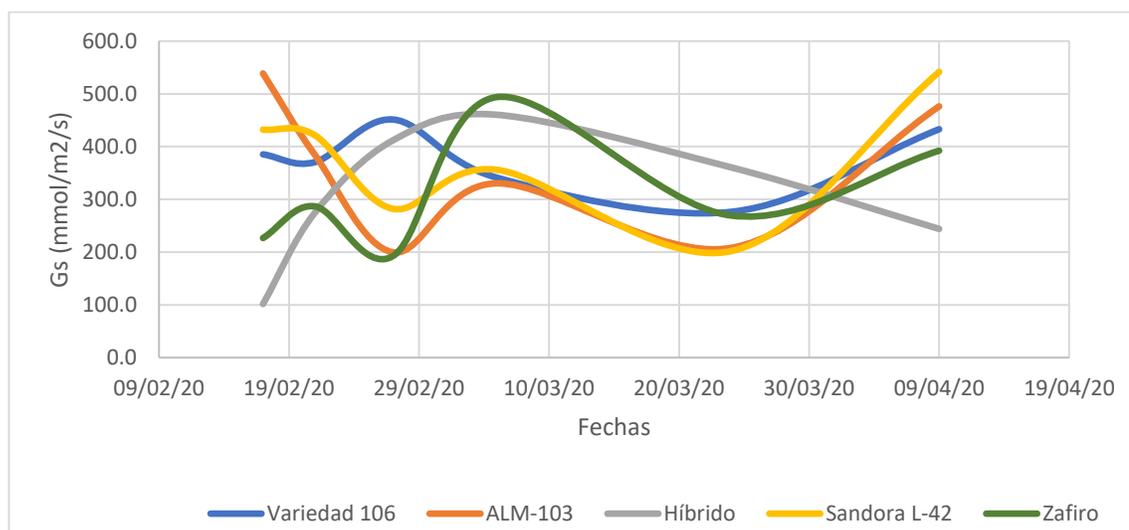
Dentro de los componentes del rendimiento se estimó el número de panículas por metro cuadrado, las cuales fueron calculadas durante la etapa de maduración del cultivo, además del (i) número de granos por panícula seleccionando al azar diez panículas por repetición mediante el conteo de granos, (ii) número de granos llenos, (iii) número de granos vanos además del porcentaje de esterilidad, (iv) peso de 1000 granos que se calculó contando manualmente cien granos donde una vez pesados se realizó la equivalencia con el peso de 1000 granos.

3.5 Análisis estadístico

Los resultados obtenidos fueron evaluados mediante un análisis de varianza (ANDEVA) con un Intervalo de confianza del 95% ($P \leq 0,05$). Para la homogeneidad de los datos se utilizó el test de Levene ($P < 0,05$). Al encontrar diferencias estadísticas significativas se utilizó una prueba de comparación múltiple de medias (tukey $<0,05$). Para las pruebas se utilizó el software Statgraphics centurión XVI.

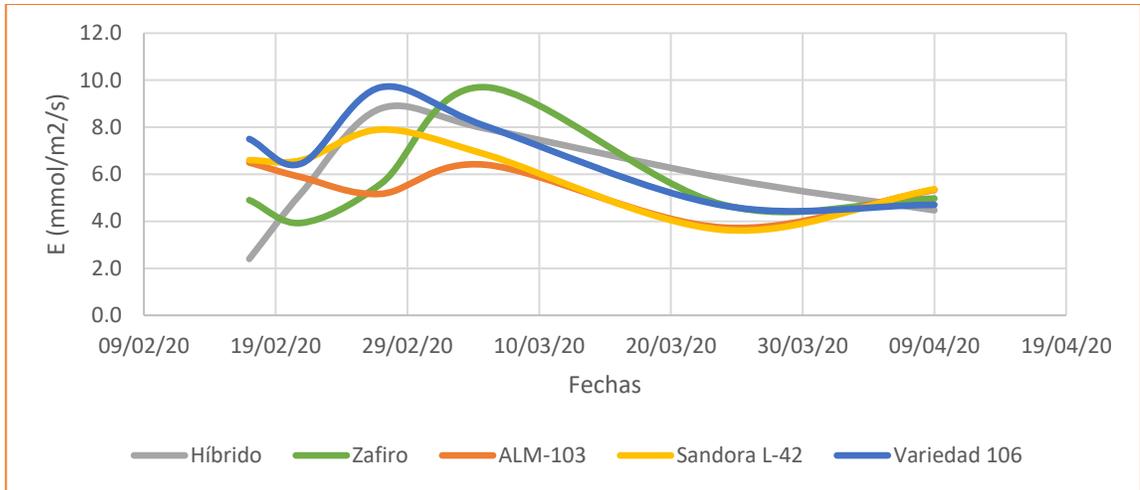
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados fisiológicos



