

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE AGRONOMÍA



**EVALUACIÓN AGRONÓMICA Y PRODUCTIVA DE ARROZ (*ORYZA SATIVA*
L.) BAJO DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO**

POR

NICOLÁS RICARDO RODRÍGUEZ MEJÍAS

**MEMORIA PRESENTADA A LA
FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO**

CHILLÁN – CHILE
2026

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EVALUACIÓN AGRONÓMICA Y PRODUCTIVA DE ARROZ (*ORYZA SATIVA*
L.) BAJO DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO**

POR

NICOLÁS RICARDO RODRÍGUEZ MEJÍAS

**MEMORIA PRESENTADA A LA
FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO**

**CHILLÁN – CHILE
2026**

Aprobada por:

Profesor Asistente, Miguel Garriga C.
Lic. Biología, Dr. Cs.

Guía

Profesor Asistente, Abdelhalim Khaled E.
Ingeniero Agrónomo, Dr. Cs.

Asesor

Investigadora, Karla Cordero L.
Ing. Agrónomo, Dr. Cs.
INIA Quilamapu

Asesor externo

Profesor Asociado, Manuel Faúndez S.
Ing. Agrónomo, Mg. Cs.

Decano

TABLA DE CONTENIDOS

	Página
Resumen	1
Summary	1
Introducción	2
Materiales y Métodos	5
Resultados y Discusión	8
Conclusiones	24
Referencias	25

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

	Página
Figura 1 Análisis de correlación de Pearson entre variables agronómicas, productivas y de calidad obtenidas en genotipos de arroz cultivados en condiciones de inundación.....	20
Figura 2 Análisis de Correlación de Pearson entre variables agronómicas, productivas y de calidad obtenidas en genotipos de arroz cultivados bajo riego por tendido.....	22
Tabla 1 Genotipos de arroz evaluados, incluyendo variedades comerciales y líneas avanzadas desarrolladas por el Programa de mejoramiento genético de arroz del Instituto de Investigaciones Agrícolas (INIA) de Chile.....	6
Tabla 2 Análisis de varianza de días de floración y altura de la planta evaluados en 19 genotipos de arroz en dos sistemas de cultivo.....	9
Tabla 3 Análisis de varianza de rendimiento de grano y porcentaje de grano entero, evaluados en 19 genotipos de arroz en dos sistemas de cultivo.....	11
Tabla 4 Análisis de varianza del peso de mil granos con cáscara y procesado, evaluados en 19 genotipos de arroz en dos sistemas de cultivo.....	13
Tabla 5 Análisis de varianza de largo de panícula y número total de granos por panícula evaluados en 19 genotipos de arroz en dos sistemas de cultivo.....	14
Tabla 6 Análisis de varianza del número de granos llenos por panícula y del porcentaje de esterilidad floral, evaluados en 19 genotipos de arroz en dos sistemas de cultivo.....	16
Tabla 7 Análisis de varianza de la blancura y la transparencia de grano en 19 genotipos de arroz en dos sistemas de cultivo.....	18

EVALUACIÓN AGRONÓMICA Y PRODUCTIVA DE ARROZ (*ORYZA SATIVA* L.) BAJO DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO

AGRONOMIC AND PRODUCTIVE EVALUATION OF RICE (*ORYZA SATIVA* L.) UNDER DIFFERENT CULTIVATION SYSTEMS

Palabras clave: rendimiento, calidad de grano, déficit hídrico.

RESUMEN

El arroz (*Oryza sativa* L.) es un cultivo de gran relevancia alimentaria y económica en Chile. Tradicionalmente, se cultiva bajo sistemas de inundación, lo que conlleva un elevado consumo de agua y supone un desafío ante la creciente escasez hídrica. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de dos sistemas de cultivo (inundación tradicional y riego por tendido) sobre las características agronómicas, productivas y de calidad del grano del arroz. Se estudiaron 19 genotipos, incluidos cinco cultivares comerciales de arroz blanco y 14 líneas avanzadas. Se evaluaron días a floración, altura de planta, número y peso de granos, porcentaje de esterilidad, rendimiento y calidad del grano. Los resultados mostraron diferencias significativas entre genotipos y sistemas de cultivo. En general, el sistema de inundación presentó mayores rendimientos y pesos de grano que el riego por tendido, en el que se incrementó la esterilidad floral y se redujo el porcentaje de granos enteros. Algunos genotipos, como Quila 295911 y Quila 295910, alcanzaron altos rendimientos y una buena calidad bajo ambas condiciones de riego, lo que evidencia su potencial para el cultivo en sistemas con menor disponibilidad de agua. Estos hallazgos sugieren que es posible avanzar hacia sistemas de producción de arroz más eficientes en el uso del recurso hídrico, sin afectar significativamente el rendimiento ni la calidad del grano.

SUMMARY

Rice (*Oryza sativa* L.) is a crop of great nutritional and economic importance in Chile. Traditionally, it is grown under flooded systems, which involve high water

consumption and represent a challenge in the face of increasing water scarcity. The objective of this study was to evaluate the effect of two cultivation systems (traditional flooding and furrow irrigation) on the agronomic, productive, and grain quality traits of rice. Twenty genotypes were evaluated, including five commercial white rice cultivars and 14 advanced lines. Days to flowering, plant height, number and weight of grains, percentage of sterility, yield, and grain quality were evaluated. Results showed significant differences between genotypes and cropping systems. In general, the flooding system yielded higher grain weights and produced higher yields than furrow irrigation, resulting in increased floral sterility and a decreased percentage of whole grains. Some genotypes, such as Quila 295911 and Quila 295910, achieved high yields and good quality under both irrigation conditions, indicating their potential for systems with lower water availability. These findings suggest that it is possible to move toward rice production systems that use water resources more efficiently without significantly affecting yield or grain quality.

INTRODUCCIÓN

El arroz (*Oryza sativa* L.) es una planta anual perteneciente a la familia de las gramíneas (Poaceae) y originaria del sudeste asiático (Khush, 1997; Vaughan *et al.*, 2008). Se divide en dos subespecies: indica, que se cultiva en climas tropicales y subtropicales y tiene un grano mediano a largo y fino, y japonica, adaptada a diferentes condiciones climáticas, que se cultiva en ambientes fríos y secos, a mayor altitud o latitud, y presenta un grano largo y ancho. Además, existen cinco tipos de arroz: japonica tropical, japonica templado, indica, aus y aromático (Cordero y Saavedra, 2011; Paredes *et al.*, 2021a). En Chile se produce el arroz de tipo japonica templado, que se adapta mejor a las condiciones climáticas locales (Paredes y Becerra, 2015).

El arroz es uno de los cultivos más importantes del mundo, un alimento que forma parte de la dieta básica en muchos países de Asia, África y América Latina, y cuya producción y consumo son fundamentales para la seguridad alimentaria y la nutrición de millones de personas (ERS, 2025). A nivel mundial, se cultiva en una superficie de alrededor de 168,4 millones de hectáreas, con una producción de

aproximadamente 800 millones de toneladas y un rendimiento global de $4,75 \text{ t ha}^{-1}$. A nivel mundial, los principales productores de arroz son China, India, Bangladesh, Indonesia y Vietnam (ERS, 2025). El consumo anual mundial es de aproximadamente 55 kg por cápita (OECD/FAO, 2021), mientras que en Chile es de aproximadamente 10 – 11 kg al año (Espinoza, 2018).

Este cereal se introdujo y se produjo en Chile desde la década de 1920, inicialmente como un cultivo de poca importancia y, una década más tarde, empezó a tener valor comercial y alimenticio a nivel local, apareciendo por primera vez en las estadísticas nacionales en el año 1937 (Cordero y Alvarado, 2007). Gracias a este cultivo, superficies de suelo consideradas “sin valor agrícola” o “marginales” se transformaron en zonas de producción intensiva y de mayor opción económica (Alvarado y Grau, 1986). Ello se debe a que el arroz se cultiva principalmente en suelos arcillosos (16 % a 42 % de arcilla en la estrata superficial), con bajo contenido de materia orgánica, deficiencias de N, P y K y problemas de drenaje que dificultan el establecimiento de otros cultivos (Alvarado, 2007).

En Chile, durante la temporada 2024/2025 se cultivaron 19.156 ha, en las que se produjeron 130.428 toneladas de arroz, con un rendimiento país de $6,81 \text{ t ha}^{-1}$ (ODEPA, 2025). La región con mayor superficie y rendimientos es la del Maule, seguida por Ñuble, con superficies de 14.788 y 4.368 hectáreas y producciones de 102.629 y 27.799 toneladas, respectivamente (ODEPA, 2025). Actualmente, la producción nacional cubre alrededor del 40 % de la demanda; el resto se importa, principalmente de Argentina, Paraguay y Uruguay (Soto, 2022).

La producción de arroz en Chile ha experimentado fluctuaciones en los últimos años; por ejemplo, la producción de la última temporada fue 19 % mayor que el promedio de las tres temporadas anteriores, aun cuando la superficie solo se incrementó en 2,6 %, debido a un aumento del rendimiento del 14,9 % (ODEPA, 2025). Especialmente, en la temporada 2021/2022 hubo una disminución notoria del rendimiento ($4,86 \text{ t ha}^{-1}$) debido, entre otros factores, a un clima adverso caracterizado por variaciones de temperatura, baja acumulación de grados-día y disminución de las precipitaciones, lo que ocasionó escasez de agua para riego (Soto, 2022).

Al ser el arroz una planta de origen tropical-subtropical, es susceptible a bajas temperaturas, lo que puede retrasar la germinación, el crecimiento y el desarrollo del cultivo, así como dañar el óvulo y el polen, con efectos negativos en la polinización y la fertilización, la producción y la calidad de los granos (Alvarado, 2007; Paredes y Becerra, 2015). Por otro lado, el arroz es una planta semiacuática, lo que implica un alto consumo de agua en su cultivo.

