



**UNIVERSIDAD DE TALCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
ESCUELA DE AGRONOMÍA**

**Efecto de dos métodos de riego (inundado mejorado e intermitencia) sobre los componentes del rendimiento en 5 variedades de arroz producidos en la zona centro-sur de Chile**

**MEMORIA DE TÍTULO**

**José Leandro Correa Alcántara**

**TALCA- CHILE  
2020**

## 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.



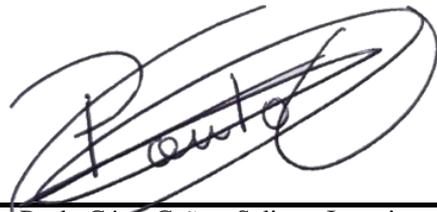
Talca, 2022

APROBACIÓN:



---

Profesor Guía: César Antonio Acevedo Opazo, Ingeniero Agrónomo, Dr. M.Sc.



---

Profesor Co-guía: Paulo César Cañete Salinas, Ingeniero Agrónomo, Dr.

Fecha de presentación de la Defensa de Memoria: (25 de Junio del 2021)

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por la oportunidad de alcanzar mis objetivos y darme el aliento en los momentos que más lo necesite.

A mi familia, especialmente a mis padres, José Correa y Mariana Alcántara por el apoyo incondicional y cariño, sus consejos que cada día me dieron fuerzas para seguir adelante, mi madre siempre preocupada de mi entorno y bienestar, mi padre entregándome conocimientos que fue adquiriendo en el campo, a mis hermanas por su cariño y comprensión en este proceso. A Antonieta por su cariño y paciencia.

Quiero agradecer a la Universidad de Talca, junto a la colaboración de mis profesores guías César Acevedo y Paulo Cañete, quienes me entregaron conocimientos y confianza durante este proceso. A Cristian Reyes, Matías Alarcón, Alixandra Moya, Francisca Cornejo, Adolfo Galaz, Jaime Reveco y Claudia Saavedra mis amigos durante estos años inolvidables, en los cuales tuvimos buenos momentos, supimos enfrentar problemas y darnos el apoyo como un equipo.

## RESUMEN

El arroz es uno de los cereales más consumidos en el mundo, y en países como Chile, es un alimento esencial para la población. Para producir una hectárea de arroz bajo el sistema de producción tradicional, se necesitan alrededor de 18.000 m<sup>3</sup> de agua por hectárea por temporada, lo cual es un problema en el actual contexto de cambio climático y escasez hídrica. A su vez, las bajas temperaturas nocturnas (< 12°C) durante periodos claves del desarrollo fenológico del cultivo, complejizan aún más el poder obtener altos rendimientos en este cultivo. Para esto se realizó un ensayo en la zona de Retiro, en el fundo “El Almendro”, Región del Maule, Chile (35° 57' S; 71° 47'O), durante la temporada 2017/2018. Bajo este contexto la presente investigación busca evaluar la respuesta del rendimiento de cinco variedades de arroz (MA041, Zafiro, 112, 107 y 103) sometidas a dos sistemas de manejo del riego (por inundación e intermitencia). Al ser sometidas bajo el sistema de riego por intermitencia, la variedad que presentó el mayor rendimiento fue MA042 con 83 qq ha<sup>-1</sup>, mientras que zafiro obtuvo el valor más bajo con 4 qq ha<sup>-1</sup>, debido a la alta sensibilidad que presenta esta variedad a las bajas temperaturas durante el período de floración al ser sometida a una lámina de agua de tan sólo 50 mm de altura (riego por intermitencia). De igual forma, estas variedades al ser sometidas a un sistema de riego por inundación permanente (altura de agua de 200 mm), que genera un efecto buffer a las bajas temperaturas, la variedad 112 fue la que presentó el rendimiento promedio más alto con 156 qq ha<sup>-1</sup> y posicionando a Zafiro como la variedad con el rendimiento más bajo para esta condición de manejo hídrico con tan sólo 81qq ha<sup>-1</sup>. La implementación de una estrategia de riego por intermitencia permitiría una reducción importante en el volumen de agua consumido durante la temporada (aproximadamente 50%), haciendo más sustentable el sistema productivo de arroz al utilizar variedades de ciclo corto como 103 y MA042, altamente tolerantes a la falta de agua y a las bajas temperaturas nocturnas durante el período de micro-esporogénesis del cultivo (T° < 12°C).

Palabras clave: *Oryza sativa* L., tolerancia al frío, ciclo corto, intermitencia, rendimiento.

## ABSTRACT

Rice is one of the most consumed cereals in the world, and in countries like Chile, it is an essential food for population. To produce one hectare of rice under the traditional production system, around 18,000 m<sup>3</sup> of water are needed per season, which is a problem in the current context of climate change and water scarcity. In turn, the low night temperatures (<12 ° C) during key periods of the phenological development of the crop, further complicate the ability to obtain high yields in this crop. For this, an experiment was carried out in Retiro zone, in "El Almendro", Maule Region, Chile (35° 57' S; 71° 47' O), during the 2017/2018 seasons. Under this context, this research seeks to evaluate the response of the yield of five rice varieties (MA041, Zafiro, 112, 107, and 103) subjected to two irrigation management systems (by flooding and intermittence). When subjected to the intermittent irrigation system, the variety that presented the highest yield was MA042 with 83 qq ha<sup>-1</sup>, while Zafiro obtained the lowest value with only 4 qq ha<sup>-1</sup>, due to its high sensitivity. This variety at low temperatures during the flowering period when subjected to a sheet of water only 50 mm (intermittent irrigation). Similarly, when these varieties were subjected to a permanent flood irrigation system (200 mm water height), which generates a "buffer effect" at low temperatures, variety 112 was the one that presented the highest average yield with 156 qq ha<sup>-1</sup>, positioning Zafiro as the variety with the lowest yield for this water management condition with only 81qq ha<sup>-1</sup>. The implementation of an intermittent irrigation strategy would allow a significant reduction in the volume of water consumed during the season (approximately 50%), making the rice production system more sustainable by using short-cycle varieties such as 103 and MA042, highly tolerant to lack of water and low night temperatures during the micro-sporogenesis period of the crop (T° <12 ° C).

Keywords: *Oryza sativa* L., cold tolerance, short cycle, intermittence, yields.

## ÍNDICE

<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>3</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>4</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>5</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>10</b>
1.1. Hipótesis: .....	12
1.2. Objetivo general:.....	12
1.3. Objetivos específicos: .....	12
<b>2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>13</b>
2.1 Importancia del cultivo de arroz .....	13
2.1.1 Importancia económica mundial .....	13
2.1.2 Importancia económica en Chile.....	13
2.1.3 Superficie arroceras en Chile.....	14
2.1.4 Mercado externo.....	14
2.1.5 Variedades más producidas en Chile .....	15
2.2 Características botánicas del arroz .....	15
2.2.1 Razas del arroz .....	15
2.2.2 Características del ciclo productivo del arroz.....	16
2.2.3 Fenología del cultivo del arroz.....	16
2.2.4 Características del grano de arroz .....	17
2.2.5 Panícula .....	18
2.2.6 Cosecha del arroz .....	19
2.2.7 Sistema de cultivo del arroz .....	20
2.3 Consumo hídrico del cultivo de arroz .....	21
2.4 Mejoras en los sistemas de producción en arroz.....	21
2.4.1 Preparación de suelo e incorporación de enmienda calcárea .....	21
2.4.2 Sistema de siembra en seco y utilización de herbicidas residuales.....	22
2.4.3 Sistema de riego por intermitencia y utilización de variedades de ciclo corto .....	23
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>25</b>
3.1 Sitio experimental .....	25
3.2 Diseño experimental.....	25
3.2.1 Descripción general del sitio experimental .....	25
3.2.2 Descripción climática de la zona.....	27

3.4 Componentes del rendimiento .....	28
3.5 Análisis estadístico.....	28
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>29</b>
4.1 Análisis exploratorio de los tratamientos.....	29
4.3 Análisis de varianza para los tratamientos evaluados .....	32
4.3.1 Comparación entre variedades para cada sistema de riego .....	32
4.3.2 Comparación entre sistemas de riego para cada una de las variedades .....	36
4.3.3 Análisis multifactorial.....	39
<b>5. CONCLUSIÓN.....</b>	<b>42</b>
<b>6. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>44</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 3.1</b> Variedades implementadas y sus ciclos vegetativos.....	24
<b>Cuadro 4.1</b> Respuesta de las variedades sometidas a ambos sistemas de riego.....	34
<b>Cuadro 4.2</b> Comparación de los componentes del rendimiento sometidos a dos sistemas de riego en 5 variedades de arroz.....	37
<b>Cuadro 4.3</b> Análisis multifactorial entre variedades y tratamientos (PF y AWD).....	40

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.1:</b> Estructura del grano de arroz (Yoshida, 1981).....	18
<b>Figura 1.2:</b> Estructura de la espiguilla de arroz (Yoshida, 1981).....	19
<b>Figura 3.1:</b> Distribución del diseño experimental .....	26
<b>Figura 3.2</b> Temperaturas mínimas, máximas y precipitaciones mensuales, desde el 01 de noviembre al 31 de abril de las temporadas 2017/2018.....	27
<b>Figura 4.3:</b> Análisis de componentes principales para la totalidad de los datos recopilados en los dos tipos de riego implementados y todas las variables evaluadas en terreno.....	29

## 1. INTRODUCCIÓN

El arroz (*Oryza sativa*) es un cultivo que está presente en Chile desde el año 1925, comenzando a tener importancia comercial hacia fines de la década del treinta. Uno de los usos que se pensó para este cultivo fue la incorporación de una importante superficie de suelos marginales, que no tenían otra posibilidad de uso agrícola, tuvieran una alternativa productiva con el arroz, obteniendo además un retorno económico favorable (Alvarado & Grau, 1986).

La superficie empleada para el cultivo del arroz en Chile bordea las 24 mil hectáreas en la última década, con oscilaciones entre un máximo de 28 mil hectáreas durante la temporada 2005/06, y un mínimo de 20,9 mil hectáreas durante la temporada 2016/17 (Hernández *et al.*, 2017). La distribución de la superficie de producción se concentra principalmente en la región del Maule, generándose aproximadamente el 78% de la producción nacional. Otra zona importante donde se genera una oferta de este producto corresponde a las comunas de San Carlos y Ñiquén, en la región de Ñuble, aportando el 16% del total nacional.

Dentro de los elementos que caracterizan la oferta de arroz en el mercado nacional está el acotado número de variedades disponibles en el comercio interno. La mayoría de ellas proceden de las subespecies japónicas, debido a que las condiciones climáticas a las que se enfrentan en Chile no son aptas para variedades de tipo índica (por requerimiento de clima cálido). El consumo nacional de arroz elaborado bordea las 200.000 toneladas, abastecido en un 40% por la producción nacional (80.000 t). El 60% restante tiene procedencia de arroz importado, proviene principalmente de Argentina y, en menor proporción, de Tailandia, Paraguay, India e Italia, entre otros países que abastecen el consumo nacional (Fia-Odepa, 2018).

En una encuesta realizada a productores de arroz se consultó sobre las variedades utilizadas por ellos, dando como primer lugar la variedad Diamante-INIA. La distribución de la superficie de Diamante-INIA por comuna es de carácter asimétrica, con el promedio mayor en Retiro y la media más alta en Linares. Por otra parte, la segunda variedad en

importancia es Zafiro-INIA con una superficie promedio de 19,08 hectáreas. La distribución está conforme al tamaño del agricultor y muestra que Zafiro-INIA se distribuye con aproximadamente 27%, 43% y 30% del total de encuestados para tamaño grande, mediano y pequeño, respectivamente. Respecto a la distribución de superficies por comuna, la mediana y el promedio más alto se encuentran en Retiro, mientras que la mediana más baja en Linares (Paredes y Becerra, 2015).

