

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE AGRONOMÍA



**“ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO Y CONSUMO DE AGUA DEL
ARROZ (*Oryza sativa* L.) CULTIVADO CON LA TECNOLOGÍA
ALTERNATE WETTING AND DRYING”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE

INGENIERO AGRÓNOMO

EDUARDO ALEJANDRO DOLORES MORALES










LIMA – PERÚ

2023

Document Information

Analyzed document	E HEROS REVISADO 3 AGOSTO 2013 TESIS EDUARDO MORALES.docx (D172907194)
Submitted	2023-08-17 22:04:00
Submitted by	Elizabeth Consuelo Heros Aguilar
Submitter email	lizheros@lamolina.edu.pe
Similarity	3,6%
Analysis address	lizheros.unalm@analysis.arkund.com

Sources included in the report

SA	Universidad Nacional Agraria La Molina / T_007_72503953_T.pdf Document T_007_72503953_T.pdf (D141404191) Submitted by: liarf@lamolina.edu.pe Receiver: liarf.unalm@analysis.arkund.com		2
W	URL: https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/4416/chua-valero-tualee-jazm... Fetched: 2023-01-17 14:57:58		2
W	URL: https://www.fontagro.org/new/uploads/productos/16681_-_Producto_1.pdf Fetched: 2022-05-08 20:18:49		5
SA	actividad2-57711.docx Document actividad2-57711.docx (D76048633)		1
SA	Universidad Nacional Agraria La Molina / TESIS ANDREA TORRES 2022 valle jequetepeque OCT 2022.docx Document TESIS ANDREA TORRES 2022 valle jequetepeque OCT 2022.docx (D145642360) Submitted by: lizheros@lamolina.edu.pe Receiver: lizheros.unalm@analysis.arkund.com		2
W	URL: https://www.ijcmas.com/8-3-2019/K.%20Avil%20Kumar%20and%20G.%20Rajitha.pdf Fetched: 2020-12-28 08:04:48		5
SA	Universidad Nacional Agraria La Molina / Artículo ETC Chongoyape-ultimo.docx Document Artículo ETC Chongoyape-ultimo.docx (D171238039) Submitted by: liarf@lamolina.edu.pe Receiver: liarf.unalm@analysis.arkund.com		3
SA	Universidad Nacional Agraria La Molina / PROYECTO DE TESIS_ECHEGARAY.pdf Document PROYECTO DE TESIS_ECHEGARAY.pdf (D156150323) Submitted by: liarf@lamolina.edu.pe Receiver: liarf.unalm@analysis.arkund.com		1
SA	Urkun Mendoza 2.docx Document Urkun Mendoza 2.docx (D84508877)		1

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

**“ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO Y CONSUMO DE AGUA DEL ARROZ
(*Oryza sativa* L.) CULTIVADO CON LA TECNOLOGÍA ALTERNATE
WETTING AND DRYING”**

EDUARDO ALEJANDRO DOLORES MORALES

Tesis para optar el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Sustentado y Aprobado ante el siguiente jurado:

.....
Ing. M. S. Andrés Virgilio Casas Díaz
PRESIDENTE

.....
Ph. D. Elizabeth Consuelo Heros Aguilar
ASESORA

.....
Dr. Raúl Humberto Blas Sevillano
MIEMBRO

.....
Dra. Lía Ramos Fernández
MIEMBRO

LIMA – PERÚ

2023

DEDICATORIA

A mi hermano Orlando Dolores por ser mi ejemplo a seguir durante mi formación académica, personal, artística e intelectual.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres Orlando Antonio Dolores Salas y Nancy Elizabeth Morales Barrenechea por su apoyo incondicional.

A la Ph. D. Elizabeth Heros Aguilar por darme la oportunidad y apoyo en el presente trabajo de investigación.

A la institución por haberme brindado una educación de excelencia.

A Diana Huertas y Bruno Alvarado por sus ánimos y ayuda durante el desarrollo de este trabajo.

Para todos mis amigos que me han apoyado desde el inicio, gracias totales.

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1.	Taxonomía	3
2.2.	Aspectos generales de la botánica del arroz.....	3
2.2.1.	Morfología	3
2.2.2.	Órganos vegetativos	4
2.2.3.	Órganos reproductivos.....	4
2.3.	Aspectos agronómicos del cultivo del arroz	5
2.3.1.	Clima	5
2.3.2.	Agua.....	5
2.3.3.	Suelo	6
2.4.	Alternate wetting and drying (AWD)	6
III.	METODOLOGÍA	9
3.1.	Localización	9
3.2.	Características del suelo.....	10
3.3.	Datos climáticos.....	11
3.4.	Materiales.....	11
3.4.1.	Material genético	12
3.5.	Descripción del campo experimental	12
3.5.1.	Tratamientos	13
3.5.2.	Croquis.....	13
3.6.	Manejo agronómico	14
3.6.1.	Preparación de terreno	14
3.6.2.	Almácigo	15
3.6.3.	Fertilización	15
3.6.4.	Control de malezas	15
3.6.5.	Control de plagas	15
3.6.6.	Riego.....	16
3.6.7.	Cosecha.....	18
3.7.	Procedimiento experimental	18
3.7.1.	Rendimiento y consumo de agua.....	18
3.7.2.	Variables relacionadas al rendimiento.....	19