En Chile se utilizan dos sistemas de siembra que difieren en el volumen de agua empleado. En el método más utilizado (80 % del total de la superficie sembrada), se emplea semilla pregerminada sobre suelo inundado, mientras que el otro método consiste en la siembra directa en suelo seco. En el primer sistema, luego de la preparación de suelo se realiza rápidamente el llenado de cuadros, inundando con una lámina de agua de 5 cm de altura, la cual se va aumentando de acuerdo con el crecimiento del cultivo y desde macolla hasta cercano a la madurez fisiológica del grano la lámina se mantiene de 10 a 20 cm de altura (Paredes *et al.*, 2021). Si bien con este sistema se logra mejor control de malezas y regulación de la temperatura del ambiente cercano al cultivo (Paredes y Becerra, 2015), se utilizan grandes volúmenes de agua, que pueden incluso superar los 20.000 m³ ha⁻¹. En el segundo método, se siembra directamente en el suelo con una máquina sembradora. En los primeros 25 a 30 días después de la siembra no se inunda la superficie, sino que solo se efectúan riegos para ayudar a la germinación de las semillas y la posterior emergencia de las plantas (2 o 3 riegos dependiendo del tipo de suelo y de las condiciones climáticas de la temporada), con lo cual se ahorra sobre un 20 % de agua con respecto al sistema pregerminado (Paredes *et al.*, 2021).

Uno de los principales desafíos de la agricultura chilena es producir arroz con menos agua, dada la situación de déficit hídrico que enfrenta el país, en gran medida como consecuencia del cambio climático. En los últimos años, la disponibilidad de agua para riego ha disminuido entre un 20 % y un 40 % debido a la “megasequía”, provocada por la menor acumulación de nieve en la cordillera y del agua en los embalses (Garreaud *et al.*, 2021), desde donde proviene el 90 % del agua utilizada en los cultivos de arroz. El aumento de la temperatura del aire provoca el desplazamiento de la isoterma 0 hacia mayores alturas, lo que reduce la superficie

andina que recibe nieve y, por tanto, la disponibilidad y las reservas de agua, intensificando así la sequía (MMA, 2017; DGAC, 2024).

Las condiciones de déficit hídrico o la falta de agua suficiente para satisfacer las demandas del cultivo pueden generar impactos negativos al inducir estrés hídrico. Este provoca el cierre de los estomas, lo que limita la capacidad de la planta para realizar fotosíntesis y producir energía, además de reducir las tasas de transpiración y el enfriamiento por evaporación. Como consecuencia, aumenta la temperatura foliar, lo que afecta negativamente el crecimiento y el desarrollo de la planta, comprometiendo el proceso de formación de granos, así como su calidad, valor nutricional y rendimiento (López *et al.*, 2018; Ruiz *et al.*, 2020; Barraza *et al.*, 2021).

La producción de arroz en Chile se basa en su totalidad en cultivares desarrollados por el Programa de Mejoramiento Genético de Arroz (PMGA) del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Este tiene como objetivo mejorar la competitividad del sector arrocerero, contribuyendo a su diversificación y a la consolidación de nuevas alternativas productivas, así como al incremento de su productividad, mediante el desarrollo de variedades adecuadas a las condiciones locales que posean alto potencial y estabilidad de rendimiento y calidad industrial del grano, tolerancia a estreses abióticos, como bajas temperaturas, y buena eficiencia en el uso del agua y de nutrientes (FIA, 2017).

Por ello, actualmente el PMGA está evaluando el desempeño de diferentes genotipos en condiciones de déficit hídrico, con el objetivo de desarrollar variedades con alta productividad y más eficientes en el uso del agua y, por otro lado, evaluar diferentes métodos de riego que permitan obtener un buen rendimiento de grano, pero con una disminución del consumo de agua, recurso cada vez menos disponible para el cultivo. Con base en estos antecedentes, este estudio tiene como objetivo evaluar el efecto de diferentes sistemas de cultivo sobre parámetros agronómicos, productivos y de calidad del grano del arroz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal, diseño de ensayos y manejo del cultivo

Un panel de 19 genotipos de arroz, que incluye 5 cultivares y 14 líneas del PMGA del INIA (Tabla 1), fue evaluado durante la temporada 2022–2023 en la Estación experimental del arroz de INIA ubicada en San Carlos (36°25'49" S, 72°0'25" W; 161 m.s.n.m.), Región de Ñuble. El germoplasma se evaluó en condiciones de riego tradicional, bajo inundación, y mediante riego por tendido.

Tabla 1. Genotipos de arroz evaluados, incluyendo variedades comerciales y líneas avanzadas desarrolladas por el Programa de mejoramiento genético de arroz del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) de Chile.

N°	Genotipo	Tipo grano		Observaciones
1	Zafiro	Largo	Ancho	Testigo
2	Cuarzo	Largo	Ancho	Testigo
3	Esmeralda	Largo	Ancho	Testigo
4	Platino	Mediano	Ancho	Testigo
5	Jaspe	Largo	Ancho	Precoz
6	Quila 300502	Largo	Ancho	Grano pesado
7	Quila 295911	Mediano	Ancho	
8	Quila 295910	Mediano	Ancho	
9	Quila 303011	Largo	Ancho	
10	Quila 303012	Mediano	Ancho	
11	Quila 305801	Largo	Ancho	
12	Quila 313301	Largo	Ancho	Grano pesado
13	Quila 298239	Largo	Ancho	Grano pesado
14	Quila 323109	Largo	Ancho	Precoz
15	Quila 321905	Mediano	Ancho	Precoz
16	Quila 323005	Largo	Ancho	Precoz
17	Quila 303103	Largo	Ancho	Precoz
18	Quila 320905	Largo	Ancho	
19	Quila 327501	Mediano	Ancho	Precoz

En cada condición, los genotipos se distribuyeron en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Cada parcela contó con 7 hileras de 3 m de largo, con 0,3 m de separación entre hileras y 0,5 m entre parcelas. El manejo del suelo previo al establecimiento del ensayo, así como la fertilización y el control de malezas, se realizaron de manera convencional (Paredes y Becerra, 2015). En el cultivo tradicional bajo inundación se utilizó una dosis de siembra de 140 kg ha⁻¹,

mientras que en la condición de riego tendido se usó una dosis de 70 kg ha⁻¹. En ambos casos la siembra se realizó de manera directa.

En las plantas cultivadas bajo inundación tradicional, la humedad del suelo se mantuvo cercana a la capacidad de campo hasta que las plantas alcanzaron 2,5 hojas, posteriormente, se mantuvo con lámina de agua durante todo el ciclo del cultivo, la cual se reguló en función del estado fenológico de las plantas. Inicialmente se aplicó una lámina de 5–10 cm y, al finalizar la macolla, esta se aumentó a 10–20 cm de altura, manteniéndose así hasta el estado de grano lechoso, en el que se retiró el agua de los cuadros. En las plantas bajo riego por tendido, el agua se reguló en función de la emergencia de las plantas y del contenido de agua del suelo. Se mantuvo la humedad en el suelo hasta que las plantas alcanzaron 2,5 hojas; posteriormente, y hasta que se completó el llenado de grano, el riego se realizó cada 8 días a capacidad de campo, sin desaguar al regar.

Variables agronómicas y productivas

Días desde la siembra hasta la floración: Se contó el número de días desde la siembra hasta la floración; 50 % de las plantas de la parcela en antesis.

Altura de la planta: Se midió desde la superficie del suelo hasta la punta de la panícula más alta, en estado de madurez fisiológica.

Número total de granos por panícula: Se contaron todos los granos de la panícula, ya sean llenos, vacíos, verdes, etc.

Número de granos llenos por panícula: Se registró el número de granos llenos por panícula, considerando únicamente dichos granos.

Porcentaje de esterilidad: Se cuantificó con base en el número de granos fértiles (llenos) y de granos estériles (vacíos) por panícula.

Peso de mil granos: Se tomaron 1000 granos bien desarrollados, con contenido de humedad del 15 %, y se pesaron en una balanza de precisión. Se determinó el peso tanto de los granos con cáscara como de los granos procesados.

Rendimiento industrial: El porcentaje de grano entero pulido se obtuvo a partir de cien granos limpios utilizando un molino de ensayo (MT, Suzuki Co., Shizuoka, Japón).

Blancura y transparencia del grano: Se obtuvieron a partir de cien granos pulidos con el Rice Milling Meter MM1D (Satake, Japón).

Análisis estadístico

El análisis estadístico de las variables agronómicas, productivas y de calidad se realizó mediante el análisis de varianza (ANOVA) para los genotipos y la prueba t para muestras independientes en los sistemas de cultivo. Previo al análisis, se verificó el cumplimiento de las premisas de un análisis paramétrico: normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk y homocedasticidad mediante la prueba de Levene. Las diferencias entre las medias de los genotipos se establecieron mediante la prueba de diferencia mínima significativa (DMS) con un nivel de confianza del 95 %. En los casos en que no se cumplieron los supuestos, se utilizaron las pruebas no paramétricas de Kruskal-Wallis y de Mann-Whitney. Adicionalmente, se realizaron análisis de correlación de Pearson. Todos los análisis se realizaron con el software Statgraphics XV (StatPoint Inc., EE.UU.).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El estudio evidenció diferencias estadísticamente significativas entre genotipos en ambos sistemas de cultivo, así como entre sistemas de cultivo en los días a floración (Tabla 2). En el sistema tradicional bajo inundación (IND), la duración fluctuó entre 81 y 112 días; el genotipo Quila 298239 fue el más precoz y el cultivar Platino, el más tardío, aunque este no se diferenció de otros tres cultivares comerciales. En el sistema bajo de riego tendido (RT) se registró un rango de 103 a 136 días, siendo nuevamente Quila 298239 el más precoz y Platino el más tardío. Lo cual corresponde a que Platino es una variedad semitardía, para la cual se reportan aproximadamente 124 días de siembra a floración. En cuanto a los tratamientos, RT retrasó significativamente la floración en 21 días con respecto a IND, registrando promedios de 121,6 y 100,5 días, respectivamente.