En la actualidad, en Chile la producción de arroz se hace mediante condiciones de inundación desde que se siembra hasta la madurez. Esto trae consigo la utilización de grandes volúmenes de agua, pudiendo llegar a superar los 1,6 L/seg/ha. Se debe tener en cuenta que Chile posee un área de siembra promedio de 20 mil hectáreas utilizando 2 mil 500 millones de m<sup>3</sup> agua por año, lo cual se traduce en que se tiene una huella de agua que supera los 1.200 L/kg de arroz producido. El manejo del agua tiene un efecto directo en las variables de rendimientos, como también en el control de las malezas. La utilización de una lámina de agua de forma constante en el cultivo del arroz en Chile tiene las siguientes ventajas respecto a otros sistemas de secano, o de riego intermitente: obtención de un mayor rendimiento, mantener un control óptimo de las malezas y regulación de la temperatura del ambiente cercano al cultivo (Paredes y Becerra, 2015). Uno de los avances más recientes y que ha demostrado mayor éxito es un sistema de administración del agua denominado humectación y secado alternativo o alternate wetting and drying (AWD), este sistema presenta un enfoque que se basa en una inundación periódica durante el ciclo de producción de arroz con la finalidad de reducir el uso excesivo de agua y a la vez las emisiones de metano (CH<sub>4</sub>). Este sistema contempla la entrega suficiente de agua durante los periodos críticos del ciclo de producción, para evitar un impacto a futuro en el rendimiento y en la calidad del grano, estos ciclos serían durante el crecimiento vegetativo (macollamiento y alargamiento de tallo), el sistema entra en acción cuando el nivel de agua del suelo cae por debajo de los 15cm de la superficie del suelo (Oliver *et al.*, 2019). El sistema ya está siendo utilizado por agricultores de la zona. Sin embargo, se debe realizar un estudio más amplio al efecto que el sistema tendrá sobre variedades de ciclos cortos y largos. Además, si tendrá alguna limitante con el clima frío que se presenta en las zonas arroceras del país.

El cultivo del arroz al igual que muchos otros, posee ciertos requerimientos, siendo el principal el clima, cumple un rol fundamental en lograr un óptimo rendimiento a la cosecha. Por lo que se debe implementar una buena planificación de la siembra y tener un registro de las temperaturas de la región donde se produce este cultivo. Dentro de los factores climáticos se debe mencionar, la radiación solar y el viento que tienen una incidencia sobre el rendimiento del arroz, ya que afecta el crecimiento de la planta y el desarrollo fisiológico en la formación del grano. Estos factores afectarían de manera indirecta el rendimiento, bajo ciertas condiciones medioambientales incidirían negativamente sobre el daño causado por plagas y enfermedades (Chaudhary *et al.*, 2003)

### **1.1. Hipótesis:**

Los componentes del rendimiento en variedades de ciclo corto de arroz no se ven afectados de forma significativa ante una estrategia de riego por intermitencia.

### **1.2. Objetivo general:**

Evaluar el efecto del riego por intermitencia sobre los componentes del rendimiento en 5 variedades de arroz producidos en la zona centro-sur de Chile.

### **1.3. Objetivos específicos:**

- Determinar el impacto sobre la producción y calidad de granos en variedades de arroz de ciclo largo bajo un sistema de riego por intermitencia.
- Determinar el impacto sobre la producción y calidad de granos en variedades de arroz de ciclo corto bajo un sistema de riego por intermitencia.
- Evaluar la relación entre las variables respuesta del rendimiento en variedades de arroz de ciclo corto y largo bajo un sistema de riego por intermitencia.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Importancia del cultivo de arroz

#### 2.1.1 Importancia económica mundial

El arroz (*Oryza sativa* L.) se considera como uno de los principales cereales para alimentación humana en el mundo. Se diferencia significativamente del trigo ya que se consume el grano entero luego de pasar por un proceso de elaboración básica que consiste en remover las capas vegetales que lo protegen. La importancia del grano entero en el producto final a consumir se debe a sus cualidades culinarias y componentes nutricionales. La producción mundial de arroz está muy concentrada en Asia, siendo el comercio internacional muy reducido en relación con la producción total, con sólo un 8-9% del volumen mundial para este producto. La producción se concentraría casi en su totalidad a granos elaborados para el consumo humano (Hernández *et al.*, 2017).

#### 2.1.2 Importancia económica en Chile

De acuerdo con el Censo Agropecuario y Forestal que se llevó a cabo el 2017, se informó que en Chile la cantidad de hectáreas sembradas corresponde a 20.937ha de la temporada 2016/2017 (ODEPA, 2017). En Chile, se estima que hay alrededor de 1.500 productores de arroz, los que siembran aproximadamente 25.000ha. Con respecto a los demás países del mundo, Chile en el año 2009 se posicionó en el lugar N°81 en superficie, con 23.680ha, y N°70 en producción, con 127.311 toneladas. Los rendimientos del cultivo de arroz desde el año 2000 hasta el año 2011, fluctúan en promedio por sobre los 50 qq/ha (FAO, 2012). La producción se entrega en forma de arroz paddy (arroz que aún no se ha sometido al proceso de descascarado) a los grandes y medianos molinos arroceros, ubicados en las regiones del Maule y Biobío. En este mercado, las empresas que lideran el rubro son Tucapel y Carozzi, concentrando un 70% de la compra y comercialización del arroz producido en el país. Los molinos venden el arroz elaborado a empresas mayoristas y cadenas de supermercados nacionales y regionales, las que proveen el arroz al consumidor o al pequeño comercio. Además de la producción nacional, se importa

aproximadamente un 58% de las necesidades, la producción nacional no es capaz de cubrir la demanda interna. La importación la realiza el mercado mayorista, los supermercados y algunos molinos. La producción de arroz importado sigue la misma distribución que el arroz nacional (FIA, 2017).

### 2.1.3 Superficie arrocera en Chile

Chile se caracteriza por ser el lugar más austral del mundo donde se cultiva arroz. La producción nacional se distribuye desde la comuna de Linares en la región del Maule, hasta la comuna de San Carlos en la región del Biobío. La región del Maule concentra el 82,8% y 88,0% de la superficie sembrada y la producción en el país durante la temporada 2014/2015, respectivamente (FIA, 2017). La superficie dedicada al cultivo de arroz en Chile se sitúa en torno a las 24 mil hectáreas en la última década, con oscilaciones entre un máximo de 28 mil hectáreas durante la temporada 2005/06 y un mínimo de 20,9 mil hectáreas en la temporada 2016/17. Para la temporada 2017/18 se estima una recuperación cercana al 19% de la superficie sembrada respecto a la temporada anterior. De acuerdo con el INE, esta superficie representó un 3,1% del total de la superficie destinada a la producción de cultivos anuales en el país durante la temporada 2016/7 (Álvaro *et al.*, 2017).

### 2.1.4 Mercado externo

La producción de arroz en el país está en un proceso de búsqueda de tecnologías, para el mejoramiento de la rentabilidad del cultivo y para abrir la posibilidad de exportación de arroz elaborado hacia países con los que se tiene tratados de libre comercio (Rojas, 2006). De igual manera se han concretado negocios permanentes a una escala relevante. Estos esfuerzos se han concentrado en promover la exportación de arroz Diamante INIA, variedad que presenta características de grano largo y ancho, posee un sobreprecio de 40% en los mercados externos. Se han realizado numerosos esfuerzos para promover la exportación de arroz chileno, sin embargo, no se han obtenido los resultados esperados a una gran escala, por falta de acondicionamiento, almacenaje y molienda de arroz, siendo

considerados como factores claves para el éxito de un emprendimiento con tales características (FIA-Odepa, 2018).

#### 2.1.5 Variedades más producidas en Chile

La liberación de variedades de arroz comenzó en los años sesenta, luego de la creación de programas de fito mejoramiento tanto estatales como privados. Con el paso del tiempo, INIA se estableció como la única institución que efectúa esta labor. Las primeras variedades liberadas tienen como procedencia la selección de los diferentes tipos de material vegetal que conformaban el arroz que se producía en nuestro país, conocido como nacional. Ese proceso culminó con la variedad Oro que marcó una era en la producción arrocería, cubrió casi la totalidad de la superficie nacional durante algunos años (Alvarado, 2007).

En la actualidad cerca del 85% del arroz comercializado en Chile corresponde al arroz Diamante INIA, liderando por más de dos décadas las ventas en el mercado nacional. También se pueden encontrar las variedades Brillante INIA y Zafiro-INIA, de grano largo ancho, y Ámbar INIA, variedad glutinosa (FIA-Odepa, 2018). Introducir una nueva variedad era indispensable, por lo cual entró al mercado Zafiro-INIA, para posicionarse a futuro como el arroz de mayor consumo en Chile, reemplazando la variedad dominante en su momento, Diamante-INIA desde 1979 se mantuvo inalterable en la mesa de los consumidores nacionales. Zafiro-INIA presenta características tales como: grano largo, ancho, semitardío, con alto rendimiento de grano, resiste a tendadura, presenta menor altura y una mejor calidad industrial que Diamante-INIA. Esto hizo que su aceptación por parte de las industrias fuera más rápida (Cordero, 2018)

## **2.2 Características botánicas del arroz**

### 2.2.1 Razas del arroz

El arroz que se cultiva en el mundo se divide en tres razas eco-geográficas (*Indica*, *Japónica* y *Javánica*). Las Indicas representan el 80% del arroz cultivado en el mundo y

alimentan alrededor de tres mil millones de personas, sobre todo en países en desarrollo. Además, la raza Indica abarca el 69% de los canales de comercialización en el mundo. Los arroces del tipo glutinosos y Japónica, alcanzan un 2% y un 9%, respectivamente dentro del comercio mundial (Cordero, 2008). El arroz producido en Chile es del tipo Japónico, debido a que es un arroz que se adapta mejor a las condiciones de clima mediterráneo y tiene una mayor tolerancia a las bajas temperaturas nocturnas ( $<12^{\circ}\text{C}$ ) durante el período de floración y presenta mejores características organolépticas que el arroz del tipo Indico.

### 2.2.2 Características del ciclo productivo del arroz en Chile

Las variedades de arroz cultivadas en Chile cumplen su ciclo de desarrollo en aproximadamente 135 a 150 días desde el momento de la siembra hasta la madurez de cosecha, llevándose a cabo entre los meses de octubre a marzo. Durante este tiempo la planta desarrolla sus distintos estados fenológicos (vegetativo, reproductivo y llenado de grano). Los períodos de germinación, plántula y floración se ven fuertemente afectados por temperaturas bajo los  $20^{\circ}\text{C}$ . El potencial de rendimiento del cultivo se determina durante el estado de floración de la planta, y es durante este estado, en el que las bajas temperaturas nocturnas ( $< 12^{\circ}\text{C}$ ) producen pérdidas significativas para el productor y la industria arrocera (Alvarado, 2007). El arroz al verse enfrentado a temperaturas diurnas bajo los  $20^{\circ}\text{C}$  durante el estado de meiosis de las células madre del polen, trae consigo un alto porcentaje de esterilidad de espiguillas, lo que determina la producción de granos vanos (Yoshida, 1981). Las pérdidas por efecto de la esterilidad floral en Chile van entre el 10 y 12%, cifras cercanas al 13% informado para California y Australia, en años considerados fríos, con temperaturas medias inferiores a  $20^{\circ}\text{C}$  durante la floración, las pérdidas pueden alcanzar hasta un 60% (Alvarado, 1999).

### 2.2.3 Fenología del cultivo del arroz

Basado en el trabajo de Yoshida (1981), el cultivo del arroz por lo general demora de 3 a 6 meses desde la germinación hasta la madurez, considerando la variedad y el entorno en el que se cultiva (condiciones edafoclimáticas). Durante este período, el arroz completa

básicamente dos etapas distintas de crecimiento secuencial: vegetativo y reproductivo, las que se determinan mediante 4 fases:

**Fase 1.** Desde que se inicia la germinación del cultivo hasta el inicio de la formación de los macollos, siendo más evidentes en los primeros treinta días aproximadamente luego de realizada la siembra.

**Fase 2.** Parte desde la etapa de macollaje a inicio de panícula. El inicio de panícula es el momento en el cual se ha diferenciado esta y ocurre al momento en que comienza el macollaje en su punto máximo (este proceso ocurre de igual manera en la mayoría de los genotipos normales de arroz). Sin embargo, en los genotipos de ciclo corto puede ocurrir antes de que alcance el máximo número de macollos, pudiendo ocurrir a los 45 días aproximadamente, desde la siembra y cuando se lleva a cabo la elongación del entrenudo.