3.7.3.	Componentes del rendimiento	21
3.7.4.	Variables agronómicas	21
3.8.	Análisis estadístico de datos	22
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
4.1.	Rendimiento y consumo de agua	23
4.1.1.	Productividad del agua	24
4.2.	Variables relacionadas al rendimiento	27
4.2.1.	Acumulación de biomasa.....	27
4.2.2.	Índice de cosecha.....	28
4.2.3.	Índice de área foliar	30
4.3.	Componentes del rendimiento	31
4.3.1.	Número de panículas por metro cuadrado.....	31
4.3.2.	Número de granos por panícula.....	33
4.3.3.	Peso de 1000 granos	36
4.4.	Variables agronómicas	38
4.4.1.	Número de macollos por metro cuadrado.....	38
4.4.2.	Altura de planta.....	39
4.4.3.	Longitud de panícula	41
V.	CONCLUSIONES	44
VI.	RECOMENDACIONES	45
VII.	BIBLIOGRAFÍA	46
VIII.	ANEXOS	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Análisis físico-químico del suelo	10
Tabla 2: Datos climáticos comprendidos desde diciembre 2020 hasta julio 2021	11
Tabla 3: Ficha técnica del cultivar IR-43	12
Tabla 4: Lista de tratamientos usados en el experimento	13
Tabla 5: Fecha y volumen (m ³ .ha-1) de los riegos aplicados al tratamiento 1: IP.....	16
Tabla 6: Fecha y volumen (m ³ .ha-1) de los riegos aplicados al tratamiento 2 AWD – 5 cm	17
Tabla 7: Fecha y volumen (m ³ .ha-1) de los riegos aplicados al tratamiento 3 AWD – 10 cm	18
Tabla 8: Rendimiento (t.ha-1) para los tres tratamientos. EEVF, 2021	23
Tabla 9: Volumen de agua (m ³ /ha) y productividad del agua (kg/m ³) para los tres tratamientos	25
Tabla 10: Acumulación de biomasa (t/ha) evaluada en cuatro etapas fenológicas	27
Tabla 11: Índice de cosecha (%) de los tres tratamientos.....	29
Tabla 12: Índice de área foliar para los tres tratamientos	30
Tabla 13: Número de panículas por metro cuadrado de los tres tratamientos.....	32
Tabla 14: Número total de granos por panícula.....	33
Tabla 15: Granos vanos (%) de los tres tratamientos	34
Tabla 16: Número de granos llenos por panícula de los tres tratamientos	35
Tabla 17: Peso de 1000 granos (g) de los tres tratamientos	36
Tabla 18: Número de macollos por metro cuadrado (unidad) evaluada en cinco fechas diferentes	38
Tabla 19: Altura de planta (cm) evaluada en nueve fechas diferentes	40
Tabla 20: Longitud de panícula (cm) de los tres tratamientos.....	41
Tabla 21. Análisis de presupuestos parciales	43
Tabla 22. Análisis de dominancia	43
Tabla 23. Análisis Marginal	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diferentes tipos de la técnica AWD en función al nivel de agua por debajo del nivel del suelo y potencial hídrico	8
Figura 2: Imagen satelital de la ubicación de la investigación	9
Figura 3: Croquis del diseño del campo experimental	14
Figura 4: Rendimiento (t.ha-1) de los tres tratamientos	24
Figura 5: Volumen de agua aplicado (m ³ .ha ⁻¹) para T1	26
Figura 6: Volumen de agua aplicado (m ³ .ha ⁻¹) para T2	26
Figura 7: Volumen de agua aplicado (m ³ .ha ⁻¹) para T3	26
Figura 8: Acumulación de biomasa evaluada en 4 etapas fenológicas.....	28
Figura 9: Variable índice de cosecha (%) evaluada para los tres tratamientos.....	29
Figura 10: Relación entre el rendimiento (tn/ha) e índice de área foliar	30
Figura 11: Número de panículas por metro cuadrado	32
Figura 12: Granos vanos (%) para los tres tratamientos.....	34
Figura 13: Número de granos llenos por panícula para los tres tratamientos.....	36
Figura 14: Peso de 1000 granos.....	37
Figura 15: Número de macollos por golpe evaluado en cinco fechas diferentes ..	39
Figura 16: Altura de planta evaluadas por estados fenológicos	41
Figura 17: Relación entre longitud de panícula (cm) y número de panículas por metro cuadrado	42