Estos resultados sugieren que las condiciones de estrés hídrico tienden a retrasar la fenología del arroz, en concordancia con lo reportado por Ramírez (2002), y destacan la importancia de considerar tanto la etapa fenológica en la que

se produce la limitación hídrica como la gestión del agua en el cultivo (Zampieri *et al.*, 2023).

Tabla 2. Días de floración y altura de la planta evaluados en 19 genotipos de arroz en dos sistemas de cultivo.

Genotipo	Días a floración (días)		Altura de planta (cm)	
	Inundado	Riego	Inundado	Riego
Zafiro	111,3±1,5 a	134,7±0,6 ab	83,3±9,0 bcdefg	94,0±9,7 abc
Cuarzo	111,0±1,7 ab	131,7±3,8 bcd	81,3±4,8 defgh	90,2±10,1 abcd
Esmeralda	111,0±2,6 ab	134,0±2,6 abc	93,2±6,3 ab	97,2±12,3 ab
Platino	112,7±0,6 a	136,7±0,6 a	75,3±3,5 gh	73,5±3,3 f
Jaspe	99,7±1,5 e	119,0±1,7 fg	81,3±1,6 defgh	85,0±3,6 cde
Q300502	103,3±1,5 d	130,7±2,9 bcd	94,7±8,5 a	95,5±5,1 abc
Q295911	106,7±2,1 c	127,7±2,3 de	91,2±2,5abcde	92,5±0,9 abc
Q295910	108,0±2,6 bc	129,7±0,6 cd	92,3±8,9 abc	98,3±6,9 a
Q303011	105,3±4,5 cd	123,0±4,6 ef	91,8±8,4 abcd	91,7±6,7 abc
Q303012	103,0± 2,0 d	122,7±4,9 f	89,0±3,3 abcdef	85,7±5,0 cde
Q305801	97,3± 0,6 ef	123,0±1,7 ef	88,0±5,6 abcdef	92,2±6,6 abc
Q313301	86,7±1,2 i	110,7±5,7 i	79,5±9,1 fgh	80,2±5,0 def
Q298239	80,7±1,2 j	103,3±1,2 j	70,7±4,5 h	77,3±14,0 ef
Q323109	96,0±1,0 fg	113,7±2,1 hi	78,3±2,5 fgh	90,8±1,8 abcd
Q321905	95,3±1,5 fgh	116,7±4,0 gh	74,7±5,1 gh	76,8±5,2 ef
Q323005	92,3±1,5 h	111,7±1,2 i	83,0±13,9 bcdefg	79,8±2,4 def
Q303103	94,0±0,0 gh	111,0±0,0 i	80,5±2,6 efgh	92,2±2,4 abc
Q320905	92,7±2,1 h	110,0±3,5 i	82,3±4,6 cdefg	76,0±6,7 ef
Q327501	92,7±1,5 h	112,3±3,2 hi	79,7±4,7 fgh	86,7±5,5 bcde
Sistema de cultivo				
Inundado	100,5±9,1 b		83,6±8,5 b	
Riego	121,6±10,1 a		87,1±9,3 a	

Los valores representan la media ± la desviación estándar. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según la prueba LSD de Fisher para la comparación de medias entre los genotipos en cada sistema de cultivo y según la prueba t para la comparación de sistemas de cultivo ($p \leq 0,05$).

En la altura de planta se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre genotipos y sistemas de riego (Tabla 2). En el sistema IND, la altura varió entre 70,7 cm en Quila 298239 y 94,7 cm en Quila 300502, y en el sistema RT, entre 73,5 cm en Platino y 98,3 cm en Quila 295910. En IND la altura promedio de los genotipos en la fue 4,2 % inferior respecto a RT. Estos resultados coinciden con lo señalado

por Paredes y Becerra (2015), quienes indican que el déficit hídrico puede reducir el área foliar y la biomasa, pero no necesariamente se traduce en una menor altura, ya que ello depende de la capacidad de cada genotipo para ajustar su fisiología y desarrollo con el fin de mantener el crecimiento y la producción bajo condiciones adversas (tolerancia).

El rendimiento de grano presentó diferencias significativas entre genotipos y sistemas de cultivo (Tabla 3). En la condición IND, el rango fue de 5,6 a 9,9 t ha⁻¹ y los genotipos Quila 298239 y Quila 295911 presentaron el menor y el mayor rendimiento, respectivamente. En el sistema RT, el rendimiento de grano fluctuó entre 4,3 y 9,7 t ha⁻¹, con el menor valor para el genotipo Quila 313301 y el mayor para Quila 295910, aunque este no se diferenció de otros genotipos, como los cultivares Cuarzo, Esmeralda, Platino y Jaspe, ni de líneas experimentales como Quila 295911, Quila 303011 y Quila 303012. En el sistema arrocero chileno, los cultivares más producidos son Zafiro y Cuarzo (Cordero *et al.*, 2020), desarrollados para condiciones de inundación, que presentan rendimientos potenciales de hasta 12 t ha⁻¹ (Paredes y Becerra, 2015). Sin embargo, en este estudio los rendimientos bajo IND estuvieron por debajo de su potencial, con valores inferiores a 9 t ha⁻¹.

En cuanto a los sistemas de cultivo, el rendimiento de grano bajo la condición RT fue 9,5 % menor que el del sistema IND, lo cual es coherente con lo descrito respecto del comportamiento fisiológico del arroz frente a la disponibilidad de agua. La ausencia de una lámina constante reduce la capacidad del cultivo para amortiguar las variaciones térmicas del ambiente inmediato, función que, en los sistemas inundados, cumple el agua al actuar como regulador térmico. De esta forma, las plantas quedan más expuestas a descensos bruscos de temperatura durante la noche, especialmente críticos en etapas como la antesis, lo que puede afectar la viabilidad del polen y disminuir la fertilidad floral, aumentando la esterilidad y reduciendo la proporción de granos llenos (López *et al.*, 2018; Paredes y Becerra, 2015; Ramírez *et al.*, 2002). A ello se suma que, en condiciones sin inundación, es más frecuente la ocurrencia de episodios de estrés hídrico transitorio, incluso cuando el suelo se mantiene cerca de la capacidad de campo. Dichas fluctuaciones afectan procesos sensibles, como la expansión celular durante el llenado del grano

y la acumulación de biomasa reproductiva, fenómenos que diversos estudios han vinculado con caídas en el rendimiento y la calidad cuando la planta enfrenta limitaciones hídricas en fases clave del ciclo (Polón *et al.*, 2018; Ruiz *et al.*, 2020).

Tabla 3. Rendimiento de grano y porcentaje de grano entero evaluados en 19 genotipos de arroz en dos sistemas de cultivo.

Genotipo	Rendimiento de grano (t ha ⁻¹)		Porcentaje de grano entero (%)	
	Inundado	Riego	Inundado	Riego
Zafiro	8,1±2,4 ab	6,7±0,8 bcde	67,3±2,2 cdef	66,5±1,7 ab
Cuarzo	8,4±0,9 a	8,5±1,2 abc	68,4±1,7 bcdef	66,2±1,7 abc
Esmeralda	9,3±2,0 a	8,1±2,5 abcd	70,7±1,8 ab	70,6±0,6 a
Platino	8,7±1,9 a	7,7±1,4 abcd	68,0±0,7 bcdef	66,3±1,9 abc
Jaspe	9,2±1,1 a	8,8±0,1 ab	68,6±1,1 bcde	57,8±1,6 ijk
Q300502	9,6±2,7 a	7,4±2,3 abcd	65,6±1,2 f	61,9±3,4 efgh
Q295911	9,9±1,1 a	9,4±0,4 a	70,0±1,0 abc	63,9±2,4 bcdef
Q295910	9,6±2,1 a	9,7±1,6 a	68,7±1,2 abcde	64,8±1,5 bcde
Q303011	8,9±2,0 a	8,8±1,2 ab	68,1±0,8 bcdef	59,4±2,7 hijk
Q303012	8,8±0,0 a	9,2±0,3 a	68,8±1,0 abcd	62,1±4,2 efgh
Q305801	9,0±2,0 a	7,7±0,6 abcd	69,6±1,2 abc	63,0±1,6 cdef
Q313301	7,5±3,0 ab	4,3±1,1 e	59,3±1,4 g	41,0±7,2 k
Q298239	5,6±0,7 b	6,2±3,8 cde	59,1±1,6 g	51,1±2,8 jk
Q323109	8,2±0,6 ab	7,7±0,5 abcd	68,8±2,3 abcd	61,9±0,7 fgh
Q321905	8,7±1,3 a	7,6±0,3 abcd	68,8±2,3 abcd	62,8±1,8 defg
Q323005	7,7±1,6 ab	6,0±1,1 de	68,8±0,9 abcd	61,4±1,5 fghi
Q303103	8,2±1,0 ab	7,6±0,5 abcd	71,5±2,2 a	65,3±1,7 abcd
Q320905	7,7±1,2 ab	6,3±2,0 cde	66,0±2,1 ef	59,7±2,5 ghij
Q327501	9,6±0,5 a	7,4±0,4 abcd	66,2±2,8 def	58,9±2,4 hijk
Sistema de cultivo				
Inundado	8,4±1,8 a		67,3±3,6 a *	
Riego	7,6±1,8 b		61,0±6,6 b	

Los valores representan la media ± la desviación estándar. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según la prueba LSD de Fisher para la comparación de medias entre los genotipos en cada sistema de cultivo y según las pruebas t o de Mann-Whitney para la comparación de sistemas de cultivo ($p \leq 0,05$). * Análisis mediante Mann-Whitney.