El inicio de panícula se visualiza a través de la disección de tallos, siendo posible observar una especie de cono blanco que va de 1 a 2 mm de longitud. El período en que ocurre este estado de desarrollo se define cuando aproximadamente el 50% de los macollos se encuentran en inicio de panícula.

**Fase 3.** Desde inicio de panícula hasta obtener el 50% de la floración.

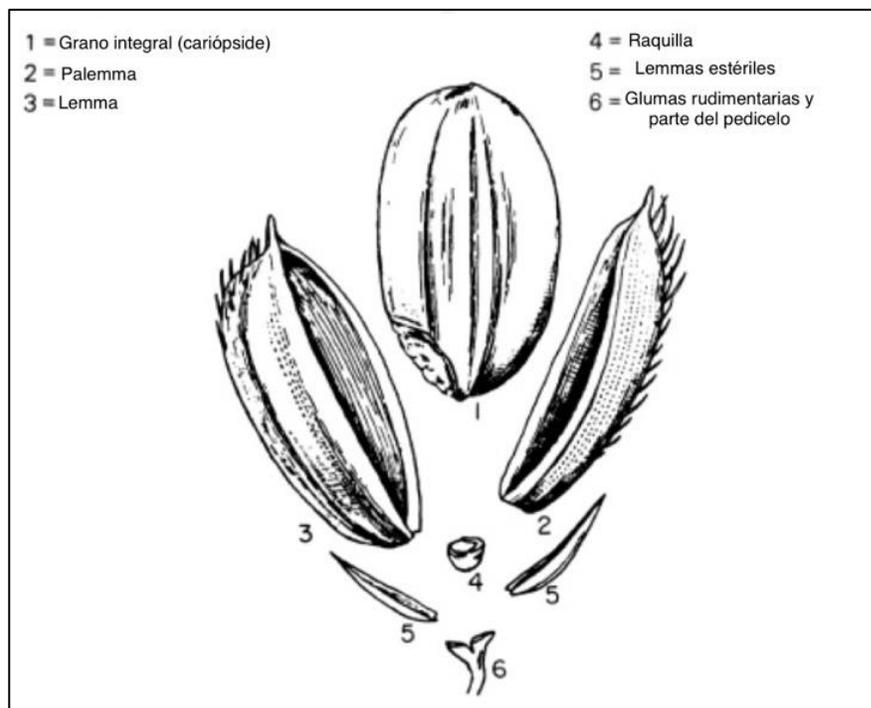
**Fase 4.** Corresponde al llenado de grano y ocurre desde que se tiene el 50% de la floración hasta madurez fisiológica.

Es importante destacar que tanto la fase 1 y 3 son los períodos en los que el cultivo del arroz es más susceptible al daño por bajas temperaturas, especialmente a temperaturas nocturnas inferiores a los 12°C (Yoshida, 1981).

#### 2.2.4 Características del grano de arroz

El grano de arroz que comúnmente es denominado semilla consiste en la verdadera fruta o arroz integral (cariósido) y el casco que encierra el arroz integral (arroz paddy) (Fig. 2.1). El arroz integral está compuesto en su mayoría por el embrión y el endosperma. La superficie contiene varias capas delgadas de tejidos botánicamente diferenciados que

encierran el embrión y el endosperma. La pálea, la lemma, las lemmas estériles y la raquilla son las capas que constituyen el casco de las variedades Indicas. Sin embargo, en el arroz de tipo Japonico, debido a que presentan la particularidad que no se rompe, el casco generalmente incluye glumas rudimentarias y se cree que quizás una porción del pedicelo. La lemma es más grande que la pálea, y cubre aproximadamente dos tercios de la superficie del arroz integral maduro. Los bordes de la pálea encajan dentro de los de la lemma para que el casco se cierre herméticamente. Un solo grano pesa aproximadamente entre 12 a 44 mg con un contenido de humedad de 0%. La longitud, ancho y grosor del grano puede variar ampliamente entre distintas variedades (Yoshida, 1981).

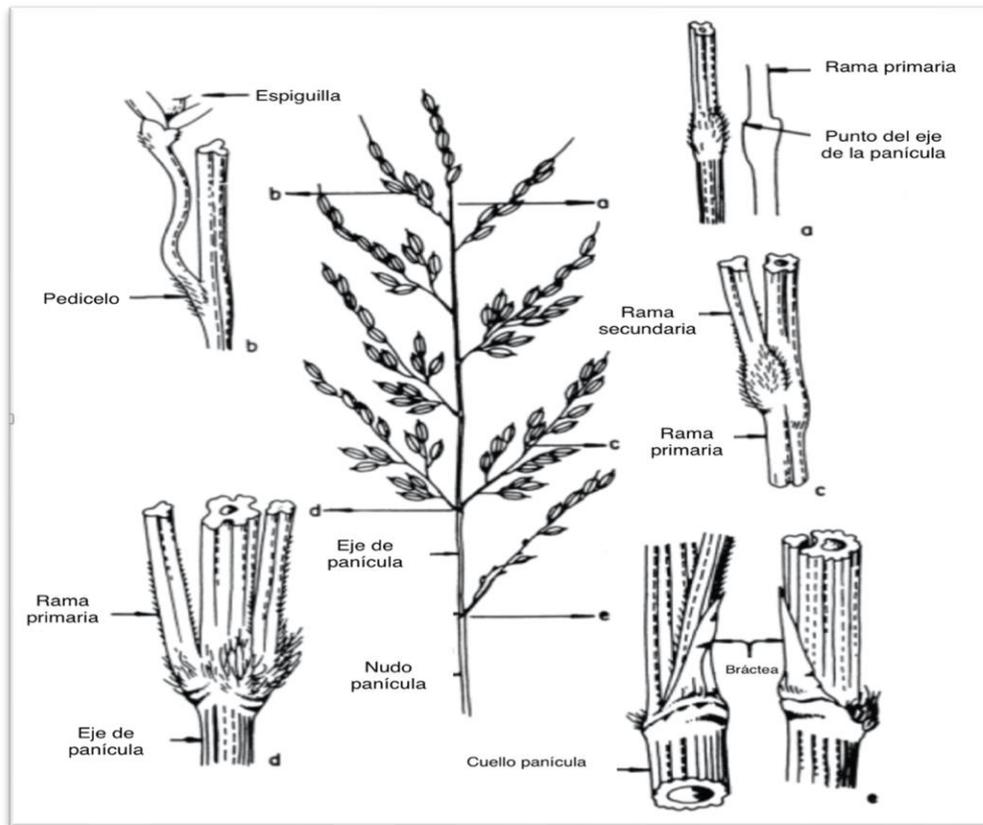


**Figura 2.1:** Estructura del grano de arroz (Yoshida, 1981).

### 2.2.5 Panícula

Los principales elementos de una panícula son la base, el eje, las ramas primarias y secundarias, el pedicelo, las glumas rudimentarias y la espiguilla. El eje de la panícula se extiende desde la base hasta el ápice de ésta. Tiene entre 8-10 nodos a intervalos de 2 a 4

cm aproximadamente, a partir de ellos se desarrollan las ramas primarias. A su vez, las ramas secundarias se desarrollan a partir de las ramas primarias. Los pedicelos se desarrollan a partir de los nodos de las ramas primarias y secundarias, sobre las cuales van las espiguillas (Fig.2.2). Por lo general, solo una rama primaria proviene de la base de la panícula, pero si se dan las condiciones favorables, como clima soleado o suelos fértiles, pueden emerger dos o tres ramas primarias de la base de la panícula (Yoshida, 1981).



**Figura 1.2:** Estructura de la espiguilla de arroz (Yoshida, 1981)

### 2.2.6 Cosecha del arroz

Durante muchos años en Chile se realizó esta labor mediante el método manual. En la última década, debido a que la mano de obra se ha hecho cada vez más cara y más escasa, se ha debido mecanizar esta actividad, la que consiste en utilizar una maquina automotriz de tipo autopropulsada. Las cosechadoras se caracterizan por traer consigo un ahorro considerable en mano de obra. Al momento de comparar el rendimiento de un hombre

contra el de una máquina automotriz, esta será capaz de cosechar hasta 8 ha de arroz en un día en condiciones semi-favorables, ya que en ciertos casos se verá enfrentada a campos muy arcillosos y con alta humedad de suelo que dificultará la labor, para ello será necesario la utilización de orugas, mientras que para cosechar de forma manual una hectárea se necesitarán aproximadamente 80 hombres por día (Alvarado, 2007). La velocidad de avance de una cosechadora es uno de los factores más importantes a tener en consideración para el funcionamiento eficiente de esta. De allí la necesidad de ajustar al tamaño de la máquina, el ancho del cabezal de corte, el rendimiento y las condiciones del cultivo. En cuanto al grano, es difícil de trillar, puesto que debe ser trillado con una humedad aproximada de 18 a 20%, para así obtener una buena calidad industrial (Hidalgo, 2017).

#### 2.2.7 Sistema de cultivo del arroz

Para el cultivo del arroz, el agua cumple un rol fundamental ya sea para el control de malezas, como en la regulación de bajas temperatura. Este último factor tiene mayor prioridad dada la susceptibilidad de la especie a las bajas temperaturas. En Chile, aproximadamente un 80 a 90% de la superficie utiliza el sistema de siembra con semilla pre-germinada e inundación permanente (lámina de agua constante superior a los 200 mm de altura). Bajo estas condiciones, el cultivo del arroz utiliza aproximadamente durante la temporada entre 14.000 a 18.000 m<sup>3</sup>/há de agua. Sin embargo, en la última década se ha empezado a utilizar el sistema de siembra directa, que permite un ahorro de agua importante en los primeros estados de desarrollo del cultivo. La producción de este cultivo se ha visto complicada debido a la escasez hídrica observada en la última década, principalmente en las etapas fenológicas de floración, formación y llenado grano, que son fundamentales en la producción de la planta. Adicionalmente existe poca conciencia en el uso eficiente del agua en el cultivo del arroz. Los sistemas de conducción de agua intra y extra predial son ineficientes. No existen acumuladores de agua en los predios, existiendo una alta dependencia del agua proveniente de ríos, embalses y en algunos casos de pozos profundos (Hidalgo, 2017).

### **2.3 Consumo hídrico del cultivo de arroz**

En el caso del arroz de regadío se pierde agua durante la temporada de cultivo, por medio de la transpiración, la evaporación y la percolación. Las pérdidas por percolación son las más variables. El consumo total de agua varía de 5,6 - 20,4 mm/día. Necesitándose en promedio aproximadamente 180 a 300 mm de agua/mes para producir una buena cosecha de arroz. En operación de campo, un total de 1.240 mm es un requerimiento promedio de agua para un cultivo de arroz bajo riego. Se obtiene la misma cifra si se supone que la duración del cultivo es de 5 meses, el requerimiento mensual de agua es de 200 mm. La preparación de suelo requiere de 200 mm de agua. Sin embargo, si la preparación del terreno demora más de 30 días, se podrían requerir entre 500 y 600 mm de agua (Yoshida, 1981).

### **2.4 Mejoras en los sistemas de producción en arroz**

#### 2.4.1 Preparación de suelo e incorporación de enmienda calcárea

A través de la historia de la producción de arroz, se ha implementado de forma más común la preparación de suelos en primavera. Se ha adquirido experiencia con el pasar del tiempo, esta época de labranza tiene gran dependencia del clima, ya que puede producir un atraso en la época de siembra y generando una disminución en los rendimientos. Una de las soluciones es realizar la preparación de suelos en verano, para ser terminados en primavera, con suelo friable. Dentro de las ventajas, la más importante es que permite al agricultor la posibilidad de sembrar en la época de más alta producción (Alvarado, 2007). Para hacer este sistema más eficiente, se ha estudiado que la aplicación de enmiendas calcáreas tiene un efecto positivo en la producción, ya que la acidez de los suelos se origina a partir de la presencia de altos contenidos de iones ácidos como lo son el  $Al^{+3}$  e  $H^+$ , estos iones reducen el pH e incrementan el nivel de acidez intercambiable, llegando a afectar el crecimiento de las plantas y la fertilidad del suelo (Espinoza y Molina, 1999). La acidez del suelo tiene un efecto en la disminución de la producción debido a los problemas que inciden en el sistema radical en las plantas de arroz, para resolver este problema, la técnica del encalado es la más apropiada y económica para corregir los

problemas de acidez y mejorar la producción de arroz (Molina, 2014). El encalado cumple la función de neutralizar la acidez causada por  $Al^{+3}$ ,  $H^+$ ,  $Fe^{+2}$  o  $Mn^{+2}$ , y además causa una respuesta favorable por parte de los cultivos como resultado del suministro de Ca y/o Mg (Valerio y Molina, 2012).