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: ANOVA para la variable Altura de planta (cm)	51
Anexo 2: ANOVA para la variable número de macollos por golpe.....	52
Anexo 3: ANOVA para la variable acumulación de biomasa (tn/ha)	53
Anexo 4: ANOVA para la variable Índice de área foliar (IAF)	54
Anexo 5: ANOVA para la variable Número de panículas por metro cuadrado	55
Anexo 6: ANOVA para la variable Rendimiento (t/ha)	56
Anexo 7: ANOVA para la variable Índice de Cosecha	57
Anexo 8: ANOVA para la variable Longitud de panícula (cm)	58
Anexo 9: ANOVA para la variable Porcentaje de granos vanos (%).....	59
Anexo 10: ANOVA para la variable Porcentaje de granos llenos (%) por panícula.....	60
Anexo 11: Proyecto FONTAGRO – Más arroz con menos emisiones y con menor consumo de agua	61
Anexo 12: Instalación de vertedero y canaleta.....	61
Anexo 13: Piezómetro en campo.....	61
Anexo 14: Colección de fotos del lugar de investigación	62
Anexo 15: Cosecha manual de arroz	62

RESUMEN

El cultivo de arroz tiene una gran importancia en la alimentación básica del Perú. Uno de los grandes retos de la producción de arroz es mejorar el ahorro del agua y optimizar rendimientos. La Alternancia de Mojado y Secado o “Alternate Wetting and Drying” (AWD) es una técnica de irrigación que consiste en usar menos cantidad de agua alternando periodos secos en el riego. El presente trabajo se realizó en la Estación Experimental Vista Florida del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), Lambayeque, en la campaña correspondiente del año 2020 – 2021, con los objetivos de poder contribuir a la reducción del uso de agua y analizar el efecto de esta técnica sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo. Evaluamos tres tratamientos de riego: (1) Sistema de inundación permanente, (2) AWD con un descenso del nivel de agua de 5 cm por debajo de la superficie del suelo y (3) AWD con un nivel de agua de 10 cm por debajo de la superficie del suelo. En general, el sistema de inundación permanente tuvo el más alto rendimiento logrando 8.7 t/ha; sin embargo, el tratamiento AWD – 5 cm pudo reducir 10.9 % de consumo hídrico y mantener el 87 % del rendimiento de inundación permanente (8.7 t/ha). El número de macollos por metro cuadrado y el número de panículas por metro cuadrado fueron las variables más afectadas por los tratamientos de AWD. La productividad del agua fue igual para los tres sistemas. Concluimos que, bajo nuestras condiciones, la técnica AWD promete el ahorro de agua y más investigación debe realizarse para minimizar la reducción del rendimiento.

Palabras clave: Arroz, AWD, rendimiento, ahorro de agua

ABSTRACT

Rice production has a great significance in Peru's basic diet. One of the big challenges of rice production is to improve water saving while optimizing yield. Alternate Wetting and Drying (AWD) is an irrigation practice that consists on reducing water consumption by alternating dry and wet cycles on irrigation. In this work; carried out at the Vista Florida Experimental Station of the Instituto Nacional de Innovación Agraria - INIA (National Institute of Agrarian Innovation), Lambayeque, during the growing season of 2020 – 2021; the objectives stablished were to contribute to water saving rice production and to analyze the effect of AWD in rice growth and yield. We evaluated three irrigation treatments: (1) continuous flooding (CF), (2) AWD with 5 cm of field water level below the surface and (3) AWD with 10 cm of field water level below de surface. Overall, continuous flooding system had the highest yield compared to both AWD systems, reaching 8.7 t/ha; yet the AWD – 5 cm treatment reduced water consumption in 10.9% and managed to obtain 87% of CF yield. Number of tillers formed per square meter and the number of panicles formed per square meter were most the variables most affected by AWD treatments. On the other hand, water productivity was the same on the three systems as no difference were observed. We concluded that, with our current conditions in production, Alternate Wetting and Drying is a promising technique that can save water usage and more research needs to be done in order to minimize yield reduction.

Keywords: Rice, AWD, yield, water level

I. INTRODUCCIÓN

El cultivo de arroz *Oryza sativa* L. tiene una gran importancia en el país por ser un alimento que forma parte de la dieta diaria de la población peruana. La producción este cultivo a nivel nacional fue de 3 399 574 toneladas en el año 2021 y desde el año 2001 su producción ha venido incrementando. En el año 2021, las principales regiones productoras fueron: San Martín representando el 25.8%, Piura con 17.1%, Amazonas con 11.09% y Lambayeque con 11.06%. Sin embargo, en términos de rendimiento las principales regiones fueron: Arequipa que alcanzó un rendimiento 14 t/ha, Ancash alcanzó 12 t/ha y La Libertad alcanzó 11 t/ha (Sistema Integrado de Estadística Agraria [SIEA], 2022).