Adicionalmente, la menor humedad relativa y la mayor variabilidad térmica del microclima en sistemas no inundados generan un ambiente menos favorable para el cuajado y el llenado de grano, situación igualmente reportada en escenarios de disponibilidad hídrica limitada (Zampieri *et al.*, 2023). En conjunto, estos

mecanismos explican de manera consistente la reducción observada en el rendimiento bajo riego por tendido, ya que el cultivo pierde parte de los beneficios microclimáticos que ofrece la inundación continua, en particular los relacionados con la estabilidad térmica y la disminución del estrés hídrico durante las etapas reproductivas.

En el porcentaje de grano entero se observaron diferencias significativas entre genotipos y sistemas de cultivo (Tabla 3). En la condición IND, estuvo entre 59 % y 72 %, con el menor valor en los genotipos Quila 313301 y Quila 298239 y el mayor en Quila 303103. En tanto, en el sistema RT varió entre 41 % y 71 %, con valores de 41 % y 71 % en Quila 313301 y Esmeralda, respectivamente. Respecto a los sistemas de cultivo, bajo IND el porcentaje de grano entero fue 6,3 % mayor, lo que indica que el estrés hídrico afecta el llenado del grano y aumenta la incidencia de granos quebrados (Polón *et al.*, 2018).

Tanto en el peso de mil granos con cáscara como en el pulido se detectaron diferencias significativas entre genotipos y sistemas de cultivo (Tabla 4). El peso de grano con cáscara en la condición IND estuvo entre 30 y 40 g, con el menor valor en el genotipo Quila 327501 y el mayor en Quila 300502. En tanto, en el sistema RT, el peso con cáscara varió entre 27 g en los genotipos Quila 303012, Quila 323005 y Quila 327501, y 38 g en Quila 313301. En promedio, el peso de grano con cáscara fue un 7 % mayor bajo inundación. El peso de los granos pulidos en la condición IND fluctuó entre 22 y 28 g, con el menor valor en los genotipos Quila 323005 y Quila 305801 y el mayor en Quila 300502 y Quila 313301. En tanto, en el sistema RT, estos oscilaron entre 19,5 y 26,4 g, con el menor en Quila 327501 y el mayor en Quila 300502. Entre los sistemas de cultivo, el peso del grano pulido fue 8,8 % mayor en la condición IND. En el arroz, una parte importante de los fotoasimilados se destina al crecimiento vegetativo y al llenado del endospermo, procesos que se ven afectados negativamente en condiciones de agua limitante (Zampieri *et al.*, 2023).

La longitud de la panícula presentó diferencias estadísticamente significativas entre genotipos y sistemas de cultivo (Tabla 5). En ambos sistemas de cultivo, las longitudes máximas y mínimas se observaron en los mismos genotipos. Los valores

mínimos se obtuvieron en el cultivar Platino, con 14,6 cm y 16,1 cm en las condiciones IND y RT, respectivamente, y los máximos en el genotipo Quila 303011, con 19,4 cm y 20,7 cm en las condiciones IND y RT, respectivamente. En promedio, las panículas de las plantas bajo riego tendido fueron 1,3 cm más largas.

Tabla 4. Peso de mil granos con cáscara y procesados evaluados en 19 genotipos de arroz en dos sistemas de cultivo.

Genotipo	Peso de 1000 granos cáscara (g)		Peso de 1000 granos procesados (g)	
	Inundado	Riego	Inundado	Riego
Zafiro	33,6±0,4 de	34,2±0,6 b	25,5±0,6 bc	24,3±0,1 abc
Cuarzo	35,4±0,5 cd	33,8±0,7 bc	25,8±1,2 bc	24,6±0,5 abc
Esmeralda	32,8±0,4 ef	31,2±1,2 def	25,4±1,3 bc	24,0±0,8 bcd
Platino	30,9±0,8 fgh	28,3±2,0 gh	22,6±1,1 f	20,7±0,7 hij
Jaspe	33,2±1,0 de	33,7±0,7 bcd	25,1±0,7 bcde	24,0±0,4 bcd
Q300502	39,9±0,1 a	36,9±0,9 a	28,4±0,7 a	26,4±0,3 a
Q295911	33,3±3,5 de	31,3±2,0 cdef	25,9±0,6 bc	22,6±0,4 cdefh
Q295910	32,9±2,1± ef	33,2±0,4 bcd	24,7±0,9 bcde	22,0±1,1 defhi
Q303011	34,2±0,3 de	32,0±1,0 bcde	23,3±1,7 def	23,0±1,6 cdef
Q303012	32,2±1,8 efg	27,4±0,7 gh	23,1±1,6 ef	20,5±0,3 ij
Q305801	32,9±1,3 ef	30,0±0,9 efg	22,1±1,0 f	21,8±0,9 efhi
Q313301	38,6± 1,5 ab	38,3±1,3 a	28,4±0,5 a	25,5±0,7 ab
Q298239	37,1±0,7 bc	33,1±1,3 bcd	25,6±1,3 bc	25,1±1,5 ab
Q323109	32,5±1,7 efg	30,0±0,2 efg	23,8±2,1 cdef	21,5±0,3 fhij
Q321905	30,5±1,5 gh	29,2±3,6 fhg	25,2±2,0 bcd	20,2±0,8 ij
Q323005	32,6±0,7 efg	26,7±1,4 h	22,2±1,1 f	21,9±4,2 efhi
Q303103	34,1±1,3 de	32,3±1,6 bcde	25,9±1,6 b	22,9±0,6 cdef
Q320905	37,0±0,8 bc	33,3±3,5 bcd	26,6±1,1 ab	23,7±1,3 bcde
Q327501	30,0±0,6 h	26,6±1,5 h	22,5±1,3 f	19,5±0,4 j
Sistema de cultivo				
Inundado	33,6±3,1 a		24,6±2,4 a	
Riego	31,4±3,6 b		22,6±2,3 b	

Los valores representan la media ± la desviación estándar. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según la prueba LSD de Fisher para la comparación de medias entre los genotipos en cada sistema de cultivo y según la prueba t para la comparación de sistemas de cultivo ($p \leq 0,05$).

El número total de granos por panícula mostró diferencias significativas entre genotipos y sistemas de cultivo (Tabla 5). En la condición IND el número de granos varió entre 61,4 y 101,7 en Quila 298239 y Quila 295911. Bajo el sistema RT, los

valores fluctuaron entre 73,1 y 119,4, alcanzando 73,1 en Quila 320905 y 119,4 en Quila 327501, respectivamente. En promedio, el total de granos por panícula bajo RT fue un 19,1 % mayor que en la condición de inundación tradicional.

Tabla 5. Largo de panícula y número total de granos por panícula evaluados en 19 genotipos de arroz en dos sistemas de cultivo.

Genotipo	Largo de panícula (cm)		Número total de granos por panícula	
	Inundado	Riego	Inundado	Riego
Zafiro	17,7±0,9 bc	18,8±0,4 bcdefg	70,2±6,2 fgh	79,6±4,7 ef
Cuarzo	17,0±0,6 bc	19,3±0,6 bcde	68,7±2,9 gh	82,1±8,1 def
Esmeralda	16,4±0,5 cd	17,7±1,1 g	79,4±1,2 efg	104,1±9,2 abc
Platino	14,6±0,5 e	16,1±0,5 i	81,4±1,4 defg	105,4±25,6 ab
Jaspe	17,8±1,7 abc	19,1±0,4 bcdef	79,9±5,7 efg	107,5±2,2 ab
Q300502	17,6±1,0 bc	19,3±1,4 bcde	84,3±8,4 cde	115,1±17,7 a
Q295911	17,3±1,1 bc	19,4±0,7 abcd	101,7±7,4 a	112,1±6,9 ab
Q295910	17,2±1,3 bc	19,9±0,6 abc	85,9±4,6 bcde	107,6±15,9 ab
Q303011	19,4±0,6 a	20,7±1,0 a	96,3±10,2 abc	108,9±12,9 ab
Q303012	17,4±1,0 bc	17,7±1,6 fg	84,3±9,4 cde	115,2±13,7 a
Q305801	18,2±2,3 ab	18,0±0,1 efg	99,5±19,3 ab	92,9±13,1 bcde
Q313301	16,9±0,5 bcd	18,2±0,8 defg	68,7±3,0 gh	79,2±2,1 ef
Q298239	17,3±0,6 bc	18,8±0,2 cdefg	61,4±3,9 h	76,9±21,1 ef
Q323109	18,0±1,1 abc	19,3±0,5 bcde	94,5±3,9 abcd	100,2±7,9 abcd
Q321905	15,2±1,4 de	16,3±0,1 hi	75,8±11,6 efg	85,4±12,0 cdef
Q323005	18,4±1,3 ab	17,5±1,1 gh	75,9±10,5 efg	78,1±3,7 ef
Q303103	18,0±0,3 abc	19,8±0,3 abc	85,3±10,5 cde	108,4±2,1 ab
Q320905	17,3±0,5 bc	17,6±1,2 gh	80,1±11,8 efg	73,1±0,6 f
Q327501	17,3±0,3 bc	20,1±0,7 ab	83,1±3,6 cdef	119,4±8,7 a
Sistema de cultivo				
Inundado	17,4±1,4 b		82,6±13,0 b *	
Riego	18,7±1,4 a		98,4±18,2 a	

Los valores representan la media ± la desviación estándar. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según la prueba LSD de Fisher para la comparación de medias entre los genotipos en cada sistema de cultivo y según las pruebas t o de Mann-Whitney para la comparación de sistemas de cultivo ($p \leq 0,05$). * Análisis mediante Mann-Whitney.