	17-02	21-02	27-02	06-03	24-03	09-04
ALM-103	538 a	384 ab	199 b	330 b	208 b	476 ab
106	385 abc	370 abc	451 a	341 b	276 ab	433 ab
Sandora L-42	432 ab	421 a	282 ab	346 b	202 b	541 a
Híbrido	101 c	275 c	412 ab	460 ab	360 a	244 c
Zafiro	226 bc	287 bc	192 b	494 a	269 ab	392 b
ErrST	107,01	39,39	77,84	47,27	39,74	63,53
Valor-p	0,005	0,0047	0,0164	0,0073	0,005	0,0001
Significancia	**	**	*	**	**	**

Figura 4: Gráfico de valores conductancia estomática de las 5 variedades de arroz en 6 fechas de medición, junto con análisis de varianza de conductancia estomática por fechas de medición. Letras distintas, indica diferencias entre los tratamientos. * valor-p < 0.05; ** valor-p < 0.01; n.s. no significativo.



	17-02	21-02	27-02	06-03	24-03	09-04
ALM-103	6,5 ab	5,8 a	5,1	6,4 b	3,7	5,3 ab
106	7.4 a	6,4 a	9,7	8 ab	4,6	4,7 bc
Sandora L-42	6,6 ab	6,6 a	7,9	6,8 b	3,6	5,4 a
Híbrido	2,4 b	5,2 ab	8,8	7,9 ab	5,8	4,4 c
Zafiro	4,9 ab	3,9 b	5,6	9,7 a	4,7	4,9 abc
ErrST	1,32	0,64	1,44	0,83	0,63	0,24
Valor-p	0,023	0,0012	0,074	0,0163	0,056	0,0034
Significancia	*	**	ns	*	ns	**

Figura 5: Gráfico de valores transpiración de las 5 variedades de arroz en 6 fechas de medición, junto con análisis de varianza de transpiración por fechas de medición. Letras distintas, indica diferencias entre los tratamientos. * valor-p < 0.05; ** valor-p < 0.01; n.s. no significativo.

Cuadro 1. Análisis de varianza de las variables de Conductancia Estomática y Transpiración del periodo de mediciones de las cinco variedades de arroz.

Variedad	C. estomática (mmol/m²/s)	Transpiración (mmol/m²/s)
ALM-103	308,9	5,5
106	310,2	6,8
Sandora L-42	356,1	6,1
Híbrido	372,5	5,7
Zafiro	376,2	5,6
Valor P	0,28	0,27
Significancia	ns	ns

Letras distintas, indica diferencias entre los tratamientos. * valor-p < 0.05; ** valor-p < 0.01; n.s. no significativo.

4.1.1 Conductancia estomática

En las figuras 4 y 5 se observa la interacción entre las variedades de arroz y la estrategia de riego por intermitencia del punto de vista fisiológico. Al respecto, las variedades de ciclo corto presentaron alzas en sus valores de conductancia estomática de manera prematura durante la temporada. Al respecto, la variedad 103 presentó una media de 538 mmol/m²/s muy por encima del resto de las variedades, mientras que las variedades de ciclo largo e intermedio sus picos fueron mucho más tardíos. La variedad Zafiro obtuvo una media de 226 mmol/m²/s mientras que la variedad Híbrida presentó el valor más bajo con una media de 101 mmol/m²/s durante la primera fecha de medición. En la segunda y tercera medición tuvieron un comportamiento similar lideradas por las variedades de ciclo corto Sandora L-42 con una media de 421 mmol/m²/s y la variedad 106 que durante la tercera medición obtuvo un valor de 451 mmol/m²/s. En la cuarta y quinta semana las variedades de ciclo largo e intermedio presentaron las medias más altas, Zafiro presentó una media de 494 mmol/m²/s en la cuarta semana y la variedad Híbrida una media de 360 mmol/m²/s durante la quinta semana. En la última semana las variedades de ciclo corto