#### 2.4.2 Sistema de siembra en seco y utilización de herbicidas residuales

Los factores ambientales negativos que están afectando la sociedad actual como el cambio climático global, la escasez hídrica y la disminución del nivel de freático de las napas, generan un problema productivo importante para la producción actual de arroz, el aumento de la población, el costo de la mano de obra y el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero son algunos de las posibles razones que justificarían modificar el actual sistema productivo de arroz en nuestro país, mediante la introducción de sistemas de cultivo de arroz aeróbico, a través de la siembra directa con máquinas cerealeras, son más eficientes tanto en el uso del agua como de la energía. El sistema aeróbico de cultivo de arroz está creciendo como una práctica agrícola sustentable, generando ahorros significativos en mano de obra y energía, garantizando la seguridad alimentaria de este producto. La precocidad observada de siete a diez días del cultivo de arroz aeróbico en comparación con el arroz trasplantado en charcos (PTR), permite la siembra oportuna del cultivo, además de mejorar la disponibilidad de nutrientes y las condiciones del suelo. El arroz aeróbico necesita entre un 30 y un 51% menos de agua total para la preparación de suelo y dependiendo del tipo de suelo incrementa la productividad de este cultivo entre un 32 a 88%, con ahorro de mano de obra de 50% y un 50% menos de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en comparación con PTR. La falta de rendimiento estable y de variedades adaptadas de semillas para el sistema aeróbico es una limitación importante para lograr el máximo potencial de rendimiento esperado para este sistema (Sandhu *et al.*, 2019). Además, basado en el trabajo de (Esqueda, 2000). El control de malezas se efectúa mediante la aplicación de herbicidas de postemergentes que tiene como base el propanil y el 2,4-D. El propanil es un herbicida que no presenta acción residual, por lo general es necesario realizar al menos dos aplicaciones durante la etapa crítica de competencia con las malezas. La implementación de herbicidas preemergentes se ha visto limitado, ya que

su efectividad está condicionada al contenido de humedad y la preparación del suelo. Sin embargo, con la aplicación en postemergencia temprana de herbicidas residuales con mezclas con propanil, se tiene la ventaja de que con una sola aplicación se pueden controlar las malezas emergidas, evitando también nuevas emergencias de malezas. De esta manera, el propanil se ha mezclado con oxadiazón, piperophos, tiobencarbo y pendimetalina. El clomazone es un herbicida con una acción residual que se aplica en preemergencia o también en presiembra incorporado, obteniendo un excelente control de malezas gramíneas y algunas especies de hoja ancha. Este herbicida cumple su función hasta con condiciones de menor humedad que los herbicidas residuales antes mencionados, lo que permite adquirir las ventajas cuando el arroz se desarrolla en condiciones donde la humedad no puede ser controlada.

#### 2.4.3 Sistema de riego por intermitencia y utilización de variedades de ciclo corto

La producción tradicional de arroz requiere grandes volúmenes de agua, para producir 1kg de arroz se necesitan 2.500L de agua. Un tercio del agua dulce utilizada por la agricultura a nivel mundial es utilizada para regar el arroz. Si bien la transpiración del arroz a escala mundial equivale a la del trigo o la cebada (500-1000L de agua para producir 1kg de grano), el arroz pierde mucha más agua que los cultivos aeróbicos, a través, de los fenómenos de evaporación y percolación profunda debido al sistema de manejo utilizado en este cultivo, que es el sistema por inundación (Bouman, 2009). Para ayudar a reducir el consumo de agua durante su ciclo productivo, se han considerado la implementación de diferentes prácticas de manejo aeróbico para la producción de arroz en zonas donde el cultivo de arroz es tradicionalmente anaeróbico como el caso de Chile. Sin embargo, los rendimientos reducidos y los problemas de control de plagas (principalmente nematodos y malezas) asociados con el cultivo aeróbico deben ser abordados de manera simultánea. Un avance reciente en el manejo del riego en arroz es el denominado riego por intermitencia (AWD). El primer ciclo de riego por intermitencia se lleva a cabo a los 10-15 días después de realizado el trasplante y los ciclos continúan hasta el comienzo de la floración. El ciclo de riego por intermitencia (mojado y secado) consiste en aplicar una lámina de agua de 50 mm de altura para posteriormente dejar que esta humedad disminuya

hasta capacidad de campo, para posteriormente repetir nuevamente el ciclo de mojado y de secado en el suelo. La duración de cada uno de los ciclos dependerá de una serie de factores, incluida la velocidad de filtración del agua en el suelo, el clima y el tamaño de las plantas. AWD puede llegar a reducir el uso de agua de riego en arroz hasta en un 35%, aumentando a la vez el rendimiento de grano en un 10% en relación con el sistema de riego por inundación permanente. Esta práctica de manejo, además, mejoraría el estado nutricional del suelo y disminuiría el contenido de elementos tóxicos como el cadmio en un 20%, lo cual podría ser problemáticos para el cultivo del arroz en altas concentraciones (Price *et al.*,2013). Se han realizado ensayos en los cuales la implementación de variedades de ciclo largo o tradicional acompañadas de este sistema, no han tenido buenos resultados, por ende, solo ha presentado una respuesta positiva con variedades de ciclo corto, basado en el trabajo de (Perez & Castro, 2000). Estas nuevas variedades se caracterizan por un material muy vigoroso, que le permite competir favorablemente con las malezas, las hojas, aunque de color verde claro mantienen una senescencia lenta y la lígula está cortada. Las plantas son erectas con panícula de ejercicio completa, en algunas los granos se caracterizan por presentar barba corta y una vez descascarados son cristalinos, además ha demostrado tolerancia a la explosión de hojas. En Chile el Programa de Mejoramiento de Arroz de INIA (PMGA) tiene por objetivo desarrollar variedades de alto potencial de rendimiento, buena calidad, adecuada precocidad, lo que se traduce en variedades de ciclo corto, altura de planta, entre otras. Por lo tanto, el entender las bases genéticas de estas u otras características agronómicas es un desafío constante en el proceso de mejoramiento genético de los cultivos, incluido el arroz (Paredes y Becerra, 2015), este programa trata de crear variedades bajo el programa de INIA, en países como Italia, ya presentan sus variedades comerciales, un ejemplo de ellas es AGATA, la cual presenta un tamaño bajo con alta resistencia a la tendadura. El ciclo de cultivo es corto, lo que permite el uso después del tratamientos químicos o mecánicos para controlar malezas, puede ser sometida a condiciones de siembra subterránea e inmersión pospuesta, esta variedad demuestra adaptarse en los diferentes rangos con excelente capacidad de producción y alto rendimiento de procesamiento sin defectos (Magnaghi, 2012).

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Sitio experimental**

El estudio se llevó a cabo en el huerto comercial “El Almendro” ubicado en la comuna de Retiro, Región del Maule, Chile (35° 57’ S; 71° 47’ O), durante la temporada 2017/2018. El clima en la zona de Retiro es de carácter mediterráneo con estación seca marcada y prolongada entre los meses de noviembre a marzo. La temperatura promedio en invierno y en verano es de 8°C y 22.2°C, respectivamente, mientras que la precipitación promedio anual es de 1150 mm.

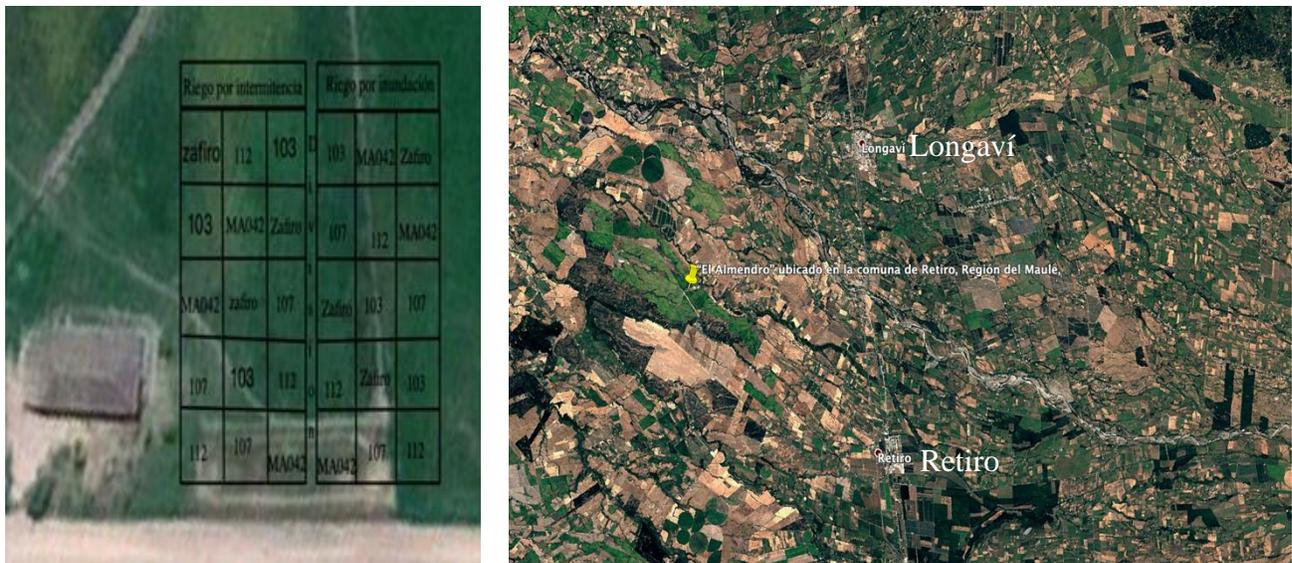
#### **3.2 Diseño experimental**

##### 3.2.1 Descripción general del sitio experimental

Para el ensayo se evaluaron 2 tratamientos de riego, los cuales fueron riego por inundación mejorado (mantención de la lámina de agua durante todo el desarrollo fenológico del arroz, evitando las pérdidas entre los pretilos) y riego por intermitencia (aplicación intermitente de una lámina neta de 5 cm, cada vez que el nivel de agua llega a capacidad de campo, hasta el periodo de macolla). En cada uno de los sistemas antes mencionados se evaluaron 5 variedades de arroz (Cuadro 3.1), las cuales fueron sembradas en seco. Para cada combinación de variedad y tratamiento de riego se consideró un cuadro productivo o pretil de 5 x 3 m (unidad experimental), el cual fue replicado 3 veces en un diseño completamente al azar (Figura 3.1). Los volúmenes de agua fueron manejados por el Fundo El Almendro, el cual dispuso de personal calificado a cargo de la reposición de las láminas de agua en cada tratamiento. En ambos tratamientos de riego se instalaron caudalímetros, los cuales permitieron determinar el consumo de agua para cada uno de los sistemas.

Los suelos donde se realizó el ensayo pertenecen a la SERIE VILLASECA, franco-arcillosa. Esta serie presenta cualidades de la familia fina, mixta, térmica, delgada de los

Mollic Endoaquepts. Son suelos que tienen un origen lacustrino, de textura franco-arcillosa y una tonalidad gris oscura en la parte superior, además de presentar una textura arcillosa densa, presentando una permeabilidad lenta y un escurrimiento superficial de mismas características, el nivel freático de estos suelos fluctúa entre los 20 a 40 cm en profundidad (CIREN, 1997).