Según Laza *et al.* (2004), en variedades mejoradas de arroz, el número de espiguillas por panícula suele oscilar entre 60 y 80 en genotipos de panícula pequeña y entre 100 y 115 en genotipos de panícula intermedia, por lo que un rango

de 70 a 110 espiguillas por panícula se considera esperable, dependiendo del genotipo y del manejo agronómico.

El número de granos llenos por panícula mostró diferencias estadísticamente significativas entre genotipos y tratamientos (Tabla 6). En la condición IND, los valores fluctuaron entre 46,5 y 83,5, obtenidos en los genotipos Quila 298239 y Quila 323109, respectivamente. En tanto, en el sistema RT, los valores estuvieron entre 45,6 y 95,7, con el mínimo en Quila 320905 y el máximo en Quila 327501. En cuanto a los sistemas de cultivo, el número de granos llenos por panícula bajo RT fue un 11,6 % mayor que en la condición IND.

Adicionalmente, se observó que los genotipos con mayor número de granos totales no siempre coincidieron con los que registraron más granos llenos, lo que confirma que un mayor número de espiguillas no garantiza necesariamente un incremento en los granos llenos, ya que este proceso depende de la fertilidad floral y de la eficiencia fotosintética (Fatima *et al.*, 2024).

En línea con el número total de granos por panícula y el número de granos llenos por panícula, el porcentaje de esterilidad mostró diferencias significativas entre genotipos y sistemas de cultivo (Tabla 6). En la condición IND, el porcentaje de esterilidad fluctuó entre 11,7 y 26,6 %, obtenido en Quila 323109 y Quila 313301, respectivamente. En la condición RT, el porcentaje de esterilidad estuvo entre 11,7 % y 37,6 %, alcanzado en los genotipos Quila 295910 y Quila 320905, respectivamente. En cuanto a los tratamientos, la esterilidad floral fue un 31,9 % mayor en el sistema RT que en el sistema tradicional de inundación.

Resultado que coincide con lo señalado por Jarín *et al.* (2024), quienes reportan que el estrés hídrico durante la floración puede reducir la fertilidad de las espiguillas entre un 12 % y un 90 %, según la respuesta del genotipo.

En conjunto, los resultados muestran que la fertilidad y el cuajado de los granos presentan una marcada dependencia del genotipo y del manejo del cultivo, lo cual se relaciona directamente con la sensibilidad del arroz a las variaciones térmicas durante la floración. Diversos estudios señalan que las temperaturas, tanto las elevadas diurnas como las bajas nocturnas, pueden comprometer seriamente la viabilidad del polen y la funcionalidad de los órganos reproductivos, lo que conduce

a un aumento significativo de la esterilidad floral (López *et al.*, 2018; Paredes y Becerra, 2015). Estas condiciones afectan procesos fisiológicos claves, como la deshidratación del polen, la apertura de anteras y la fecundación, de modo que incluso fluctuaciones moderadas pueden reducir el número de granos llenos (López *et al.*, 2018; Paredes y Becerra, 2015; Polón *et al.*, 2018).

Tabla 6. Número de granos llenos por panícula y porcentaje de esterilidad floral evaluados en 19 genotipos de arroz en dos sistemas de cultivo.

Genotipo	Número de granos llenos por panícula		Porcentaje de esterilidad (%)	
	Inundado	Riego	Inundado	Riego
Zafiro	59,1±5,8 ef	67,7±1,9 ef	15,9±2,2 bcdef	14,9±3,1 efg
Cuarzo	58,3±1,4 ef	62,1±8,8 def	15,0±1,6 cdef	24,1±10,7 bcde
Esmeralda	60,7±6,3 de	75,6±2,1 abc	23,6±7,3 abcd	27,1±5,1 abcd
Platino	68,5±4,8 bcde	81,3±19,1 ab	15,8±5,5 bcdef	22,8±1,0 bcde
Jaspe	69,3±5,5 bcd	91,7±6,1 ab	13,2± 1,5 f	14,7±4,2 efg
Q300502	72,6±5,2 bc	75,1±9,8 abc	13,7±5,3 ef	34,1±9,1 abc
Q295911	78,5±4,2 ab	89,9±8,2 ab	22,5±7,1 abcde	19,3±11,5 defg
Q295910	72,4±6,1 bc	95,1±14,9 ab	15,8±2,9 bcdef	11,7±1,4 g
Q303011	77,2±2,1 ab	94,6±20,3 ab	19,3±8,9 abcdef	13,8±9,1 fg
Q303012	68,5±11,3bcde	89,5±14,5 a	19,0± 4,6abcdef	22,4±6,1 cdef
Q305801	74,6±11,1 ab	68,5±9,7 bcde	24,6±5,1 ab	26,2±2,5 abcd
Q313301	50,4±4,9 fg	50,0±4,9 ef	26,6±6,9 a	36,8±7,6 a
Q298239	46,5±2,5 g	49,8±12,3 ef	24,1±3,3 abc	34,7±6,9 ab
Q323109	83,5±4,6 a	84,9±5,0 abcd	11,7±3,0 f	15,2±3,8 efg
Q321905	61,9±7,8 de	56,6±13,7cdef	17,9±6,7 abcdef	34,2±7,1 abc
Q323005	63,8±9,8 cde	50,7±4,1 ef	16,1±1,2 bcdef	35,1±3,4 ab
Q303103	63,3±5,3 cde	81,7±2,2 ab	25,3±9,1 a	24,6±1,1 abcde
Q320905	64,3±4,8 cde	45,6±11,3 f	18,9±8,2 abcdef	37,6±15,3 a
Q327501	70,9±1,9 bcd	95,7±5,7 a	14,6±3,9 def	19,8±1,6 defg
Sistema de cultivo				
Inundado	67,2±11,0 *		18,5±6,3 *	
Riego	75,0±19,1		24,4±10,2	

Los valores representan la media ± la desviación estándar. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según la prueba LSD de Fisher para la comparación de medias entre los genotipos en cada sistema de cultivo y según las pruebas t o de Mann-Whitney para la comparación de sistemas de cultivo ($p \leq 0,05$). * Análisis mediante Mann-Whitney.

El efecto se acentúa cuando el cultivo se desarrolla sin una lámina de agua, ya que el sistema de inundación actúa como regulador térmico que amortigua los cambios bruscos entre el día y la noche. La presencia de agua estabiliza la temperatura del suelo y de la zona basal de las plantas, reduciendo la amplitud térmica a la que se expone el tejido reproductivo (Paredes y Becerra, 2015). En contraste, bajo riego por tendido, el microclima presenta mayor variabilidad térmica y menor humedad relativa, lo que incrementa la probabilidad de que las temperaturas nocturnas descendan por debajo del umbral crítico para la fertilidad de las espiguillas (López *et al.*, 2018; Polón *et al.*, 2018). Como consecuencia, la combinación de déficit hídrico transitorio, amplitud térmica elevada y ausencia del efecto termorregulador propio de la inundación afecta el cuajado y reduce el número de granos llenos, lo que coincide con el incremento de la esterilidad floral observado en este estudio bajo riego no inundado (López *et al.*, 2018; Polón *et al.*, 2018). Esto, en conjunto, explica por qué el rendimiento resulta más sensible en sistemas sin lámina de agua y refuerza la idea de que la respuesta del cultivo depende tanto del manejo hídrico como de la capacidad intrínseca de cada genotipo para tolerar variaciones térmicas durante la floración (Jarin *et al.*, 2024; Paredes y Becerra, 2015; Zampieri *et al.*, 2023).

Adicionalmente, se evaluaron la blancura y la transparencia del grano, variables determinantes de su calidad comercial (Fitzgerald y Daygon, 2020). La blancura no mostró diferencias estadísticamente significativas entre genotipos ni entre sistemas de cultivo (Tabla 7). En el sistema IND la blancura varió entre 32,8 y 39,0 en los genotipos Quila 295910 y Quila 300502. En tanto, bajo la condición RT, estuvo en el rango 36,1–40,9, con el menor valor obtenido en Quila 323005 y el mayor en Quila 300502 y Quila 295911. Sin embargo, si se observaron diferencias estadísticas significativas entre sistemas de cultivo siendo la blancura del grano 9,6 % en la condición RT. El rango de blancura de grano observado es comparable al reportado para variedades comerciales en Chile (Paredes y Becerra, 2015).

En la transparencia del grano, sí se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los genotipos en la condición IND. Bajo este sistema, la transparencia varió entre 2,8 y 3,8, con el menor valor compartido por varios

genotipos (Platino, Quila 295910, Quila 303012 y Quila 327501) y el mayor en Quila 300502. En la condición RT, la transparencia fluctuó entre 2,3 y 3,9 en los genotipos Quila 321905 y Quila 300502, respectivamente. De modo similar a la blancura, la transparencia del grano aumentó significativamente bajo el sistema RT, en este caso, en un 10 %.

Tabla 7. Blancura y transparencia de grano evaluadas en 19 genotipos de arroz en dos sistemas de cultivo.