vuelven a presentar las medias más altas, en donde la variedad Sandora L-42 mostró una media de 541 mmol/m²/s seguida por 103 con una media de 476 mmol/m²/s, mientras que las variedades Zafiro e Híbrida presentaron una media más baja de aproximadamente 400 mmol/m²/s.

Los valores ponderados durante el periodo de mediciones para esta variable no mostraron diferencias estadísticas significativas (cuadro 1), pero si se observaron diferencias significativas para el análisis por fecha (Figura 5).

4.1.2 Transpiración

En la transpiración se observan diferencias entre las variedades de ciclo corto en comparación con las variedades de ciclo largo e intermedio, presentando valores más altos en las variedades de ciclo corto, principalmente la variedad 106 con una media de 7,4 mmol/m²/s en la primera semana, seguida por la variedad Sandora L-42 con una media de 6,5 mmol/m²/s y la variedad 103 con 6,5 mmol/m²/s, mientras que la variedad Híbrida presentó la media más baja con un valor de 2,4 mmol/m²/s. El comportamiento en las primeras semanas fue similar al de conductancia estomática, observando de manera prematura los valores más altos en las variedades de ciclo corto a diferencia de la variedad de ciclo intermedio y largo (comportamiento más tardío). Durante la tercera fecha de medición la variedad Zafiro lideró las mediciones con 9,7 mmol/m²/s y la variedad Híbrida con una media de 8,8 mmol/m²/s, mientras que las variedades de ciclo corto no presentaron valores por sobre los 6 mmol/m²/s, a excepción de la variedad Sandora L-42 que presentó una media de 7,9 mmol/m²/s. Durante la quinta y sexta fecha de medición los valores de transpiración para todas las variedades no sobrepasaron los 6 mmol/m²/s con diferencias mínimas entre variedades.

Al comparar los valores de transpiración con el registro de temperatura ambiental del ensayo (figura 2), se observa que las variedades híbridas y Zafiro (variedades intermedias y de ciclo largo) presentaron valores inferiores de transpiración (bajo los 5 mmol/m²/s) que las variedades de ciclo corto (sobre los 6 mmol/m²/s) durante las primeras fechas de

medición, independientemente de la condición climática registrada durante la temporada. Es importante destacar que la primera fecha de mediciones se realizó en distintos estados fenológicos de las plantas. Las variedades de ciclo corto se encontraban en R3 (estado en el cual la panícula está comenzando a emerger por sobre la hoja bandera) y R4 (estado en donde la panícula del tallo principal ha alcanzado la antesis) mientras que la variedad híbrida y Zafiro recién se observaron las primeras plantas en estado R3. Según Belder (2004) la tasa de transpiración disminuye cuando el potencial hídrico del suelo cae por debajo de -1 bar, esto se genera al aplicar una estrategia de riego por intermitencia. Considerando que en las primeras mediciones recién se daba inicio nuevamente al sistema inundado permanente y a la finalización del riego por intermitencia, es posible que las plantas presentaran cierto grado de déficit hídrico, comprobando que las variedades de ciclo corto presentan una mayor respuesta a esta condición de manejo de riego deficitario, mientras que Zafiro y la variedad híbrida presentaron una mayor sensibilidad a la restricción del riego. Debido a la falta de agua durante las primeras semanas, tanto Zafiro, como la variedad híbrida demoraron en volver a recuperar su actividad fotosintética, presentando sus valores más altos tres semanas después de iniciado el sistema de riego de inundación permanente.

4.2 Componentes del rendimiento

Para los componentes del rendimiento analizados, se observaron importantes diferencias estadísticas en favor de las variedades de ciclo corto bajo las condiciones de manejo de riego por intermitencia (Cuadro 2 y 3).

Cuadro 2. Análisis de varianza de las variables de N° panículas/m², N° grano/panícula, N° grano lleno/panícula y N° grano vano/panícula de las cinco variedades de arroz.