La técnica *Alternate Wetting and Drying* (en adelante “alternancia de secado y mojado” o “AWD”) es el enfoque ahorrador de agua más atractivo que es practicado en diferentes partes del mundo, forma parte de un conjunto de métodos de ahorrar agua e incrementar la producción de arroz, entre otras técnicas se tiene, por ejemplo: arroz aeróbico, siembra directa, sistema de intensificación del arroz y cultivo en suelo saturado (Ishfaq, Farooq, Zulfikar, Hussain, Akbar, Nawaz & Anjum, 2020). En la costa peruana se utilizan 12 000 a 20 000 m³ de agua en un sistema de riego por inundación permanente, siendo solo la demanda del cultivo un promedio de 14 000 m³ ha⁻¹ (Heros, 2012). Los beneficios potenciales de un sistema AWD incluye un ahorro de agua del 23 a 33%, mejor eficiencia de uso de agua y mantiene o incluso incrementa los rendimientos (Ishfaq et al., 2020).

La técnica AWD consiste en que los campos de cultivo tengan ciclos de secado y mojado de forma alternada. En lugar de mantener las pozas inundadas permanentemente, estas solo se inundan cuando la superficie del suelo adquiere características aeróbicas (Zhang et al., 2009). Esta técnica es usada en todas las etapas de crecimiento del cultivo a excepción de: las primeras 2 semanas del trasplante y desde la formación de las panículas hasta la finalización de la floración (Yang et al., 2017).

El presente trabajo busca contribuir al conocimiento de la correcta aplicación de la técnica AWD para el ahorro hídrico y mantener o incrementar rendimientos, favoreciendo a los agricultores arroceros y al medio ambiente para su mejor uso de los recursos naturales. Este trabajo evalúa los parámetros vegetativos, reproductivos, de rendimiento e hídricos para tres tipos de sistemas: (1) sistema de inundación permanente, (2) sistema AWD para un nivel de agua por debajo del suelo de 5 cm y (3) sistema AWD para un nivel de agua por debajo del suelo de 10 cm.

El objetivo general del presente trabajo es:

- Contribuir a la reducción del consumo de agua en la producción de arroz para una producción sustentable.

Objetivos específicos:

- Determinar el efecto de los periodos de secado en el rendimiento de arroz cáscara.
- Analizar la variación de las respuestas agronómicas de los tratamientos con periodos de secado en comparación al tratamiento de inundación permanente.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. TAXONOMÍA

Según Strasburger (1986), el arroz es clasificado de acuerdo a los siguientes taxones:

División:	Magnoliophyta
Clase:	Liliopsida
Superorden:	Commelinanae
Orden:	Poales
Familia:	Poaceae
Subfamilia:	Oryzoideae
Género:	<i>Oryza</i>
Especie:	<i>Oryza sativa</i> Linn.

2.2. ASPECTOS GENERALES DE LA BOTÁNICA DEL ARROZ

2.2.1. Morfología

La planta de arroz es una gramínea anual con gran capacidad de adaptación para desarrollarse bajo condiciones semiacuáticas o acuáticas (Pincirolí, 2015). La estructura de la planta está

compuesta por tallos huecos y cilíndricos formados por entrenudos y nudos, hojas angostas y planas y una inflorescencia de tipo panícula (Pincirolí, 2015).

2.2.2. Órganos vegetativos

Los órganos vegetativos de la planta del arroz están constituidos por la raíz, tallo y hojas.

- **Raíz:** El sistema radicular está compuesto de dos tipos de raíces, una raíz seminal y raíces secundarias. La raíz seminal tiene la característica de ser de corta duración, mientras que las raíces secundarias son permanentes, tienen origen adventicio y forman un sistema de verticilos que nacen a partir de los nudos (Pincirolí, 2015).

- **Tallo:** Es una composición de nudos y entrenudos huecos, varían en tamaño y número según cada cultivar. Cada tallo, también conocido como macollo, se forma el primero cuando emerge la quinta hoja y el segundo, cuando emerge la sexta hoja (Olmos, 2007).

- **Hojas:** Las hojas son anchas y de lámina plana. Están constituidas de una vaina, un cuello (lígula y aurícula) y una lámina. La última hoja que emerge del tallo es conocida como la hoja bandera (Yoshida, 1981).

2.2.3. Órganos reproductivos

Los órganos reproductivos están constituidos por la inflorescencia y el fruto.

- **Inflorescencia:** Las flores de la planta de arroz constituyen una inflorescencia de tipo panícula, la cual emerge del nudo ciliar. Cada flor individual se llama espiguilla, esta contiene a la flor, raquilla y dos lemmas estériles. (Degiovanni et al., 2010).

- **Fruto:** El fruto es un cariósido indehiscente y seco, y es conocido como grano, que cuando es cosechado mantiene las dos lemmas estériles (lemma y palea) que vienen a ser la cáscara del arroz (Olmos, 2007).