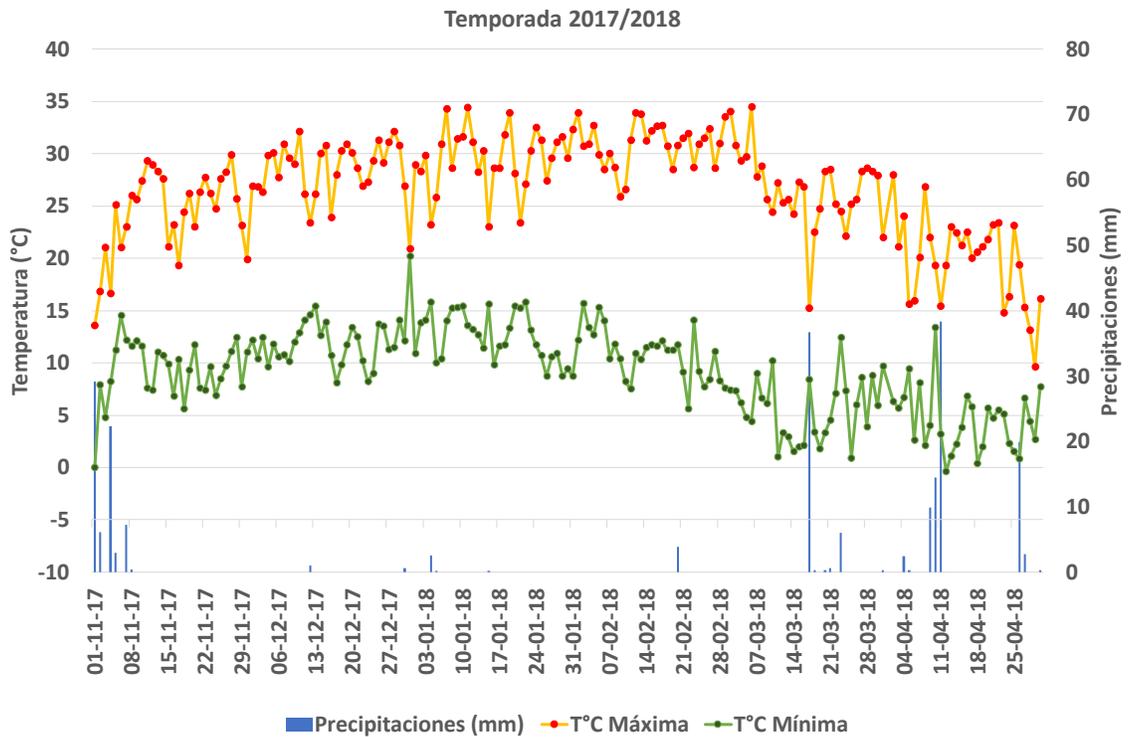
**Figura 3.1** Distribución del diseño experimental.

Variedad de arroz	Ciclo vegetativo
Zafiro	ciclo largo
112	ciclo largo
103	ciclo corto
107	ciclo intermedio
MA042	ciclo corto

**Cuadro 3.1** Variedades implementadas y sus ciclos vegetativos.

### 3.2.2 Descripción climática de la zona

El sector en el cual se llevó al cabo el ensayo corresponde a un clima mediterráneo con estación seca prolongada, es decir, con temperaturas cálidas y ausencia de lluvia durante la época estival y abundantes lluvias invernales. En verano, media de las temperaturas máximas en los meses más calurosos (diciembre-marzo) fluctúa entre los 29 y 31 °C, mientras que los meses de invierno la media de las temperaturas de 8°C, la precipitación media acumulada de la región es de 796 mm al año, presentando los meses más secos en diciembre y enero y la mayor cantidad de precipitaciones en junio (figura 3.2).



**Figura 3.2:** Temperaturas mínimas, máximas y precipitaciones mensuales, desde el 01 de noviembre al 31 de abril de las temporadas 2017/2018.

### **3.4 Componentes del rendimiento**

Para caracterizar los componentes del rendimiento se midió el peso de mil granos (PMG, g), el porcentaje de esterilidad ( $GV \cdot 100^{-GP}$ ), número de granos vanos por panícula (GV), número de panículas por  $m^{-2}$  ( $PM^{-2}$ ), número de granos por panícula (GP), número de granos llenos por panícula ( $GLL \cdot P$ ) y finalmente el rendimiento en campo (RG, kg/ha).

El número de panícula se determinó en la etapa de desarrollo R7 (estado pastoso) puesto que en esta etapa es más certera la diferenciación. Así de cada variedad se extrajeron las otras variables en etapa R9 (senescencia) en cada una de las parcelas experimentales, las cuales presentaban distintos sistemas de riego (AWD y PF), dichos ejemplares medidos fueron escogidos al azar, en el caso del rendimiento se extrapolaron los datos a la escala espacial de una hectárea.

### **3.5 Análisis estadístico**

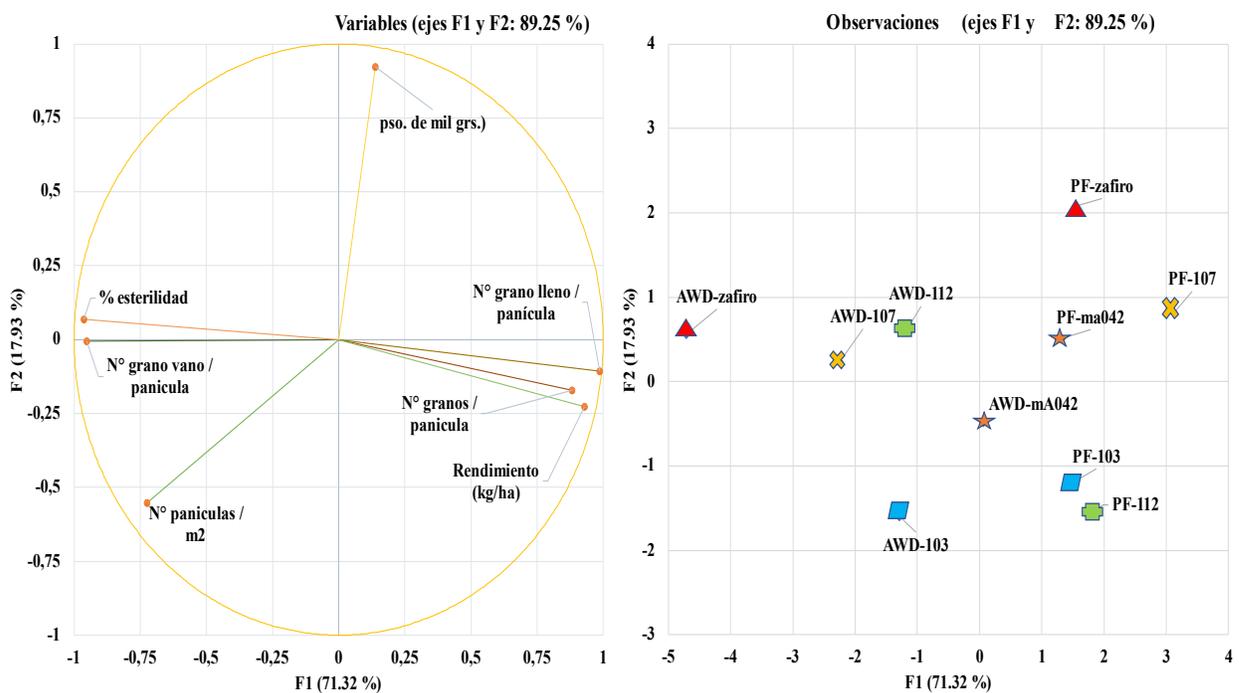
Para la interpretación de los datos se llevó a cabo un análisis de varianza (ANDEVA), con el software Statgraphics Centurion XVI. Posteriormente a este análisis se realizó una prueba de comparación múltiples de medias (Tukey  $<0,05$ ). Para la homogeneidad de varianza fue considerado la prueba de Levene, con  $valor\_p \geq 0,05$ .

Adicionalmente se realizará un análisis de componentes principales (ACP) para analizar las tendencias existentes entre las variables y el grado de correlación entre ellas. Este análisis fue realizado por medio del software XL-Stat, Excel 2016.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Análisis exploratorio de los tratamientos

En la figura 4.3, se presenta un análisis de componentes principales con la finalidad de evaluar el grado de correlación existente entre las variables analizadas para los dos tratamientos de riego (inundado mejorado e intermitencia) y las cinco variedades de arroz evaluadas.



**Figura 4.3:** Análisis de componentes principales para la totalidad de los datos recopilados en los dos tipos de riego implementados y todas las variables evaluadas en terreno.

Los ejes F1 y F2 representan el 71,32% y 19,93 de la variación total de los datos analizados, respectivamente. Ambos ejes de manera conjunta representan el 89,25% del

total de la variabilidad de los datos (figura 4.3). En estos resultados, se observa una alta correlación entre las variables (n° grano lleno/panícula, n° granos/panícula y rendimiento) y una alta correlación negativa o inversa con las variables de % de esterilidad y n° grano vano/panícula, mientras que la variable de peso de mil granos no muestra ningún tipo de correlación con las variables analizadas y estaría siendo explicada principalmente por el eje F2.

El eje F1 del análisis se correlaciona fundamentalmente con las variables n° grano lleno/panícula, n° granos/panícula y rendimiento, las que presentan una correlación directa entre ellas. Cabe señalar que se observa una correlación inversa con las variables de % esterilidad y n° grano vano/panícula, esto muestra que a una mayor cantidad de granos maduros y formados en la panícula habrá un menor número de granos vacíos o vanos, que disminuyan el rendimiento por planta.

Por otro lado, podemos observar que la variedad MA042 sometida a riego por intermitencia presenta una respuesta altamente correlacionada con las variables que componen el rendimiento industrial en arroz, esto debido a que el sistema de riego AWD genera modificaciones fisiológicas y bioquímicas en la planta de arroz (Sun *et al.*, 2012), aumentando la actividad metabólica de las raíces (Yang *et al.*, 2017) y aumentando la tasa fotosintética de las plantas (Zhang *et al.*, 2009).

Las variedades de ciclo corto muestran una mejor respuesta al sistema de siembra directa (siembra en seco), por lo que se observa un mayor n° de semillas germinadas por metro cuadrado (variedades MA042 y 103). La fisiología de estas variedades les permite desarrollarse de mejor forma bajo un sistema de riego por intermitencia que las variedades clásicas, siendo más eficientes productivamente al ser sometidas a bajos volúmenes de agua (riego por intermitencia). Debido a un ciclo de desarrollo vegetativo más reducido (30 días menos que las variedades tradicionales) las variedades de ciclo corto presentan una mayor tolerancia a las bajas temperaturas nocturnas durante la temporada, evitando pérdidas significativas de rendimiento, debido al aborto floral causado por bajas temperaturas nocturnas ( $< 12^{\circ}\text{C}$ ) durante el período de floración y llenado de grano.

Durante la fase reproductiva, el proceso de formación de polen requiere de 8 a 10 días con temperaturas mínimas superiores a los 12°C, para evitar de esta manera la producción de granos vanos en arroz (Olmos, S. 2007).

Variedades como Zafiro, 112 y 107, las cuales tienen un ciclo productivo más largos, presentaron una mayor sensibilidad a los daños por bajas temperaturas, teniendo como base 17° C (Paredes y Becerra, 2015). Por debajo de esta temperatura se genera una reducción significativa del potencial de rendimiento durante la etapa reproductiva, debido a la esterilidad floral. En condiciones normales de manejo hídrico (sistema de riego por inundación mejorado), esta variedad presenta un menor daño por bajas temperaturas nocturnas, debido a que el sistema de riego utilizado considera la implementación de una lámina de agua superior a los 250 mm, la cual genera un efecto buffer ante las condiciones adversas de bajas temperaturas nocturnas, evitando de esta manera el efecto negativo de las bajas temperaturas nocturnas.

El sistema de riego por intermitencia, en la medida que disminuye la lámina de agua, genera una mayor acumulación de ácido abscísico (ABA) en las raíces, lo cual provoca una disminución en la translocación de ABA a los macollos o brotes. Esto no se produce en variedades como zafiro manejadas bajo riego por inundación, ya que existe una constante hidratación, razón por lo cual la translocación de ABA no se vería interrumpida.

Al estar sometidas a condiciones de inundación, las variedades de ciclo corto no presentaron una respuesta óptima a dicho sistema de riego, debido a que en este medio se genera una deficiencia nutricional de micronutrientes detectada en el dispositivo experimental. Esto es causado por la condición de falta de aireación en el suelo y en la zona de la rizósfera de las plantas, correspondiendo a un problema típico en los sistemas de producción de arroz tradicionales en los cuales carecen de un intercambio de aire adecuado entre la atmósfera y el suelo, impidiendo que se realice una adecuada mineralización de la materia orgánica, la cual a su vez es la que activaría la movilización del nitrógeno en el sistema, debido al suministro de oxígeno en las raíces (Dodd *et al.*, 2015). Al respecto, las variedades tradicionales de arroz deben sus niveles de rendimientos

a las altas dosis de fertilizantes nitrogenados utilizados (principalmente urea), que deben ser parcializadas para mejorar su eficiencia y a pesar de ello esta no supera el 33%, mientras que el resto del fertilizante es lixiviado en forma de nitrato, haciendo altamente ineficiente este sistema.