Variedad	N° panículas / m²	N° grano / panícula	N° grano lleno / panícula	N° grano vano / panícula
ALM-103	911 a	45	31 b	14
106	404 c	52	35 b	16
Sandora L-42	668 b	52	52 a	9
Híbrido	540 bc	55	31 b	33
Zafiro	370 c	62	24 b	21
Valor P	0,0001	0,3081	0,0002	0,0541
Significancia	**	ns	**	ns

Letras distintas, indica diferencias entre los tratamientos. * valor-p < 0.05; ** valor-p < 0.01; n.s. no significativo.

4.2.1 Numero de panículas por m²

La variedad ALM-103 (911 panículas/m²) de ciclo corto duplicó el número de panículas por m² en comparación a la variedad Zafiro (370 panículas/m²) e incluso a uno de sus pares (variedad 106 con 404 panículas/m²). Mientras que la variedad Sandora L-42 (668 panículas/m²) también obtuvo resultados muy por encima de la media.

Al comparar la respuesta fisiológica de las variedades con el número de panículas por m², la variedad ALM-103 y 106 fueron las que presentaron una mayor respuesta fisiológica durante las primeras mediciones. Quezada *et al.*, (2011) observó valores similares en el número de panículas por m² en la variedad Zafiro bajo una estrategia de riego por intermitencia (315 panículas/m²), es probable que las variedades de ciclo corto estudiadas cuenten con una mayor capacidad para generar panículas por metro cuadrado que las variedades tradicionales utilizadas en Chile. Se puede deducir que el número de macollas que producen las variedades de ciclo corto (103 y Sandora L-42) fueron mucho mayor que el resto, lo que explicaría la gran cantidad de panículas observadas por unidad de superficie. Esto demuestra la buena respuesta de estas variedades a la condición de

manejo de riego por intermitencia, a diferencia del resto de las variedades que presentaron un menor número de panículas por m².

4.2.2 Número de granos por panícula

El número de granos por panícula no presentó diferencias estadísticamente significativas. Esto confirma lo observado por Bouman (2001) quién al aplicar una estrategia de riego por intermitencia obtuvo un ahorro significativo en el volumen de agua utilizada, observando una disminución en el número de granos por panícula en las plantas de arroz. Hernaíz y Alvarado (2007) y Quezada *et al.*, (2011) obtuvieron valores promedio en el número de granos por panícula por encima de los 70 granos bajo una estrategia de riego por inundación permanente, al comparar este valor con los resultados obtenidos se observa una disminución en el número de granos por panículas en las cinco variedades, las que en promedio no superaron los 60 granos, salvo la variedad Zafiro que tuvo un promedio de 62 granos por panícula. Esto se debe a que la planta de arroz al presenciar una disminución del agua por debajo de la saturación durante el periodo cercano a la floración aumenta la esterilidad de las espiguillas, dando como resultado una disminución en el número de granos por panículas, principalmente en la antesis o previo a ella donde hay un corto periodo en el que la fertilidad de la espiguilla es muy sensible al déficit hídrico (Bouman y Tuong, 2001).

4.2.3 Número de grano lleno por panícula

Los resultados demuestran que existe diferencia significativa en el número de grano lleno por panícula de las variedades estudiadas, siendo la más alta la variedad Sandora L-42 con un total de 52 granos llenos.

Tascón (1985) atribuye una disminución en el número de granos llenos por panícula al déficit de riego observado en periodos críticos, principalmente al inicio de la etapa

reproductiva, también señala que para obtener un rendimiento aceptable se debe contar con un promedio por sobre los 60 granos llenos por panícula.

4.2.4 Número de grano vano por panícula y esterilidad floral

No Existen diferencias significativas en el número de granos vanos por panícula, pero si en la esterilidad floral en las cinco variedades evaluadas, donde las variedades de ciclo corto presentaron los valores más bajos en número de granos vanos en comparación con la variedad híbrida y Zafiro. Misma situación se observó en el porcentaje de esterilidad floral, donde la variedad de ciclo intermedio y largo presentaron un porcentaje de esterilidad floral por sobre el 50%, mientras que las variedades de ciclo corto no sobrepasaron el 35%.