2.3. ASPECTOS AGRONÓMICOS DEL CULTIVO DEL ARROZ

2.3.1. Clima

Los factores climáticos que influyen en el cultivo del arroz son:

- **Temperatura:** Según Sanabria (2003) las temperaturas óptimas del arroz están entre 22 y 30°C, mientras que las temperaturas críticas mínima son 10°C y la máxima 35°C. Además, necesita diferencias entre las temperaturas diurnas y nocturnas durante la floración y maduración para un buen rendimiento.

- **Radiación:** Para tener un buen crecimiento del cultivo del arroz se necesita suficiente intensidad de luz. El punto de saturación de luz de la tasa fotosintética se ha demostrado que está aproximadamente entre 800 y 1000 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ a 25°C, la planta del arroz debe recibir una radiación entre 250 a 450 $\text{cal. cm}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$ (Yamori et al., 2014).

- **Humedad relativa:** La humedad relativa superior a 80% representa una condición para que se desarrollen serios problemas sanitarios como el “quemado”, que es causado por el hongo *Pyricularia grisea*, por lo que este factor influye en el crecimiento del arroz indirectamente (Heros, 2012).

2.3.2. Agua

El arroz cuando es cultivado de forma tradicional en el trópico y subtropical de Asia, requiere entre 700 a 1500 mm de agua, este rango incluye 150 a 250 mm para la preparación del terreno, 50 mm para el almácigo y de 500 a 1200 mm para favorecer la evapotranspiración. También existen pérdidas por percolación escorrentía e infiltración. El agricultor consume siete veces más la cantidad requerida (Catasús, 1998).

2.3.3. Suelo

El cultivo del arroz puede adaptarse a varias clases de suelos entre los más beneficiosos son los de textura franco limoso-arcilloso o franco arcilloso, además no deben tener problemas de salinidad ni de drenaje (Rodríguez, 2017).

El pH óptimo para el crecimiento radicular de la planta de arroz es 6 (Elisa et al., 2011), sin embargo, Carbajal (2011, mencionado en Nakandakari, 2017) menciona que el pH óptimo es de 6.6 ya que a este pH la liberación de fósforo y nitrógeno por parte de los microorganismos es alta, además, después de la inundación el pH tiende a la neutralidad.

2.4. ALTERNANCIA DE SECADO Y MOJADO (AWD)

La metodología de Alternancia de Secado y Mojado (AWD), es un método de irrigación que usa eficientemente el agua y su uso está incrementándose en el Asia, especialmente en Japón, China e India. Este método implica que los campos de arroz no estén continuamente sumergidos en agua sino, que tenga periodos intermitentes de secado durante la etapa de crecimiento (Van der Hoek et al., 2001).

Según Ishfaq et al. (2020), el Instituto Internacional de Investigación en Arroz (IRRI) desarrolló la técnica AWD en los años 1970s la cual ha sido principalmente adoptada en China en suelo de textura pesada como un “drenaje de mitad de campaña” y consecuentemente ha sido aceptado por otros países del Asia y E.E.U.U. Los factores limitantes para la adopción de esta técnica son las condiciones climáticas, grado de mecanización, tipo de suelo y disponibilidad del recurso hídrico.

La técnica AWD comprende de 3 elementos claves: 1) inundado poco profundo por las 2 primeras semanas, 2) una capa delgada de 2 a 3 cm de agua permanente desde la iniciación floral hasta el final de floración y 3) ciclos de AWD durante el periodo de crecimiento (Yang et al., 2017). Según Chu, G., Chen, T., Wang, Z., Yang y J., Zhang, J. (2014) en AWD, los ciclos están relacionados directamente con la textura de suelo, potencial hídrico y elementos ambientales.

Según Hassanuzzaman (2019), el campo se deja secar hasta que el nivel del agua baje hasta 15 cm por debajo del suelo después de dos semanas del trasplante. El siguiente riego se aplica para inundar el campo con una lámina de altura 3 a 5 cm. Este ciclo debe mantenerse hasta la floración. La aplicación de nitrógeno puede ser realizada preferentemente en el suelo seco justo antes de la irrigación.

Michael y Samuel (2017) indican que se puede usar un tubo de plástico de 30 cm de largo y un diámetro de 15 cm con la finalidad que el nivel de agua del suelo sea visible, este tubo tiene que estar insertado dejando 15 cm por encima del suelo y se tiene que remover el suelo que esté dentro del tubo para que la parte profunda esté visible. Esto también es mencionado por Ishfaq et al. (2020) donde tubos o incluso botellas de plástico perforados de 10 a 20 cm de diámetro pueden ser usados para observar el nivel del agua. Inicialmente se da el riego de 5 cm de altura de lámina y luego los agricultores esperan hasta que la napa freática baje hasta cierto límite por debajo del nivel del suelo debido a drenaje, percolación y evapotranspiración, a continuación, el campo se vuelve a regar cuando el nivel del agua baja a 15 cm por debajo del suelo, a esta técnica se llama “AWD seguro” (Bouman, Humphreys, Tuong y Barker, 2006).