Genotipo	Blancura de grano		Transparencia de grano	
	Inundado	Riego	Inundado	Riego
Zafiro	36,3±1,8	39,7±0,5	3,5±1,8 abc	3,7±0,1
Cuarzo	35,0±1,5	39,7±0,4	3,3±1,5± bcd	3,8±0,1
Esmeralda	33,8±1,3	39,1±0,9	3,2±1,3 bcdef	3,7±0,1
Platino	35,0±0,9	39,4±0,2	2,8±0,9 fg	3,2±0,0
Jaspe	35,7±0,8	40,0±0,4	3,2±0,8 bcde	3,8±0,0
Q300502	39,0±0,9	40,9±1,2	3,8±0,9 a	3,9±0,1
Q295911	35,1±2,3	40,9±0,3	3,1± 2,3 bcdefg	3,7±0,1
Q295910	32,8±2,6	40,0±0,6	2,8±2,6 g	3,6±0,0
Q303011	35,8±0,3	40,8±0,6	3,3±0,3 bc	3,6±0,1
Q303012	34,5±2,6	39,6±0,9	2,8±2,6 efg	3,5±0,1
Q305801	35,6±2,3	39,0±1,3	3,1±2,3 cdefg	3,5±0,2
Q313301	38,4±1,5	39,4±1,0	3,4±1,5 abc	3,3±0,2
Q298239	36,5±1,2	37,4±0,8	3,5±1,2 abc	3,5±0,1
Q323109	36,4±1,3	37,8±0,4	3,2±1,3 bcdef	3,2±0,2
Q321905	36,8±4,5	38,4±0,1	2,9±4,5 defg	2,3±1,7
Q323005	35,6±0,3	36,1±0,6	3,1±0,3 cdefg	3,2±0,1
Q303103	35,7±2,2	39,0±0,5	3,4±2,2 abc	3,7±0,1
Q320905	36,0±1,3	36,5±1,3	3,5±1,3 ab	3,5±0,3
Q327501	36,7±2,6	38,8±0,7	2,8±2,6 g	3,1±0,1
Sistema de cultivo				
Inundado	34,5±6,1 b*		3,0±0,7 b*	
Riego	37,8±5,7 a		3,3±0,8 a	

Los valores representan la media ± la desviación estándar. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según la prueba LSD de Fisher para la comparación de medias entre los genotipos en cada sistema de cultivo, y según las pruebas t o de Mann-Whitney para la comparación de sistemas de cultivo ($p \leq 0,05$). * Análisis mediante Mann-Whitney.

Aunque una mayor transparencia se asocia con una mejor apariencia y con la preferencia de los consumidores en mercados asiáticos (Fitzgerald *et al.*, 2009), en

Latinoamérica su importancia relativa es menor; sin embargo, es un rasgo importante a tener en cuenta en los programas de mejoramiento (Khush, 1997).

Se ha reportado que el estrés hídrico puede provocar irregularidades en el flujo de asimilados y afectar la hidratación de los tejidos, lo que aumenta la probabilidad de formación de granos defectuosos (López *et al.*, 2018; Polón *et al.*, 2018). Sin embargo, en este estudio tanto la blancura del grano como su transparencia aumentaron significativamente bajo el sistema de riego por tendido. Los resultados muestran que existe variabilidad genética en los atributos de calidad del grano y que el sistema de riego utilizado puede incidir tanto en la blancura como en la transparencia, atributos importantes para la aceptación del grano pulido en el mercado y que reflejan tanto el potencial genético como el manejo pre- y postcosecha (Juliano, 1993).

Correlaciones entre variables agronómicas, productivas y de calidad

Se realizaron análisis de correlación de Pearson independientes para evaluar las relaciones entre los diferentes rasgos agronómicos, productivos y de calidad en ambos sistemas de cultivo. Las correlaciones significativas se detectaron para valores de $|r| \geq 0,27$ ($p \leq 0,05$; Figura 1).

Chile

El rendimiento de grano mostró una correlación positiva con la altura de planta ($r = 0,687$), lo que indica que las plantas más altas tendieron a producir una mayor cantidad de granos en condiciones de inundación. Este resultado evidencia la estrecha relación entre la biomasa, la altura y la capacidad productiva, lo que posiciona la altura de la planta como un rasgo asociado al potencial de rendimiento (Song *et al.*, 2024). Asimismo, se observaron correlaciones positivas entre la altura de planta y los días a floración ($r = 0,419$) y entre la altura de planta y el número total de granos por panícula ($r = 0,457$), lo que sugiere que plantas con periodos vegetativos más prolongados producen más biomasa y presentan un mejor llenado del grano, lo que potencialmente conduce a un mayor rendimiento.

El rendimiento también se correlacionó positivamente con el porcentaje de grano entero ($r = 0,259$). Aunque la asociación es débil, representa una relación positiva entre la producción de grano y el principal parámetro de calidad industrial del arroz

(Paredes *et al.*, 2021b). Este rasgo refleja tanto un llenado eficaz del grano como la ausencia de defectos que provocan quiebre durante la molienda (Li *et al.*, 2019), actuando como un indicador integrado del estado productivo y de la calidad. La presencia de un endospermo sin defectos físicos reduce el riesgo de fractura durante el pulido (Fitzgerald *et al.*, 2009). El porcentaje de grano entero, a su vez, se correlacionó positivamente con los días a floración, el número total de granos por panícula y el número de granos llenos por panícula, todos ellos directamente asociados con el rendimiento de grano. A su vez, el número de granos llenos por panícula tiene una alta y positiva correlación con el número total de granos por panícula ($r = 0,857$) y una correlación negativa con los pesos de grano, lo que refleja una compensación entre el número y el peso del grano, ampliamente reportada en cereales debido a la competencia por asimilados durante el llenado (Laza *et al.*, 2004; Samonte *et al.*, 2024).

Figura 1. Análisis de correlación de Pearson entre variables agronómicas, productivas y de calidad obtenidas en genotipos de arroz cultivados en condiciones de inundación.

RG												
PGE	0.259											
DF	0.347	0.534										
AP	0.687	0.214	0.419									
PMGc	-0.090	-0.544	-0.268	0.126								
PMGp	-0.018	-0.394	-0.099	0.049	0.673							
LP	0.274	0.012	-0.181	0.416	0.297	-0.143						
NGTP	0.422	0.494	0.234	0.457	-0.213	-0.359	0.433					
NLLP	0.470	0.516	0.294	0.409	-0.260	-0.405	0.408	0.857				
PE	-0.177	-0.139	-0.178	0.034	0.111	0.109	0.001	0.159	-0.366			
BG	0.230	-0.488	-0.373	0.005	0.441	0.375	0.276	-0.144	-0.038	-0.190		
TG	0.040	-0.335	-0.186	0.123	0.724	0.537	0.378	-0.187	-0.116	-0.125	0.669	
	RG	PGE	DF	AP	PMGc	PMGp	LP	NGTP	NLLP	PE	BG	TG

RG: rendimiento de grano, PGE: porcentaje de grano entero, DF: días a floración, AP: altura de planta, PMGc: peso de mil granos con cáscara, PMGp: peso de mil granos pulido, LP: largo de panícula, NGTP: número de granos totales por panícula, NLLP: número de granos por panícula, PE: porcentaje de esterilidad, BG: blancura de grano, TG: transparencia de grano. En azul, correlaciones positivas; en rojo, correlaciones negativas. La intensidad del color refleja la magnitud de la correlación. En negrita, correlaciones significativas ($p \leq 0,05$).

Este mecanismo de compensación fuente-sumidero en sistemas inundados se debe a que el arroz desarrolla abundante biomasa vegetativa y panículas con un gran número de granos, características de un cultivo adaptado a estas condiciones. Sin

embargo, la alta demanda y la competencia por carbohidratos durante el llenado exceden la capacidad de la fuente, de modo que cada grano recibe menos asimilados, lo que se traduce en un menor tamaño, peso individual y, con frecuencia, menor longitud (Cheng *et al.*, 2022; Samonte *et al.*, 2024).

En cuanto a las variables de calidad, se observó una correlación positiva entre la blancura y la transparencia del grano ($r = 0,669$; Figura 1), lo que confirma la estrecha asociación entre ambos parámetros. Estas características están determinadas por la estructura del endospermo y su contenido de humedad; cuando disminuye el agua que rellena los espacios internos del almidón, se generan cavidades y se producen refracciones que reducen simultáneamente la blancura y la transparencia (Fan *et al.*, 2022). De igual forma, el peso del grano se asoció positivamente con la blancura y la transparencia del grano (r entre 0,375 y 0,724). Estas asociaciones sugieren que el llenado celular, asociado al volumen del endospermo y reflejado en el peso de mil granos, y factores que favorecen la apariencia óptica del grano y el desarrollo de una superficie blanca tras el pulido están estrechamente relacionados (Cao *et al.*, 2024; Hoque *et al.*, 2022). Asimismo, los granos más pesados suelen presentar un desarrollo endospermático mayor y homogéneo, asociado a un mayor número y/o volumen de células en el endospermo (Noori *et al.*, 2020; Fan *et al.*, 2022).

De manera similar a lo observado en el cultivo bajo inundación tradicional, en la condición de riego por tendido las correlaciones significativas se detectaron para valores de $|r| \geq 0,27$ ($p \leq 0,05$) (Figura 2). En términos generales, las tendencias fueron comparables a las del sistema de inundación, aunque con diferencias atribuibles a la disponibilidad y dinámica del agua en este régimen de riego.