Los componentes del rendimiento están directamente relacionados a la condición climática del cultivo, principalmente a las bajas temperaturas nocturnas (<20°C). Al observar las temperaturas mínimas durante la temporada (figura 2) principalmente durante el mes de febrero que es donde las plantas están en la etapa reproductiva, las temperaturas mínimas fueron de aproximadamente 10°C, afectando directamente el rendimiento de las plantas (Alvarado,2007). Al observar temperaturas bajas durante el día existe una inhibición de la enzima invertasa, bajando su actividad, esta enzima forma parte en el proceso de acumulación de almidón dentro de los granos de arroz, al disminuir su actividad los niveles de glucosa y fructosa bajan, provocando la generación de granos débiles que no son viables y se conocen como granos vanos. Del mismo modo, la planta al estar en un ambiente frío provoca que las anteras disminuyan su apertura liberando poco polen, al no contar con una cantidad suficiente de polen se genera la esterilidad floral (Del Pozo, 2019).

Estos resultados muestran que las variedades de ciclo corto presentan una mayor tolerancia a las bajas temperaturas que las variedades tradicionales en Chile bajo un sistema de riego por intermitencia. La variedad que tuvo mejor respuesta fue Sandora L-

42 que presentó un 15% de esterilidad floral, considerado dentro del rango normal en nuestro país.

Cuadro 3. Análisis de varianza de las variables de % de esterilidad, peso de los 1000 grano lleno y rendimiento (kg/ha) de las cinco variedades de arroz.

Variedad	% esterilidad	Peso de los 1000 grano lleno	Rendimiento (kg/ha)
ALM-103	26 ab	25 c	8586,7 a
106	31 ab	28 b	2821,13 bc
Sandora L-42	15 b	29 ab	5319,57 b
Híbrido	60 a	28 ab	2344,07 c
Zafiro	45 ab	31 a	1763,83 c
Valor P	0,0318	0,0005	0,0001
Significancia	*	**	**

Letras distintas, indica diferencias entre los tratamientos. * valor-p < 0.05; ** valor-p < 0.01; n.s. no significativo.

4.2.5 Peso de los 1000 granos lleno

El peso de los 1000 granos presentó diferencias significativas entre las cinco variedades (cuadro 3), siendo la variedad Zafiro quien presentó el valor más alto (31 g), mientras que el resto de las variedades presentaron un comportamiento similar entre ellas. Zafiro al ser una variedad de ciclo largo cuenta con más tiempo para su desarrollo vegetativo y reproductivo, por ende, el mayor peso de 1000 granos se explicaría debido a que cuenta con mayores valores de materia seca, tanto en la planta, como en los granos de arroz producidos.

4.2.6 Rendimiento en kg/ha

El rendimiento de arroz fue disímil entre las cinco variedades de arroz estudiadas, presentando diferencias significativas (cuadro 3). Al respecto, la variedad ALM-103 presentó el mayor rendimiento con 9.000 kg/ha seguido por Sandora L-42 con un rendimiento cercano a los 5.500 kg/ha, siendo ambas variedades de ciclo corto y presentando una buena respuesta frente a la estrategia de riego por intermitencia. Por otro lado, la variedad de ciclo corto 106, la variedad híbrida y la variedad Zafiro presentaron valores muy bajos en comparación a las otras dos variedades (ALM-103 y Sandora L-42). Zafiro obtuvo los peores rendimientos, no superando los 2.000 kg/ha, mostrando la poca tolerancia que posee esta variedad a la falta de agua en sus primeros estados de desarrollo. Quezada *et al.*, (2011) con la variedad Zafiro obtuvo un rendimiento cercano a los 6.000 kg/ha bajo una estrategia de riego por intermitencia. Estas diferencias podría deberse a la condición climática particular de la zona de Retiro en donde se realizó el presente ensayo (clima mediterráneo frío) es común encontrar durante el período de micro-esporogénesis del arroz temperaturas nocturnas inferior a los 12 °C. Asimismo, el bajo rendimiento de la variedad Zafiro (2000 kg/ha) podría estar asociado al alto porcentaje de esterilidad floral, provocado por la baja tolerancia de esta variedad a las bajas temperaturas nocturnas. Por su parte, la variedad 106 y la variedad híbrida también presentaron una baja tolerancia al déficit hídrico. Es probable que la variedad 106 al contar con un menor número de panículas por m² (cuadro 2) y una respuesta no tan favorable como la de sus pares (ALM-103 y Sandora L-42), de un punto de vista fisiológico en relación al riego por intermitencia (figura 4), se haya visto perjudicada al igual que la variedad híbrida de ciclo intermedio y a la variedad Zafiro de ciclo largo.