La técnica AWD además puede subdividirse en 3 tipos: AWD seguro, AWD moderado y AWD severo (Figura 1). Según Lampayan et al. (2015), un AWD seguro se caracteriza por mantener o incrementar el rendimiento y al mismo tiempo ahorrar 15 a 30% de agua, por lo tanto, se recomienda implementar este tipo de técnica en las fases vegetativas y llenado de grano. Sin embargo, la cantidad de días de secado, su duración, ahorro hídrico y el nivel de inundación van a depender de las condiciones climáticas, tipo de suelo, percolación y evapotranspiración (Chu et al., 2014). Este tipo de irrigación puede reducir el uso de agua entre 18 a 27% y resultar en un aumento de la productividad del agua, sin embargo, también reduce el rendimiento en 22% a 37% (Jabran et al., 2015).

Dong et al. (2012) menciona que la AWD puede influenciar en el rendimiento de grano debido a un cambio en el ciclo del nitrógeno. Ciclos de secado y mojado causan que el proceso de desnitrificación y nitrificación tengan una mínima pérdida de nitrógeno (Buresh et al., 2008). Si el ciclo de secado es prolongado la pérdida de nitrógeno (incluyendo N₂O) puede incrementar a través de la nitrificación mientras que puede desnitrificarse tan pronto

como se produzca la inundación, por lo tanto, el manejo de agua y el tiempo de aplicación del nitrógeno deben tenerse en cuenta para evitar emisiones de N_2O (Cai et al., 1997; Hussain et al., 2015).

El uso de la técnica AWD en los diferentes estados fenológicos tienen efectos variados en el arroz. Este cultivo es más sensible al déficit hídrico en etapas críticas como iniciación de panícula, anthesis y llenado de grano. Siendo así que la implementación de AWD en las etapas reproductivas causaron reducción de rendimiento a comparación de la implementación en etapas vegetativas (Mote, Rao, Ramulu, Kumar y Devi, 2018). El estrés hídrico leve en el macollamiento ocasiona un menor desarrollo vegetativo en la hoja, como consecuencia, en floración hay una menor competencia por los fotosintatos, por lo que la traslocación de fotosintatos hacia las panículas es favorecida (Pascual y Wang, 2017).

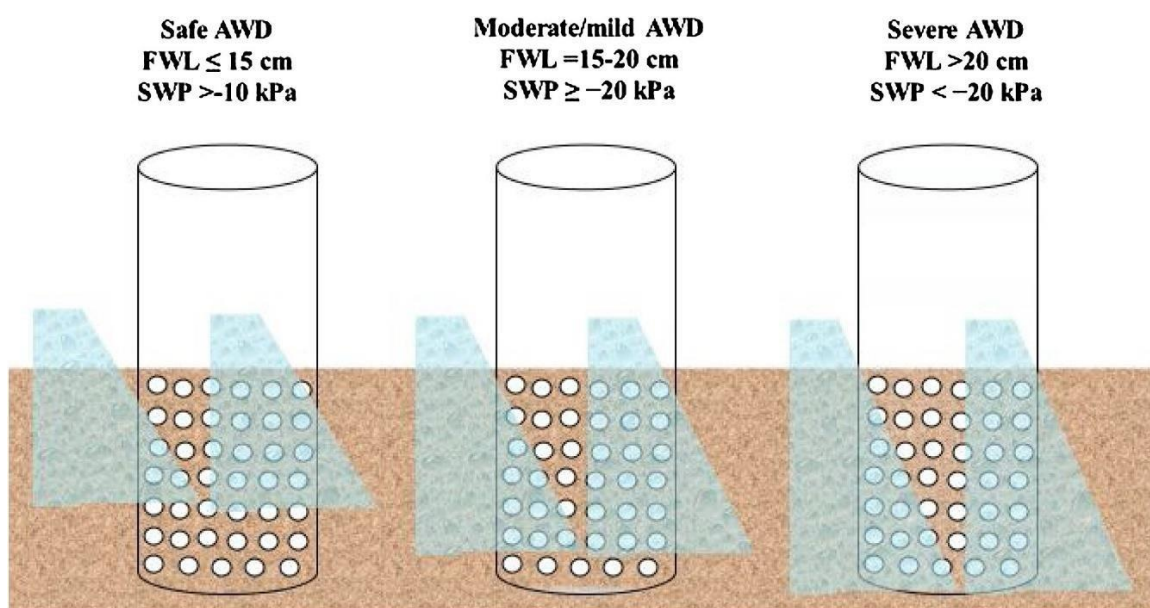


Figura 1. Diferentes tipos de la técnica AWD en función al nivel de agua por debajo del nivel del suelo y potencial hídrico (indicado en color celeste). Obtenido de Ishfaq et al. (2020). De izquierda a derecha; AWD seguro caracterizado por un nivel de agua por debajo de la superficie del suelo menor a 15 cm y más de -10kPa de potencial hídrico, AWD moderado caracterizado por un nivel de agua por debajo de la superficie del suelo entre 15 a 20 cm y -20 kPa de potencial hídrico y AWD severo caracterizado por un nivel de agua por debajo de la superficie del suelo mayor a 20 cm y menos de 20 kPa de potencial hídrico.