Al igual que en el sistema bajo inundación, el rendimiento se correlacionó positivamente con la altura de planta ($r = 0,502$) y con el porcentaje de grano entero ($r = 0,372$). Además, se observaron correlaciones positivas con el número de granos llenos por panícula ($r = 0,513$) y con el número total de granos por panícula ($r = 0,327$). Estos resultados destacan que el llenado efectivo de espiguillas constituye el principal determinante del rendimiento. Asimismo, se observó una correlación negativa entre el rendimiento y el porcentaje de esterilidad ($r = -0,539$), lo que

confirma que la fertilidad de las espiguillas es un factor crítico para la productividad, con un impacto aún mayor en condiciones de déficit hídrico (Paredes y Becerra, 2015).

Figura 2. Análisis de correlación de Pearson entre variables agronómicas, productivas y de calidad obtenidas en genotipos de arroz cultivados bajo riego por tendido.

RG												
PGE	0.372											
DF	0.320	0.655										
AP	0.502	0.252	0.336									
PMGc	-0.139	-0.331	0.058	0.176								
PMGp	-0.262	-0.275	0.054	0.198	0.705							
LP	0.132	-0.039	-0.042	0.424	0.296	0.072						
NGTP	0.327	0.243	0.265	0.293	-0.269	-0.280	0.400					
NLLP	0.513	0.251	0.281	0.410	-0.251	-0.340	0.467	0.874				
PE	-0.539	-0.216	-0.264	-0.469	0.085	0.220	-0.363	-0.349	-0.751			
BG	0.445	0.051	0.537	0.527	0.306	0.222	0.317	0.474	0.553	-0.474		
TG	0.163	0.066	0.273	0.333	0.474	0.450	0.334	0.040	0.088	-0.141	0.348	
	RG	PGE	DF	AP	PMGc	PMGp	LP	NGTP	NLLP	PE	BG	TG

RG: rendimiento de grano, PGE: porcentaje de grano entero, DF: días a floración, AP: altura de planta, PMGc: peso de mil granos con cáscara, PMGp: peso de mil granos pulido, LP: largo de panícula, NGTP: número de granos totales por panícula, NLLP: número de granos por panícula, PE: porcentaje de esterilidad, BG: blancura de grano, TG: transparencia de grano. En azul, correlaciones positivas; en rojo, correlaciones negativas. La intensidad del color refleja la magnitud de la correlación. En negrita, correlaciones significativas ($p \leq 0,05$).

La altura de planta, así como en condiciones de inundación, mostró una correlación positiva con el número de granos llenos por panícula ($r = 0,410$). Además, se observó una correlación similar entre la altura y el largo de la panícula ($r = 0,424$) y una correlación más fuerte entre el largo de la panícula y el número de granos llenos por panícula ($r = 0,467$) (Figura 2). Bajo inundación, la altura se ha asociado con una mayor producción de biomasa y con soporte de panículas más extensas (Li *et al.*, 2019). En el sistema de riego por tendido esta relación se mantuvo, observándose incluso un incremento tanto en el largo de la panícula como en la altura de planta (Tablas 2 y 5); sin embargo, el rendimiento disminuyó debido a un aumento marcado en el porcentaje de esterilidad (Tablas 3 y 6).

Adicionalmente, y a diferencia de lo observado bajo inundación, la altura de planta y el porcentaje de esterilidad mostraron una correlación negativa significativa ($r = -0,469$). Asimismo, el porcentaje de esterilidad se correlacionó negativamente

con el largo de la panícula ($r = -0,363$), lo que sugiere que las panículas más largas tendieron a presentar una menor proporción de espiguillas estériles. Estos resultados evidencian un efecto contrapuesto entre la acumulación de biomasa y el cuajado de granos (Cheng *et al.*, 2022), así como la influencia del déficit hídrico, que redujo la fertilidad de las espiguillas y, en consecuencia, el rendimiento (Paredes y Becerra, 2015; Jarín *et al.*, 2024), además, La falta de inundación permanente en el riego por tendido disminuye la estabilidad térmica del sistema, incrementando la vulnerabilidad del cultivo ante oscilaciones térmicas. La pérdida de inercia térmica en el suelo y el dosel eleva el riesgo de esterilidad de espiguillas por frío nocturno durante la fase de antesis, lo que impacta negativamente en la productividad (López *et al.*, 2018; Paredes y Becerra, 2015; Polón *et al.*, 2018).

En cuanto a la calidad del grano, similar a la condición de inundación, la blancura mostró una correlación positiva con la transparencia ($r = 0,348$), aunque en este caso fue menos evidente. Esta asociación concuerda con lo señalado por Fan *et al.* (2022), quienes destacan que ambos parámetros dependen de la estructura del endospermo y de la homogeneidad del llenado. La blancura de grano también mostró correlaciones positivas con los días a floración, la altura de planta, el número total de granos por panícula y el número de granos llenos por panícula ($r = 0,474-0,553$) (Figura 2).

Al igual que en la condición IND, la transparencia del grano presentó una correlación positiva con el peso de mil granos, sugiriendo que un llenado eficiente del endospermo determina tanto la masa como la calidad visual. En el sistema de riego por tendido, los genotipos con mayor capacidad de llenado bajo estrés hídrico logran preservar ambos atributos, una ventaja competitiva frente a materiales susceptibles (Cao *et al.*, 2024; Hoque *et al.*, 2022; Noori *et al.*, 2020). No obstante, bajo riego por tendido se observó una disminución del peso de mil granos (Tabla 4), mientras que la transparencia mostró un comportamiento opuesto (Tabla 7). Este hallazgo sugiere que el déficit hídrico intermitente durante la etapa de llenado podría favorecer una mayor uniformidad en la estructura del endospermo, lo que se traduce en una mejora de la apariencia óptica del grano. Además, confirma que tanto la calidad como el peso del grano están determinados por un conjunto de factores

fisiológicos y ambientales, como la duración del llenado, la variación en la densidad del endospermo y las condiciones ambientales (Cheng *et al.*, 2022; Fatima *et al.*, 2024; Fitzgerald y Daygon, 2020; Laza *et al.*, 2004).

CONCLUSIONES

- El sistema tradicional bajo inundación favoreció el desempeño fisiológico del arroz al amortiguar las fluctuaciones térmicas y disminuir la incidencia de estrés hídrico, lo que se reflejó en una floración más temprana, menor esterilidad y mayores rendimientos. En contraste, el sistema de riego por tendido expuso el cultivo a variaciones ambientales más marcadas, lo que generó condiciones menos estables durante la etapa reproductiva y redujo la productividad final.
- Los genotipos mostraron una amplia diversidad en atributos agronómicos, productivos y de calidad, destacando dos genotipos en particular, Quila 295911 y Quila 295910, que mantuvieron rendimientos altos y estables en ambos sistemas de cultivo. Esto evidencia la existencia de genotipos con alto potencial productivo bajo menor disponibilidad hídrica y sin pérdidas críticas del rendimiento, lo que indica que estos materiales poseen mecanismos fisiológicos que les permiten soportar con mayor eficiencia escenarios de disponibilidad hídrica limitada, constituyendo alternativas valiosas para sistemas de menor consumo de agua.
- La calidad del grano se vio significativamente influida por el sistema de riego. La inundación promovió un endospermo más homogéneo y una menor incidencia de defectos, aumentando la proporción de grano entero y mejorando características como la blancura y la transparencia. Por su parte, el riego por tendido incrementó la presencia de grano manchado y redujo la integridad del grano pulido, efectos que se vinculan directamente con la mayor variabilidad térmica y el estrés hídrico transitorio.
- Las correlaciones obtenidas confirmaron la dependencia cruzada entre el rendimiento, la arquitectura de planta y la eficiencia reproductiva, así como la influencia en atributos asociados a su calidad comercial. El comportamiento observado refuerza la idea de que el rendimiento y la calidad no dependen de

un solo rasgo, sino de la interacción entre la acumulación de biomasa, el número y el peso de los granos y la estructura interna del endospermo.

- La creciente frecuencia de sequías y el ascenso de las temperaturas globales imponen la necesidad de optimizar el recurso hídrico en la agricultura. Bajo esta premisa, la evidencia indica que la optimización del riego es técnicamente posible siempre que se integren materiales genéticos superiores y estrategias de manejo adaptadas. La variabilidad en la respuesta de los cultivos resalta la urgencia de profundizar en programas de mejoramiento y planes de gestión hídrica diseñados para la resiliencia climática

REFERENCIAS

1. Alvarado, J. R. (2007). *Arroz: Manejo tecnológico*. Boletín INIA – N° 162. INIA Quilamapu. Chillán, Chile.
2. Alvarado, J. y P. Grau. (1986). El cultivo del arroz en Chile y sus expectativas. INIA Quilamapu. Chillán, Chile.
3. Barraza, H., Fernández L. y Alminagorta, O. (2021). Evaluación del estrés hídrico del cultivo de arroz (IR 71706) a través del uso de termografía calibrada del área del dosel en Lima, Perú. *Idesia*, 39(4): 59-70. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292021000400059> [2025, 15 de junio].
4. Cao, J., Chen, X. Ma, Z., Yu, J., Wang, R., Y. Zhu, Y., Xu, F., Hu, Q., Liu, G., Li, G. y Wei, H. (2024). Differences in the appearance quality of soft japonica rice with different grain shapes in the yangtze river delta and their relationship with grain-filling. *Agronomy*, 14(10). Recuperado de <https://doi.org/10.3390/agronomy14102377> [2025, 26 de julio].
5. Cheng, F., Bin, S., Iqbal, A., He, L., Wei, S., Zheng, H., Yuan, P., Liang, H., Ali, I., Xie, D., Yang, X., Xu, A., Ullah, S. y Jiang, L. (2022). High sink capacity improves rice grain yield by promoting nitrogen and dry matter accumulation. *Agronomy*, 12 (7). Recuperado de <https://doi.org/10.3390/agronomy12071688> [2025, 05 de julio].
6. Cordero, K., Matus I., González J y Castillo, D. (2020). Cultivos de cereales anuales: trigo, arroz, avena y maíz. En: J. González (Ed.). *Agricultura de la nueva región de Ñuble: Una caracterización sectorial*. (pp:150-187). INIA

Quilamapu. Recuperado en <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.13082/3622> [2025, 05 de julio].