4.2.7 Eficiencia del uso de agua

Quezada *et al.*, (2011) obtuvo un ahorro de agua por sobre el 40% con un volumen aplicado de 11.278 m³/ha/temporada al implementar la estrategia de riego por

intermitencia en comparación al riego tradicional por inundación con un consumo hídrico promedio de 19.133 m³/ha/temporada, siendo este porcentaje muy cercano al obtenido por Khepar *et al.*, (2000) quienes observaron una reducción del consumo hídrico cercano al 50%. Sin embargo, en ambos casos esto significó una reducción del 30% en el rendimiento. En Chile la media del consumo hídrico en un sistema productivo tradicional de arroz es de 18.000 m³/ha/temporada, por lo tanto, disminuir este valor en un 40% serían números muy favorable para su producción, pensando en el escenario actual de cambio climático de escasez hídrica que está sufriendo la zona central de Chile donde se concentra la principal zona agrícola de nuestro país.

Al comparar el estudio de Quezada *et al.*, (2011) con los resultados obtenidos en las variedades de ciclo corto de la presente investigación, se aprecia que la implementación de la estrategia de riego por inundación permanente realizada por Quezada *et al.*, (2011), quien obtuvo un rendimiento promedio de 9.430 kg/ha es apenas 8% mayor al rendimiento obtenido por variedad de ciclo corto 103 (8.586 kg/ha) al implementar la estrategia de riego por intermitencia, la cual se traduce en un ahorro de agua superior al 30% en comparación con el sistema de riego por inundación permanente. Estos resultados muestran el potencial productivo que tendrían las variedades de arroz de ciclo corto en Chile, las cuales presentarían un bajo porcentaje de pérdidas en rendimiento con ahorros considerables de agua, haciendo más sustentable el sistema productivo de arroz en nuestro país, al incorporar variedades de ciclo corto como las evaluadas en esta investigación.

5 CONCLUSIONES

- Los resultados muestran que las variedades de ciclo corto, principalmente ALM-103 y Sandora L-42, presentaron una respuesta fisiológica y reproductiva mucho mayor que las variedades de ciclo intermedio y largo al implementar la estrategia de riego por intermitencia. Además, se observó que estas dos variedades presentan una mayor tolerancia a las bajas temperaturas nocturnas a diferencia de la variedad tradicional estudiada como Zafiro.
- Las variedades de ciclo corto presentan grandes ventajas frente a las variedades utilizadas tradicionalmente en Chile (Zafiro), principalmente porque evita riesgo de lluvias tempranas durante el período de cosecha (principios de abril), que son muy perjudiciales para la labor de cosecha de arroz. Por otro lado, se evita correr el riesgo de quedar sin recurso hídrico en marzo debido a que su proceso reproductivo ya finalizó (30 días antes que las variedades tradicionales), además de una reducción del consumo de agua en un 40% con una disminución del rendimiento inferior al 10%.
- La implementación de una estrategia de riego por intermitencia permitiría una reducción importante en el volumen de agua consumido durante la temporada, haciendo más sustentable el sistema productivo de arroz al utilizar variedades de ciclo corto como ALM-103 y Zandora L-42, las cuales son altamente tolerantes a la falta de agua y a las bajas temperaturas nocturnas durante el período de micro-esporogénesis del cultivo ($T^{\circ} < 12^{\circ}\text{C}$). Al respecto, los rendimientos de Zafiro fueron un 80% inferior al de las variedades de ciclo corto bajo un régimen de riego por intermitencia.