III. METODOLOGÍA

3.1. LOCALIZACIÓN

El presente trabajo tuvo lugar en la Estación Experimental Agraria Vista Florida del INIA, ubicado en el distrito de Picsi, en el departamento de Lambayeque, de coordenadas $06^{\circ}43'34''$ S $79^{\circ}46'49''$ W y altitud 30 m.s.n.m.



Figura 2: Imagen satelital de la ubicación de la investigación. Se puede observar las parcelas de los 3 tratamientos denotado en un círculo rojo.

3.2. CARACTERÍSTICAS DEL SUELO

Tabla 1: Análisis físico-químico del suelo.

pH	C.E. (1:1) ds/m	CaCO ₃ %	M.O %	P ppm	K ppm	Análisis mecánico			Clase textural
						Arena %	Limo %	Arcilla %	
7.96	0.62	5.7	1.1	16	441	28	36	36	Franco Arcilloso

CIC	Cationes Cambiables (meq/100g)					Suma de cationes	Suma de bases	Saturación de bases %
	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			
27.52	23.61	3.02	0.67	0.22	0	27.52	27.52	100

Fuente: Adaptado del Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes (LASPAF).

3.3. DATOS CLIMÁTICOS

Los datos climáticos fueron obtenidos de la Estación Meteorológica – INIA – Estación Experimental Vista Florida (Tabla 2) y corresponden a la campaña 2020 – 2021, comprendido entre los meses de diciembre 2020 hasta julio 2021.

Tabla 2: Datos climáticos comprendidos desde diciembre 2020 hasta julio 2021.

Mes	Temperatura (°C)			Radiación solar (cal.cm ⁻²)	Precipitación (mm)
	Promedio	Máxima	Mínima		
Diciembre	23.66	29.38	17.94	581.9	0.02
Enero	24.89	30.39	19.39	554.8	0
Febrero	25.80	31.77	19.82	515.9	0
Marzo	26.07	31.66	20.48	504.7	0.23
Abril	23.73	29.43	18.03	510.4	0.3
Mayo	22.05	26.55	17.55	442.2	0.06
Junio	20.91	24.85	16.97	341.6	0.07
Julio	19.77	24.38	15.15	309.9	0

Fuente: Adaptado de los datos obtenidos de la Estación Experimental Vista Florida.

3.4. MATERIALES:

- Balanza
- Bolsas de papel
- Tijeras
- Libreta de campo
- Marcadores indelebles
- Etiquetas
- Machete
- Vernier
- Semillas del cultivar IR-43

La aplicación de la Alternancia de Secado y Mojado será realizada con la ayuda de un piezómetro de 40 cm de longitud con 15 cm de diámetro. El piezómetro será introducido

dejando 15 cm sobre el suelo, la parte introducida tiene perforaciones de 0.5 cm distanciados a cada 5 cm.

3.4.1. Material genético

Se usó el cultivar IR-43, también llamado NIR – 1, para la investigación. Este cultivar fue desarrollado por el Instituto Internacional de Investigación en Arroz (por su siglas en inglés, IRRI).

Tabla 3: Ficha técnica del cultivar IR-43

Periodo vegetativo	150 días
Altura de planta	90 – 100 cm
Macollaje	Muy Prolífico
Resistencia a tumbada	Moderada – Resistente
Rendimiento potencial	10 – 12 TM
Longitud de Panoja	21 – 23 cm
Peso de 1000 granos	26 g
Rendimiento de molinería	69%
Grano entero	57%
Grano quebrado	12%
Zonas opacas	Menos del 10%
Largo	9.6 mm
Ancho	2.8 mm
Apariencia de grano	Semi – transparente
Resistencia al desgrane	Intermedia

Fuente: Obtenido de semillaspiuranas.com

3.5. DESCRIPCIÓN DEL CAMPO EXPERIMENTAL

Se establecieron tres parcelas y a cada una de ellas se le asignó un tratamiento. Las parcelas tuvieron las dimensiones de 16 m x 16 m.

Para comparar el efecto de los tratamientos se utilizó la prueba “t de Student” para muestras independientes a un nivel de significancia de 0.05.

3.5.1. Tratamientos

Tabla 4: Lista de tratamientos usados en el experimento.

Tratamientos	
T1	Riego por inundación permanente (IP)
T2	Secado + inundación cuando el agua descendió en el piezómetro 5 cm debajo de la superficie de suelo (AWD – 5 cm)
T3	Secado + inundación cuando el agua descendió en el piezómetro 10 cm debajo de la superficie de suelo (AWD – 10 cm)

Se instalaron dos vertederos RBC Flume 13.17 patentado por Eijkelmamp de Holanda con capacidad de descarga hasta 50 litros por segundo. Un vertedero realizó la medición para el tratamiento 1 y 2 mientras que el segundo vertedero se usó para la medición correspondiente al tratamiento 3. Además, se instalaron 6 sensores de humedad ubicados a 20 cm (3) y 10 cm (3) del tipo Watermark y TDR en los campos de tratamiento 2 y 3.