El riego por intermitencia durante el período de reposición de agua se prolonga más allá de la capacidad de campo del suelo. Esta estrategia de manejo hídrico, afecta negativamente el proceso de llenado de granos en variedades de ciclo largo e intermedio, debido a que su fisiología limita la translocación de asimilados debido a la condición de menor riego (Pascual y Wang, 2017). Mientras que las variedades de ciclo corto poseen la cualidad genética y fisiológica que las mantiene hidratadas debido a sus raíces profundas, reduciendo el flujo de agua hacia los tejidos del tallo y hojas, durante la etapa posterior a la antesis. Así, la aplicación del sistema AWD aumenta significativamente la tasa de llenado de grano, debido al aumento de la actividad de oxidación de la raíz, aumentando la tasa fotosintética de la hoja bandera y la actividad de las enzimas encargadas de transformar la sacarosa en almidón durante la etapa de llenado de grano (Zhang *et al*, 2008; Chu *et al*, 2015).

### **4.3 Análisis de varianza para los tratamientos evaluados**

#### 4.3.1 Comparación entre variedades para cada sistema de riego

Con la finalidad de evaluar los componentes del rendimiento de 5 variedades de arroz sometidas a dos tratamientos de riego (inundado mejorado e intermitencia), se realizaron diversos análisis de varianza, evaluando la respuesta de los tratamientos de riego por separados, los cuales son presentados en los cuadros 4.1.

Dentro de las variables evaluadas, no todas (n° grano / panícula y n° panículas / m<sup>2</sup>) presentaron diferencias significativas entre los tratamientos (n° grano / panícula y n° panículas / m<sup>2</sup>) bajo el sistema de riego por intermitencia. Sin embargo, para las otras variables analizadas, el MA042 presentó una media superior al resto de las variedades en

relación a los componentes del rendimiento y al rendimiento final observado de 8.346 kg/ha, debido a la mejor respuesta fisiológica de esta variedad a las condiciones de manejo hídrico por intermitencia (volumen de agua reducido). Esto fue diferente a lo observado en la variedad Zafiro con un rendimiento promedio de 473 kg/ha bajo este sistema de manejo hídrico, debido a la alta sensibilidad que presenta esta variedad al riego por intermitencia. El resto de las variedades de arroz mostraron una respuesta intermedia en relación con el rendimiento, ya que al aumentar el número de granos llenos, disminuye el número de granos vanos por panícula. Sin embargo, en el caso del peso de 1000 granos, las variedades de ciclo largo mostraron valores más altos, debido a que Zafiro y 107 poseen un ciclo productivo más extenso que las otras variedades y en su genética el tamaño del grano es mayor (Paredes y Becerra, 2015).

Por otro lado, el porcentaje de esterilidad (cuadro 4.1) se ve afectado principalmente por las bajas temperaturas registradas durante el mes de marzo (figura 3.2 en materiales y método), donde en los primeros 15 días de ese mes se observó el 50% de la floración en la mayoría de las variedades de ciclo largo e intermedio evaluadas, mientras que las variedades de ciclo corto ya habían pasado el período de mayor sensibilidad para esa fecha. De esta manera, entre los principales efectos que generan las bajas temperaturas está la esterilidad floral. De acuerdo con la investigación realizada por Alvarado (1999), la etapa reproductiva es una de las más sensible en arroz, en donde las temperaturas medias menores a 20°C, tendrían un efecto negativo en el desarrollo y la viabilidad del grano de polen, generando una mayor esterilidad floral y mayor número de granos vanos.

**Cuadro 4.1** Respuesta de las variedades sometidas a ambos sistemas de riego

<b>Riego por intermitencia (AWD)</b>							
Variedad	Rendimiento	Peso	% esterilidad	Nº	Nº	Nº grano / panícula	Nº Panículas / m2
		1000 granos llenos		grano vano / panícula	grano lleno / panícula		
Zafiro	473,9c	33,4a	84,6c	45,0b	8,4d	53,3	915,5
103	5384,3b	27,5c	35,2ab	22,7a	41,9ab	64,4	764,0
107	3690,9b	31,9a	46,6b	26,1a	28,1c	53,8	778,0
MA042	8346,6a	30,4c	19,7a	13,1a	51,6a	63,5	694,0
112	4856,9b	31,9a	36,7b	20,9a	36,0bc	56,9	644,3
Sig.:	**	**	**	**	**	n.s.	n.s.
Valor-P:	0,000	0,000	0,000	0,0005	0,000	0,4277	0,106
<b>Riego por inundación mejorado (PF)</b>							
Variedad	Rendimiento	Peso	% esterilidad	Nº	Nº	Nº grano / panícula	Nº Panículas / m2
		1000 granos llenos		grano vano / panícula	grano lleno / panícula		
Zafiro	8128,48b	35,2a	13,7a	10,5a	63,4bc	73,9bc	431,6c
103	12303,0ab	29,7b	15,3a	13,2a	72,4bc	85,8abc	686,0bc
107	14185,5a	34,3a	8,4a	8,0a	88,6a	96,6a	520,0bc
MA042	12663,5ab	33,9a	12,0a	8,7a	62,8c	71,5c	679,0bc
112	15623,6a	30,3b	13,4a	12,4a	77,8ab	90,3ab	771,9a
Sig.:	**	**	n.s.	n.s.	**	**	*
Valor-P:	0,0028	0,0004	0,5044	0,5777	0,0004	0,0034	0,0191

Medias con letras mayúsculas diferentes en sentido vertical indican diferencia significativa ( $p \leq 0,05$ ) según prueba Tukey HSD.  $p \leq 0,05$  \*;  $p \leq 0,01$  \*\*; n.s. no significativo

Por otro lado, variedades de ciclo largo sometidas a una condición de riego por intermitencia tienden a presentar un menor potencial productivo, debido a una condición ambiental más estresante (menor potencial hídrico de planta), durante las etapas vegetativas y reproductivas del arroz. De acuerdo con Bouman (2012) las espiguillas que estén en proceso de polinización, al ser sometidas a una condición de estrés hídrico

(potencial hídrico  $< -1,8$  MPa) no abriría adecuadamente, evitando la liberación del polen, generando granos vanos que reducirían de manera significativa el índice de cosecha del arroz.

El sistema de riego por inundación ha sido implementado por muchos años por los productores de arroz, al igual que el uso de variedades de ciclo largo como Zafiro- INIA. Este sistema ha generado resultados aceptables hasta la fecha. Sin embargo, bajo una condición de suministro hídrico insuficiente (condición de cambio climático), este sistema se hace poco sustentable para la zona arrocerá de nuestro país.

En el caso de la variable de rendimiento bajo una estrategia de riego inundado optimizado, la variedad que obtuvo el mejor rendimiento fue 112 con 15.623 kg/ha y por el contrario la variedad que obtuvo el peor rendimiento fue Zafiro con una media de 8.128 kg/ha. De acuerdo con lo observado por Bouman *et al.*, (2006) las variedades modernas de mayor precocidad, al crecer en condiciones de inundación presentaron una mayor productividad del agua, con un rendimiento de granos de 2 kg/m<sup>3</sup> de agua consumida, mientras que la productividad del agua de las variedades tradicionales fluctuaron entre 1,1-1,4 kg/m<sup>3</sup> como máximo (Ricetto *et al.*, 2017).

Para el caso de las variedades de ciclo largo e intermedio, que dependen de una lámina constante de agua, al estar sometidas a una condición de estrés hídrico debido a una disminución del nivel de agua (riego por intermitencia), antes y durante la macolla, generaría una reducción significativa en el número de macollos/m<sup>2</sup> y también del número de panículas/m<sup>2</sup>. Toung & Bouman (2001) afirman que, en el caso de estar sometido a estrés por estas condiciones, la solución sería reponer la lámina de agua, para así volver a un estado en el cual se active el área foliar de la planta (fotosíntesis de hojas y tallos), con la finalidad de conseguir un equilibrio productivo. Esto provocaría una disminución en el número de macollas y panículas, lo cual se compensaría con un mayor peso de los granos, condición que fue observada en Zafiro, 107 y 112 en donde variables como el n° panículas/m<sup>2</sup> fueron inferiores y el peso de los 1000 granos fue mayor en comparación con las variedades de ciclo corto.

#### 4.3.2 Comparación entre sistemas de riego para cada una de las variedades

En el caso del cuadro 4.2, se evaluó la respuesta de los componentes del rendimiento de arroz en relación con dos sistemas de riego implementados en campo, para ello se utilizaron cuatro repeticiones por tratamiento, obteniendo los siguientes resultados:

**107:** Al ser una variedad de ciclo largo sus requerimientos fisiológicos hacen que sea indispensable el uso de grandes volúmenes de agua, bajo esta condición de manejo esta variedad presenta un rendimiento considerablemente alto. La variable de rendimiento bajo la condición de riego inundado optimizado (14.185,7 kg/ha) triplica al rendimiento observado en la condición de riego por intermitencia (AWD) la cual obtuvo un rendimiento de 3.690,9 kg/ha. Estas diferencias podrían explicarse debido al alto porcentaje de esterilidad observada en el tratamiento por intermitencia (46,6%) en comparación con el tratamiento de riego inundado optimizado (PF), debido a factores ambientales como la temperatura diurna y nocturna los cuales son controlados a través de una lámina de agua superior a los 200 mm. Además, esta variedad obtuvo diferencias significativas en las variables de llenado de grano y granos por panícula, ya que durante la etapa reproductiva no se observaron condiciones de falta de agua de riego, obteniendo una buena fertilidad de flores, disminuyendo de esta forma la cantidad de panículas vanas.

**103:** Esta variedad presenta un ciclo vegetativo corto que obtuvo una buena respuesta al sistema de riego inundado optimizado (PF), superando al sistema de riego por intermitencia (AWD) en 56% aproximadamente. Sin embargo, en condiciones en donde el suministro hídrico fuera escaso, se justificaría utilizar AWD, con la finalidad de generar un ahorro importante de agua (Nhãn *et al.*, 2016). El porcentaje de esterilidad es más alto en AWD en un 57% en comparación a PF, esto generaría un mayor número de granos vanos y menor cantidad de granos llenos a la vez. Esto se debe a que esta variedad presentaría una cierta susceptibilidad a las bajas temperaturas, sobre todo a las nocturnas.

**Cuadro 4.2** Comparación de los componentes del rendimiento sometidos a dos sistemas de riego en 5 variedades de arroz.

Var.	TTO.	Rendimiento	Peso	% esterilidad	Nº	Nº	Nº grano / panícula	Nº Panículas / m2
			1000 granos llenos		grano vano / panícula	grano lleno / panícula		
107	AWD	3690,98 b	31,962	46,625 b	26,075b	28,098b	53,825b	778,0
	PF	14185,7 a	34,285	8,325 a	8,0a	88,617a	96,612 <sup>a</sup>	520,026
Sig:		**	n.s.	**	*	**	**	n.s
		0,000	0,110	0,000	0,024	0,000	0,003	0,093
103	AWD	5384,27 b	27,483	35,175 b	22,7b	41,854b	64,437b	764,0
	PF	12303,0 a	29,675	15,225 a	13,15a	72,423a	85,75 a	686,0
Sig.:		**	n.s.	**	*	**	**	n.s.
		0,004	0,087	0,002	0,016	0,000	0,000	0,532
ZAFIRO	AWD	474,901 b	33,414	84,6 b	45,0a	8,369 b	53,256b	915,5a
	PF	8128,38 a	35,153	13,675 a	10,475b	63,393a	73,862 <sup>a</sup>	431,594b
Sig.:		**	n.s.	**	**	**	*	**
		0,000	0,338	0,000	0,000	0,000	0,016	0,001
MA042	AWD	8346,56 b	30,366b	19,675	13,1	51,64b	63,475	679,0
	PF	12663,5 a	33,89a	12,0	8,7	62,75a	71,45	694,0
Sig.:		**	**	n.s.	n.s.	**	n.s.	n.s.
		0,000	0,000	0,164	0,339	0,006	0,198	0,763
112	AWD	4856,88 b	31,927a	36,675 b	20,9a	36,044b	56,93b	644,346a
	PF	15623,6 a	30,276b	13,375 a	12,375a	77,848a	90,337 <sup>a</sup>	771,869a
Sig.:		**	*	**	n.s	**	**	n.s.
		0,000	0,040	0,002	0,093	0,000	0,006	0,143

Medias con letras mayúsculas diferentes en sentido vertical indican diferencia significativa ( $p \leq 0,05$ ) según prueba Tukey HSD.  $p \leq 0,05$  \*;  $p \leq 0,01$  \*\*; n.s. no significativo.