7. Cordero, K. y Saavedra, F. (2011). *Manual de procedimientos para la medición de calidad industrial de arroz en Chile*. Boletín INIA - N° 230. INIA Quilamapu. Chillán, Chile. Recuperado en <http://biblioteca.inia.cl/medios/quilamapu/boletines/NR38388.pdf> [2025, 05 de julio].
8. Cordero, K. y Alvarado, R. (2007). *El arroz empieza a cambiar*. Tierra. Adentro. (73), 16-18.
9. Dirección General de Aeronáutica (DGA). (2024). *Reporte de la Evolución del Clima en Chile 2024*. Dirección Meteorológica de Chile. Chile. Recuperado en <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.22431.68000> [2025, 15 de junio].
10. Economic Research Service (ERS). (2025). *Rice Sector at a Glance*. United States Department of Agriculture, Washington D.C., EE.UU. Recuperado en <https://www.ers.usda.gov/topics/crops/rice/rice-sector-at-a-glance> [2025, 20 de septiembre].
11. Espinoza, A. (2018). *Valoración de productos de arroz de variedad desarrollada en Chile y su efecto en las ganancias del retail y empresas productoras*. Tesis, Magíster en Economía Aplicada. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Santiago, Chile. Recuperado en <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/168680> [2025, 27 de mayo].
12. Fatima, S., Rashid, M. y Hammed, A. (2024). Development of rice mutants with enhanced resilience to drought stress and their evaluation by lab assay, field, and multivariate analysis. *Scientifica*, 2024 (1). Recuperado de <https://doi.org/10.1155/2024/4373987> [2025, 23 de mayo].
13. Fan, P., Xu, J., Wei, H., Liu, G., Zhang, Z., Tian, J. y Zhang, H. (2022). Recent research advances in the development of chalkiness and transparency in rice. *Agriculture*, 12(8). Recuperado de <https://doi.org/10.3390/agriculture12081123> [2025, 30 de junio].
14. Fundación para la Innovación Agraria (FIA). (2017). *Agenda de Innovación Agraria para la Cadena del Arroz en Chile*. Ministerio de Agricultura. Chile.

15. Fitzgerald, M., McCouch, S. y Hall, R. (2009). Not just a grain of rice: The quest for quality. *Trends in Plant. Science*, 14(3), 133-139. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2008.12.004> [2025, 14 de mayo].
16. Fitzgerald, M. y Daygon, V. (2020). Molecular improvement of rice quality. *Cereal Foods World*, 65(5). Recuperado en <https://doi.org/10.1094/cfw-65-5-0057> [2025, 20 de junio].
17. Garreaud, R., Boisier, J., Rondanelli, R., Montecinos, A., Sepúlveda, H. y Veloso, D. (2019). The Central Chile Mega Drought (2010–2018): A climate dynamics perspective. *International Journal of Climatology*, 40(1), 421-439. Recuperado de <https://doi.org/10.1002/joc.6219> [2025, 20 de mayo].
18. Hoque, N., Islam, M., Rahman, F., Mahmud, N., Rahman, M. y Biswas, B. (2022). Grain physical properties analysis of some improved rice varieties. *Asian Journal Crop. Soil Science and Plant Nutrition*, 6(2), 242-250. Recuperado de <https://doi.org/10.18801/ajcsp.060222.29> [2025, 05 de julio].
19. Jarin, A., Islam, M., Rahat, A., Ahmed, S., Ghosh, P. y Murata, Y. (2024). Drought stress tolerance in rice: physiological and biochemical insights *International Journal of Plant Biology*, 15(3), 692-718. Recuperado de <https://doi.org/10.3390/ijpb15030051> [2025, 15 de julio].
20. Juliano, B. (1993). *Rice in Human Nutrition*. Roma: FAO/IRRI.
21. Khush, G. S. (1997). Origin, dispersal, cultivation and variation of rice. *Plant Molecular Biology*, 35(1-2), 25-34. Recuperado de <https://doi.org/10.1023/A:1005810616885> [2025, 10 de abril].
22. Laza, M. R., Peng, S., Akita, S. y Saka, H. (2004). Effect of panicle size on grain yield of IRRI-released indica rice cultivars in the wet season. *Plant Production Science*, 7(3), 271-276. Recuperado de <https://doi.org/10.1626/pps.7.271> [2025, 12 de septiembre].
23. Li, R., Li, M., Ashraf, U., Liu, S. y Zhang, J. (2019). Exploring the relationships between yield and yield-related traits for rice varieties released in China from 1978 to 2017. *Frontiers Plant Science*, 10. Recuperado de <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00543> [2025, 24 de junio].
24. López, M., López, C., Kohashi, J., Miranda, S., Barrios, E. y Martínez, C. (2018). Tolerancia a sequía y calor en arroz (*Oryza sativa*). *Ecosistemas y recursos*

- Agropecuarios*, 5(15), 373-385. Recuperado de <https://doi.org/10.19136/era.a5n15.1558> [2025, 24 de septiembre].
25. Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (2017). *Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2017-2022*. Ministerio del Medio Ambiente. Chile. Recuperado de https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/07/plan_nacional_climatico_2017_2.pdf [2025, 23 de mayo].
 26. Noori, Z., Qarluq, A., Kakar, K., Abdiani, S. y Nawakht, N. (2020). Comparison of physicochemical properties, grain quality, and ultrastructure of rice cultivars *International Journal of Innovative Research and Scientific Studies*, 3(1), 31-42. Recuperado de <https://doi.org/10.53894/ijirss.v3i1.29> [2025, 24 de junio].
 27. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). (2025). *Boletín de Cereales – Arroz: Superficie, producción y rendimiento nacional de arroz*. Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile, Santiago, Chile. Recuperado en https://opia.fia.cl/601/articles-128970_archivo_01.pdf [2025, 14 de diciembre].
 28. OECD/FAO. (2021). *OECD-FAO Perspectivas Agrícolas 2021-2030*. Paris: OECD Publishing. Recuperado en <https://doi.org/10.1787/47a9fa44-es> [2025, 12 de abril].
 29. Paredes, M. y Becerra, V. (2015) *Producción de arroz: Buenas Prácticas Agrícolas (BPA)*. Boletín INIA - N° 306. INIA Quilamapu. Chillán, Chile.
 30. Paredes, M., Becerra, V. y Donoso, G. (2021a). *100 años del cultivo de arroz en Chile en un contexto internacional 1920 – 2020 Tomo I* (40). Chillán: INIA Quilamapu.
 31. Paredes, M., Becerra, V. y Donoso, G. (2021b). *100 años del cultivo de arroz en Chile en un contexto internacional 1920 – 2020 Tomo II* (40). Chillán: INIA Quilamapu.
 32. Polón, R., Castillo, D., Miranda, A. y Ruiz, M. (2018). Estrés hídrico sobre la calidad del grano en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.). *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 27(3), 1-8. Recuperado de <https://revistas.unah.edu.cu/index.php/rcta/article/view/984> [2025, 23 de julio].

33. Ramírez, E., Alfonso, R., Franco, I. y Rodríguez, S. (2002) Fenología de la planta de arroz bajo condiciones de estrés hídrico en diferentes fenofases y durante todo el ciclo. *Revista Cubana del Arroz*, 4, 64-70. Recuperado de [http://www.actaf.co.cu/revistas/revista-grano/Revista%20en%20PDF%20\(Vol%204%20No%201\)/Trabajo6.pdf](http://www.actaf.co.cu/revistas/revista-grano/Revista%20en%20PDF%20(Vol%204%20No%201)/Trabajo6.pdf) [2025, 10 de agosto].
34. Ruiz, M., Dell'Amico, J., Cabrera, J., Muñoz, Y., Almeida, F. y Ruiz, J. (2020). Respuesta de la planta de arroz a la suspensión de la lámina de agua. Parte III. *Cultivos Tropicales*, 41(2), 1-13. Recuperado de <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/1550> [2025, 23 de agosto].
35. Samonte, S., Ponce, K. y Sanchez, D. (2024). Grain quality of panicle portions in chalky and low-chalky rice cultivars. *Rice*, 17(1). Recuperado de <https://doi.org/10.1186/s12284-024-00751-7> [2025, 03 de junio].
36. Song, E., Shao, G., Zhu, X., Zhang, W., Dai, Y. y Lu, J. (2024). Estimation of plant height and biomass of rice using unmanned aerial vehicle. *Agronomy*, 14 (1). Recuperado de <https://doi.org/10.3390/agronomy14010145> [2025, 06 de agosto].
37. Soto, S. (2022). Arroz: temporada 2021/22 y perspectivas. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). Santiago, Chile. Recuperado en <https://bibliotecadigital.odepa.gob.cl/server/api/core/bitstreams/aeed3064-077b-4b83-ba59-6fde39c960e5/content> [2025, 20 de marzo].
38. Vaughan, D. A., Lu, B. y Tomooka, N. (2008). The evolving story of rice evolution. *Plant Science*, 174 (4), 394-408. Recuperado en <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2008.01.016> [2025, 15 de marzo].
39. Zampieri, E., Pesenti, M., Nocito, F., Sacchi, G. y Valè, G. (2023). Rice responses to water limiting conditions: improving stress management by exploiting genetics and physiological processes. *Agriculture*, 13(2). Recuperado de <https://doi.org/10.3390/agriculture13020464> [2025, 03 de junio].