6 REFERENCIAS

- Alvarado A., José Roberto y Grau B., Pablo. 1986. El Cultivo de Arroz en Chile y sus Expectativas, INIA.
- Alvarado, R. 2007. Arroz. Manejo tecnológico, Chillán, Chile, INIA, Boletín INIA N° 162.
- Anbumozhi, V., Yamaji E. and Tabuchi, T. 1998. Rice crop growth and yield as influenced by changes in ponding water depth, water regime and fertigation level. *Agric. Water Manage.* 37:241-253.
- Barrios, B. 2010. Características del arroz chileno. Oficina de estudios y políticas agrarias (ODEPA). Santiago, Chile.
- Belder, P., Bouman, B., Cabangon R., Guoanc, L., Quilangd, E.J., Yuanhuae, J., and Spiertzb, T.P. 2003. Tuonga Effect of water-saving irrigation on rice yield and water use in typical lowland conditions in Asia.
- Bonilla, C. 2000. Causas, consecuencias y mitigación de sequias en Chile.
- Bôcking, B., Finozzi, G., Silveira, P., Bandeira, S., and Carnelli, J. 2005. Riego de arroz por inundación intermitente.
- Bouman, B. 2001. Water-efficient management strategies in rice production. *Int. Rice Res. Notes* 26:17-22.
- Bouman, B., and T. Tuong. 2011. Field water management to save water and increase its productivity in irrigated lowland rice. *Agric. Water Manage.*
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1986. Componentes del rendimiento en arroz; Guía de Estudio. Contenido Científico: International Rice Research Institute. Traducción y adaptación: Oscar Arregocés. Cali, Colombia. CIAT.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1985. Referencia de los cursos de Capacitación sobre Arroz dictados por el Centro Internacional de Agricultura Tropical.

CNR (Comisión Nacional de Riego). 1988. Estudio de suelos proyecto Itata, etapa II. Tomo 1.

Del Pozo, A. 2019. Clase Fisiología de la producción de arroz. Universidad de Talca, 46p.

Fuentealba, V., Finot, V., Wilckens, R. and López, P. 2014. Efectos de la disminución de temperatura sobre el desarrollo de la pared de la antera y el grano de polen en *Oryza sativa* L. *Gayana. Botánica*, 71(2), 199-215. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-66432014000200003>.

Hernaíz, S. and Alvarado, J. 2007. Manejo del agua en el arrozal. p. 49-68. In J.R Alvarado (ed.) Arroz, Manejo Tecnológico. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Chillán, Chile.

INIA (Instituto de investigaciones agropecuarias). 2015. Producción de arroz: Buenas prácticas agrícolas.

Jones H. y Sutherland R. 1991. Stomatal control of xylem embolism. *Plant, Cell and Environment* 11: 111–121.

Kato, Y., Okami M., and Katsura, K. 2009. Yield potential and water use efficiency of aerobic rice (*Oryza sativa* L.) in Japan. *Field Crops Res.* 113:328-324.

Khepar, S., Yadav, A., Sondhi, S., and Siag, M. 2000) Water balance model for paddy fields under intermittent irrigation practices. *Irrigat. Sci.* 19:199-208.

Olmos, S. 2007. Apunte de morfología, fenología, ecofisiología, y mejoramiento genético del arroz. Cátedra de cultivos II, Facultad de Ciencias Agrarias, UNNE.

Pask A., Pietragalla J., Mullan D., Chávez P. y Matthew Reynolds. 2013. Fitomejoramiento Fisiológico II: Una Guía de Campo para la Caracterización Fenotípica de Trigo.

Quezada, C., Hernaíz S., Stolpe N. and Saludes A., 2011. Efectos del método de riego intermitente en componentes de rendimiento y manejo del agua en once genotipos de arroz (*Oryza sativa* L., Poaceae). *Agro-Ciencia. Chilean J- Agric. & Anim. Sci.*

REDPA (Red de coordinación de políticas agropecuarias). 2012, El mercado del arroz en los países del CAS.

Santis, G. 2005. Mapa de reconocimiento de suelo de la región del Bio Bio (sector norte).

Smith, B. 1998. The Emergence of Agriculture (1st edition). Nueva York: W H Freeman & Co.

Tascon, E. 1985 Arroz: Investigación y producción. Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT. Cali. Colombia. 202p.

Tinarelli, A. 1989. Il Riso. EDAGRICOLE. Bologna, Italia. 575p.