**Zafiro:** Esta variedad se ha utilizado durante varios años en la agricultura nacional como una de las variedades con altos potenciales de rendimiento y alta calidad industrial. Sin embargo, requiere de una serie de condiciones de manejo para su óptima producción, las

cuales se hacen cada vez más compleja de mantener en condiciones de baja disponibilidad hídrica. Así, bajo un sistema de riego permanente presenta un rendimiento de 8.128,4 kg/ha, el cual supera en un 94% al rendimiento obtenido el sistema de riego AWD (474,9 kg/ha). De acuerdo con lo observado por Paredes y Becerra (2015), Chile posee un área de siembra que bordea las 20 mil hectáreas de arroz, en las cuales se utiliza un promedio de 18.000 m<sup>3</sup> de agua por temporada lo cual tiene una huella que supera los 1.200 L/KG de arroz producido, posicionando al arroz como uno de los cultivos que utiliza más agua para poder ser producido. Al comparar Zafiro con el resto de las variedades producidas bajo el mismo sistema de riego es una de las con más bajo rendimiento. Las razones por las cuales Zafiro reduce su rendimiento, se debe al daño causado por las bajas temperaturas nocturnas registradas en la zona productora de arroz. Al comparar la variable de grano lleno con el resto de las variedades evaluadas, siguen siendo una de las más bajas, con 63 granos llenos por panícula, a su vez presentó el porcentaje más bajo de esterilidad bajo el sistema de riego AWD.

**MA042:** Esta variedad está clasificada como una de las más nuevas y posee características productivas mejoradas en comparación con variedades antiguas como Zafiro, que le permiten adaptarse mejor a las condiciones ambientales a las que se ve enfrentada la agricultura actual, ya que estas variedades permiten ahorrar agua entre 24 a 34% del total utilizado a nivel mundial (Bouman, 2009). Esta variedad tiene una productividad del agua de hasta 2 kg/m<sup>3</sup> (Bouman *et al*, 2006) que es significativamente mayor que las variedades de ciclo largo, presentando un peso de los 1000 granos de 30,4 g. en AWD, presentando diferencia de un 10,3% entre ambos sistemas, el que queda compensado por la reducción de agua como un factor primordial, así como la resistencia a las bajas temperaturas, tanto diurnas como nocturnas. A su vez, la cantidad de granos llenos por panícula es la más alta en comparación a las otras variedades producidas bajo el sistema de riego AWD (51,6 granos). Finalmente, cabe mencionar que las variedades tradicionales de arroz son sensibles al fotoperiodo (necesitan días cortos para inducir floración), y la mayoría de las variedades modernas de alto rendimiento son insensibles al fotoperíodo (Bauman, 2012).

**112:** Es una variedad de ciclo largo, por lo que su rendimiento se ve afectado directamente por la cantidad de agua utilizada durante su desarrollo fenológico. Al respecto, se observaron diferencia de rendimientos en un 68,9% siendo el sistema por inundación permanente el de mayor potencial (15.623,6 kg/ha). El peso de los mil granos es menor a la de una variedad de ciclo corto, siendo superior en el sistema AWD con 31,9 g, presentando una buena respuesta en el porcentaje de esterilidad (13,4%) bajo el sistema PF, esto debido a que las exigencias de estas variedades son una lámina de agua permanente para así tener un mayor control de las bajas temperaturas que afectan el desarrollo vegetativo y reproductivo de la planta de arroz. Donoso y Paredes (2013) mencionan que estas variedades se ven más afectadas, generando daños de retraso en el desarrollo de la planta, pérdida de plantas y esterilidad de flores (se evidencia en el sistema AWD con 36,7%). El sistema PF es también una vía para generar un mayor número de panículas, lo que favorece un mayor número de granos llenos por panículas 77,9.

#### 4.3.3 Análisis multifactorial

Para completar el estudio se llevó al cabo un análisis multifactorial. Para el factor variedades, la que mostró mayor rendimiento fue MA042 con 10.505 kg/ha, siendo un 59% más alto que Zafiro, presentando un rendimiento de 4301,6 kg/ha.

Zafiro es una variedad que se caracteriza por presentar un grano largo y ancho, por ende, al presentar una buena cuaja también muestra un alto peso de grano, así esta variedad obtuvo un peso de 34,4 gr en la variable de 1000 granos llenos, presentando el mayor valor entre las variedades evaluadas. Posteriormente le sigue MA042 con un peso de 32,1 gr, de peso para esta variable.

Dentro del porcentaje de esterilidad, sin duda MA042 presento el valor más bajo (15,8%), debido a la mejor tolerancia a las bajas temperaturas tanto diurnas como nocturnas (Donoso y Paredes, 2013). En el caso de variedades tradicionales como zafiro, las bajas temperaturas habrían generado una menor cantidad de granos llenos (35,9), y una mayor cantidad de granos vanos (27,7 por panícula).

**Cuadro 4.3** Análisis multifactorial entre variedades y tratamientos (PF y AWD)

Factor 1: Variedades							
Variedad	Rendimiento (kg/ha)	Peso 1000 granos lentos	% esterilidad	Nº grano vano / panícula	Nº grano lleno / panícula	Nº grano / panícula	Nº Panículas / m2
Zafiro	4301,6 b	34,3a	49,1c	27,7b	35,9b	63,6	673,6
103	8843,7 a	28,6c	25,2ab	17,9a	57,1a	75,1	725,0
107	8938,4 a	33,1ab	27,5b	17,0a	58,4a	75,2	649,0
MA042	10505,0 a	32,1ab	15,8a	10,9a	57,2a	67,5	686,5
112	10240,2 a	31,1b	25,0ab	16,6a	56,9a	73,6	708,1
<b>Sig.:</b>	<b>**</b>	<b>**</b>	<b>**</b>	<b>**</b>	<b>**</b>	<b>n.s.</b>	<b>n.s.</b>
<b>Valor-P:</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,0718</b>	<b>0,821</b>
Factor 2: Tratamiento (Riego).							
Tratamiento	Rendimiento (kg/ha)	Peso 1000 granos lentos	% esterilidad	Nº grano vano / panícula	Nº grano lleno / panícula	Nº grano / panícula	Nº Panículas / m2
AWD	4550,7 b	31,0 b	44,6 b	25,6 a	33,2 a	58,4 b	759,2 a
PF	12580,9 a	32,7 a	12,5 a	10,5 b	73,0 b	83,6 a	617,7 b
<b>SIG:</b>	<b>**</b>	<b>**</b>	<b>**</b>	<b>**</b>	<b>**</b>	<b>**</b>	<b>**</b>
<b>Valor-P:</b>	<b>0,000</b>	<b>0,002</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,002</b>
Factor A X B							
Interacción	Rendimiento (kg/ha)	Peso 1000 granos lentos	% esterilidad	Nº grano vano / panícula	Nº grano lleno / panícula	Nº grano / panícula	Nº Panículas / m2
<b>Interacción</b>	<b>**</b>	<b>*</b>	<b>**</b>	<b>**</b>	<b>**</b>	<b>*</b>	<b>**</b>
<b>Valor-P:</b>	<b>0,0057</b>	<b>0,0316</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,011</b>	<b>0,001</b>

Medias con letras mayúsculas diferentes en sentido vertical indican diferencia significativa ( $p \leq 0,05$ ) según prueba Tukey HSD.  $p \leq 0,05$  \*;  $p \leq 0,01$  \*\*; n.s. no significativo.

Para la interacción AXB, se observa una alta interacción entre ambos factores (variedad y tratamiento), mostrando que existen variedades que presentan una mejor respuesta a un tratamiento que otro, es decir presentan un alto grado de significancia. Para ser más específico, el rendimiento es mucho más alto en variedades que son producidas bajo un sistema PF, debido a que muestran una buena respuesta a mayores volúmenes de agua aplicada. El porcentaje de esterilidad, n° granos vano/ panícula, n° granos lleno/ panícula y panículas/m<sup>2</sup> son variables que están relacionadas entre sí, y en este caso mostraron un alto grado de significancia. Por otra parte, la limitante ambiental más significativa fue la temperatura y la disponibilidad de agua. De esta manera, la respuesta y viabilidad de los granos de polen depende de la temperatura atmosférica, la cual en la variedad Zafiro, solo puede ser mitigada con el uso de una lámina alta de agua, superior a los 200 mm (Paredes y Becerra, 2015). Esta condición disminuiría la esterilidad floral, logrando obtener una mayor cantidad de granos llenos y menor cantidad de granos vanos por panícula. Por otro lado, la variable de n° panículas/m<sup>2</sup> en variedades de ciclo corto al ser manejadas bajo un sistema de riego por intermitencia, se verían beneficiadas en comparación con las variedades de ciclo corto, aumentando la cantidad de panículas viables por m<sup>2</sup>, ya que estas variedades priorizan la generación de granos por sobre la producción de materia seca (Muhammad *et al*, 2020).

## 5. CONCLUSIÓN

- Dada la condición actual en la que se encuentra la zona arroceras de nuestro país, su producción y rendimiento dependen principalmente de la disponibilidad de agua de riego durante el período productivo, lo que define que la escasez hídrica sea el factor más determinante en la disminución del rendimiento de este cultivo. Debido a esta situación, el uso de variedades de ciclo corto bajo un sistema de riego por intermitencia permitiría ahorros entre 40 a 60% del agua utilizada, sin afectar significativamente el rendimiento de este cultivo y además permite adelantar la fecha de cosecha, evitando problemas operativos debido a precipitaciones otoñales tempranas en la temporada.
- Una estrategia complementaria que permitiría disminuir la esterilidad floral en variedades de ciclo intermedio o largo bajo un sistema de riego por intermitente (AWD), sería la implementación de siembras o plantaciones tempranas, evitando bajas temperaturas durante el mes de marzo, fechas en la cual se genera el proceso de floración del arroz que influye directamente sobre el rendimiento final de este cultivo.
- La utilización de variedades de ciclo corto en combinación con una estrategia de riego por intermitencia es una práctica interesante de implementar a nivel comercial en la industria arroceras chilena, ya que haría más sustentable su producción, considerando la condición actual de escasez hídrica que está sufriendo la zona arroceras de nuestro país.
- El riego por intermitencia es una tecnología prometedora, rentable y ecológica para el cultivo de arroz en Chile, que sería la solución para aquellas zonas arroceras que estén sufriendo una fuerte escasez hídrica.

- Bajo un sistema de manejo hídrico reducido (AWD), las variedades de arroz de ciclo corto presentan una mejor tasa de llenado de grano y de rendimiento que las variedades tradicionales de arroz utilizadas comercialmente en nuestro país (variedad Zafiro), debido a una mayor tolerancia a las bajas temperaturas ( $T^{\circ} < 12^{\circ}\text{C}$ ) y a condiciones de restricción hídrica durante el período más sensible del cultivo (período de floración del arroz).

## 6. BIBLIOGRAFÍA

Alvarado, R, 1999. Influence of air temperature on rice population length of period from sowing to flowering and spikelet sterility. Póster. In: 2nd Temperate Rice Conference, Sacramento, California, USA. 13-17 June. University of California, Davis, California, USA.

Alvarado, R. 2007. Arroz. Manejo tecnológico, Chillán, Chile, INIA, Boletín INIA N° 23. 180 p.

Alvarado, R. y Grau, P. 1986. El Cultivo de Arroz en Chile y sus Expectativas. De INIA, Chile. [En Línea]. Disponible: <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/apartado/NR12985.pdf>. Consultado el: 8 de Junio de 2020.

Bouman, A. 2009. How much water does rice use. Rice Today. [En Línea]. Disponible : <http://www.adron.sr/files/ricetoday---2009-01---vol08-nr01.pdf>. Consultado el 18 de julio de 2020.

Bouman, B. 2006. Performance of aerobic rice varieties under irrigated conditions in North China. Field crops research. [En Línea]. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378429005002261?via%3Dihub>

Bouman, B. 2012. Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua. FAO. [En Línea]. Disponible: <http://www.fao.org/3/i2800s/i2800s.pdf>

Bouman, BAM, Humphreys, E., Tuong, TP y Barker, R. 2006. Rice and water. Advances in Agronomy. [En Línea]. Disponible: [https://www.researchgate.net/publication/222682692\\_Rice\\_and\\_Water](https://www.researchgate.net/publication/222682692_Rice_and_Water)

Chaudhary, R. C. Nanda J.S., y Tran, D. V. 2003. Guía para identificar las limitaciones de campo en la producción de arroz. De FAO, Chile. [En Línea]. Disponible: <http://www.fao.org/3/y2778s/y2778s00.htm#Contents>. Consultado el: 6 de junio de 2020.

CIREN. 1997. Estudio Agrologico VII Region. De CORFO. [En Línea]. Disponible: <https://es.scribd.com/document/257055964/Estudio-Agrologico-VII-Region>. Consultado el: 18 de Agosto de 2020.

Cordero, K., Hernaíz, S., Saavedra, F., Pedreros, A., Madariaga, R., Hirzael, J., Vega, A. 2018. Variedad de arroz grano largo ancho ZAFIRO-INIA. INIA. [En Línea]. Disponible en : <https://www.inia.cl/semillasinia/files/2018/07/ZAFIRO.pdf>. Consultado el 05 de julio de 2020.

Cordero, L. K. 2008. Arroz glutinoso: Una alternativa para la exportación de arroz chileno. Informativo agropecuario Bioleche - INIA Quilamapu. 168:18-20. [En Línea]. Disponible en: <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/bioleche/NR35436.pdf>. Consultado el 7 de julio del 2020.

Dodd, I., Puértolas, J., Huber, K., Pérez, J., Wright, R., Blackwell, M. 2015. The importance of soil drying and re-wetting in crop phytohormonal and nutritional responses to deficit irrigation. Oxford Academic. [En Línea]. Disponible: <https://academic.oup.com/jxb/article/66/8/2239/497055>

Espinoza, J. & Molina, E. 1999. Acidez y encalado de los suelos. IPNI. [En Línea]. Disponible en: <http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/libros/Acidez%20y%20encalado%20de%20suelos,%20libro%20por%20J%20Espinoza%20y%20E%20Molina.pdf>. Consultado el 21 de julio de 2020.

Esqueda, V. 2000. Control de malezas en arroz de temporal con clomazone, solo y en mezcla con propanil y 2,4-d. Agronomía Mesoamericana. [En Línea]. Disponible en : <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=437/437111107>. Consulta 19 de Julio de 2020.

FAO. 2012. La situación de la producción arrocera en Chile. FAO. [En Línea]. Disponible: <http://www.fao.org/in-action/agronoticias/detail/es/c/509277/>. Consultado el 18 de julio de 2020.

FIA-ODEPA. (2018). Agenda de Innovación Agraria para la Cadena del Arroz en Chile. De FIA, Chile. [En Línea]. Disponible: [http://www.fia.cl/wp-content/uploads/2018/03/Agenda-de-Innovaci%C3%B3n-Arroz\\_2009.pdf](http://www.fia.cl/wp-content/uploads/2018/03/Agenda-de-Innovaci%C3%B3n-Arroz_2009.pdf). Consultado el: 6 de Junio de 2020.

FIA. (2017). Cadena del arroz en Chile. 07 de julio, 2020, de Fundación para la Innovación Agraria (FIA). [En Línea]. Disponible en: [http://www.fia.cl/wp-content/uploads/2018/03/Agenda\\_arroz.pdf](http://www.fia.cl/wp-content/uploads/2018/03/Agenda_arroz.pdf). Consultado el 7 de julio del 2020.

Hernández, A., Farías, C., Carbonell, C. 2017. La cadena del arroz en Chile. De ODEPA, Chile. [En Línea]. Disponible: <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2018/02/ARROZ2018Final.pdf>. Consultado el: 8 de Junio de 2020.

Hidalgo, M. 2017. Agenda para innovacion agraria para la cadena del arroz en Chile. Fundacion para innovacion agraria (FIA). [En Línea]. Disponible en : [http://www.fia.cl/wp-content/uploads/2018/02/Agenda\\_arroz\\_31-enero-Correcciones-Finales.pdf](http://www.fia.cl/wp-content/uploads/2018/02/Agenda_arroz_31-enero-Correcciones-Finales.pdf). Consultado el 07 de julio de 2020.

Magnaghi, R. 2012. XLV Relazione Annuale Anno 2012. Ente Nazionale Risi. [En Línea]. Disponible: [http://www.enterisi.it/upload/enterisi/bilanci/Relaz%20Riso%202012%20low\\_15916\\_131.pdf](http://www.enterisi.it/upload/enterisi/bilanci/Relaz%20Riso%202012%20low_15916_131.pdf). Consultado el 23 de julio de 2020.

Molina, E. 2014. Acidez de suelos y uso de enmiendas. CIA. [En Línea]. Disponible en: [http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/Nota%20t%C3%A9cnica%2012014\\_Acidez%20de%20suelos%20y%20uso%20de%20enmiendas.pdf](http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/Nota%20t%C3%A9cnica%2012014_Acidez%20de%20suelos%20y%20uso%20de%20enmiendas.pdf). Consultado el 21 de julio de 2020.

Muhammad, I., Muhammad, F., Usman, Z., Saddam, H., Nadeem, A., Ahmad, N. y Shakeel, A. 2020. Alternate wetting and drying: A water-saving and ecofriendly rice production system. ScienceDirect. [En Línea]. Disponible:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377420304017?via%3Dihub#sc0105>.

Nhãn, P., Hòa, L., Quí, C., Huy, N., Hữu, T., Macdonald, B., & Tường, T. (2016). Increasing profitability and water use efficiency of triple rice crop production in the Mekong Delta, Vietnam. *The Journal of Agricultural Science*, 154(6), 1015-1025. [En Línea]. Disponible: <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-agricultural-science/article/abs/increasing-profitability-and-water-use-efficiency-of-triple-rice-crop-production-in-the-mekong-delta-vietnam/2E6D0A2B57532C8427289A0358031AAF>

ODEPA. Ficha nacional información nacional. 2018. ODEPA. [En Línea]. Disponible: <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2018/07/Boletin-cereales-julio-2018.pdf>. Consultado el 23 de julio de 2020.

Oliver, V., Cochrane, N., Magnusson, J., Brachi, E., Monaco, S., Volante, A., Courtois, B., Vale, G., Yit Arn Teh, A. (1 de octubre de 2019). Effects of water management and cultivar on carbon dynamics, plant productivity and biomass allocation in European rice systems. *sciencedirect*. [En Línea]. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719326786>. Consultado el: 17 de Junio de 2020.

Olmos, S. 2007. Apunte de morfología, fenología, ecofisiología, y mejoramiento genético del arroz. UNNE. [En Línea]. Disponible: <https://www.acpaarrozcorrientes.org.ar/academico/Apunte-MORFOLOGIA.pdf>. Consultado el: 6 de Abril de 2021.

Paredes, M. y Becerra, V. 2015. Producción de Arroz: Buenas Prácticas Agrícolas (BPA). De INIA, Chile. [En Línea]. Disponible: <https://www.inia.cl/wp-content/uploads/2015/02/Manual-de-Arroz-PDF.pdf>. Consultado el: 6 de Junio de 2020.

Pascual, V. y Wang, Y. 2017. Utilizing rainfall and alternate wetting and drying irrigation for high 48áter productivity in irrigated lowland paddy rice in southern Taiwan. Plant production science. [En Línea]. Disponible: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/1343943X.2016.1242373>

Perez, N. & Castro, I. 2000. Report of new varieties A NEW SHORT CYCLE RICE VARIETY: INCA LP-5. EBSCOhost. [En Línea]. Disponible: <http://web.a.ebscohost.com.utralca.idm.oclc.org/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=6&sid=c3dd210b-7972-4423-b88b-157f1071c64d%40sdc-v-sessmgr02>. Consultado el 23 de julio de 2020.

Price, H., Norton, G., Salt, D., Ebenhoeh, O., Meharg, A., Meharg, C., Islam, M., Sarma, R., Dasgupta, T., Ismail, A., McNally, K., Zhang, H., Dodd, I., Davies, W. 1 de Agosto de 2013. Alternate wetting and drying irrigation for rice in Bangladesh: Is it sustainable and has plant breeding something to offer?. Wiley Online Library. [En Línea]. Disponible en : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/fes3.29#>. Consultado el 07 de julio de 2020.

Riccetto, S., Capurro, M. y Roel, A. 2017. Strategies to Minimize Water Consumption while Maintaining Productivity in Uruguayan Rice Production. Scielo. [En Línea]. Disponible: [http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2301-15482017000100109#:~:text=La%20productividad%20del%20agua%20de,alta%20productividad%20de%20la%20misma](http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2301-15482017000100109#:~:text=La%20productividad%20del%20agua%20de,alta%20productividad%20de%20la%20misma).

Rojas, G. 2006. El promisorio futuro del arroz. Pontificia Universidad Católica de Chile. [En Línea]. Disponible: [http://agronomia.uc.cl/component/com\\_sobipro/Itemid,232/fid,218.778/sid,87/task,download.file/](http://agronomia.uc.cl/component/com_sobipro/Itemid,232/fid,218.778/sid,87/task,download.file/). Consultado el 20 de julio de 2020.

Sandhu, N., Yadaw, R., Chaudhary, B., Prasai, H., Iftekharuddaula, K., Venkateshwarlu, C., Annamalai, A., Xangsayasane, P., Battan, K., Ram, M., Sta. Cruz, T., Pablico, P.,

Maturan, P., Raman, A., Catolos, M., Kumar, A. 2019. Evaluating the Performance of Rice Genotypes for Improving Yield and Adaptability Under Direct Seeded Aerobic Cultivation Conditions. *Frontiers in Plant Science*. [En Línea]. Disponible en : <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2019.00159/full>. Consultado el 07 de julio de 2020.

Sun, Y., Ma, J., Sun, Y., Xu, H., Yang, Z., Liu, S., Jia, X., Zheng, H. 2012. The effects of different water and nitrogen managements on yield and nitrogen use efficiency in hybrid rice of China. *Sciencedirect*. [En Línea]. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378429011003819?via%3Dihub>

Toung, P. & Bouman, B. 2001. Field water management to save water and increase its productivity in irrigated lowland rice. *Agricultural Water Management*. [En Línea]. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377400001281>

Valerio, J., Molina, E. 2012. Evaluación de una fuente de enmienda líquida en el rendimiento del arroz en un ultisol de la zona norte de costa rica. *Scielo*. [En Línea]. Disponible : <https://www.scielo.sa.cr/pdf/ac/v36n1/a07v36n1.pdf>. Consultado el 21 de Julio de 2020.

Yang, J., Zhou, Q., Zhang, J. 2017. Moderate wetting and drying increases rice yield and reduces water use, grain arsenic level, and methane emission. *Sciencedirect*. [En Línea]. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214514116300514?via%3Dihub>

Yoshida, S. 1981. *Fundamentals of rice crop science*. International Rice Research Institute, Los Baños, Laguna, Filipinas. 269 p.

Zhang, H., Xue, Y., Wang, Z., Yang, J., Shang, J. 2009. An Alternate Wetting and Moderate Soil Drying Regime Improves Root and Shoot Growth in Rice. *Crop Science*.

[En Línea]. Disponible: <https://scihub.se/https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2135/cropsci2009.02.0099>

Zhang, H., Zhang, S., Yang, J., Zhang, J., Wang, Z. 2008. Postanthesis Moderate Wetting Drying Improves Both Quality and Quantity of Rice Yield. Crop science. [En Línea]. Disponible: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2134/agronj2007.0169>