El área experimental presentará las siguientes características:

- Número de plantas por golpe: 4 a 6
- Distanciamiento entre golpes: 20 cm x 25 cm
- Número de golpes por tratamiento: 5120
- Tratamientos (parcelas): 3
- Área de cada parcela (16 m x 16 m): 256 m²
- Puntos de muestreo por parcela: 24
- Área de cada punto de muestreo (2 m x 5 m): 10 m²
- Área total del campo experimental: 768 m²

3.5.2. Croquis

En la figura 3 se muestra el croquis de la distribución del campo experimental.

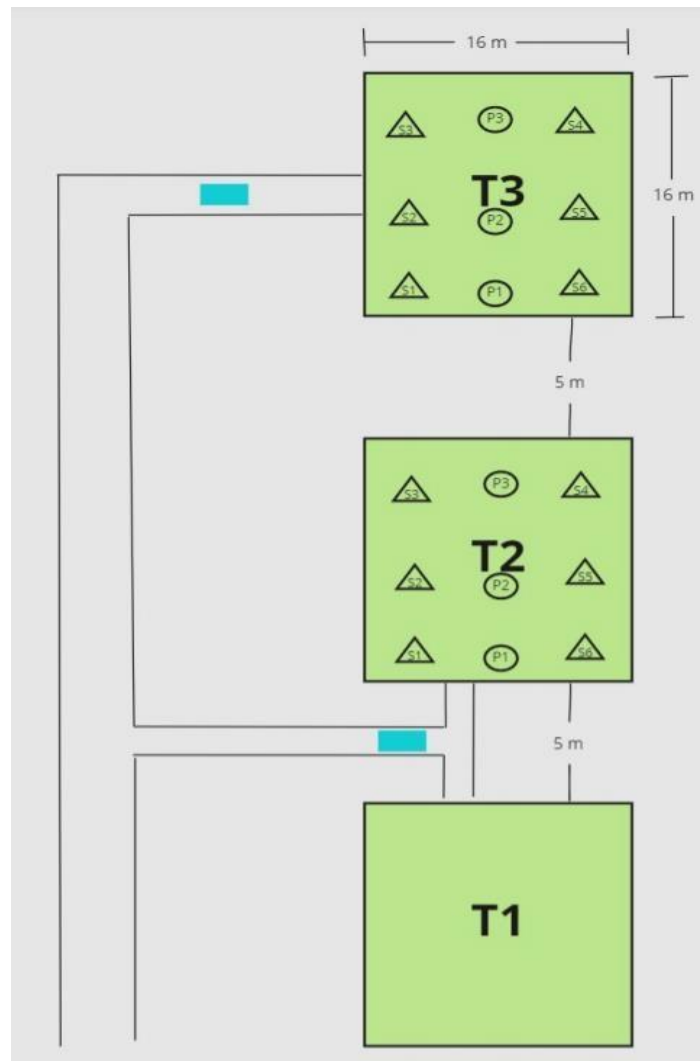


Figura 3. Croquis del diseño del campo experimental. Del P1 al P3, piezómetros; del S1 al S6, sensores de humedad. En celeste, canaletas Parshall.

3.6. MANEJO AGRONÓMICO

3.6.1. Preparación de terreno

La preparación del terreno comenzó en el mes de diciembre del año 2020 y se continuó hasta enero del 2021. La nivelación del terreno se realizó con un nivelador laser el cinco de enero. La labor de bordeadura se realizó el nueve de enero con ayuda de un bordeador. Los bordes fueron rectificados en forma manual.

La pozas se dimensionaron en 16 m de largo x 16 m de ancho, 1 poza por tratamiento y entre estos hubo un distanciamiento de 5 m para controlar la infiltración.

3.6.2. Almacigo

El almacigo fue instalado el primero de enero usando el cultivar IR-43 a una densidad de 150 g m^{-2} .

La extracción de las plántulas del almacigo se realizó el dos de febrero y el trasplante se inició el tres de febrero. Debido a la insuficiente cantidad de agua para realizar los trasplantes, se retrasó el llenado de parcelas hasta el 6 de febrero.

Los golpes consistieron entre 4 a 6 plantas y su distanciamiento fue de 25 cm entre hileras y 20 cm entre golpes, totalizando 5 120 golpes por tratamiento.

3.6.3. Fertilización

En el almacigo, la fertilización se realizó el trece de enero con 150 Kg N ha^{-1} mediante sulfato de amonio. Debido a la presencia de temperaturas nocturnas bajas se realizó una fertilización de refuerzo con 50 Kg N ha^{-1} . El quince de febrero se realizó una fertilización con 120 – 60 – 60.

El doce de marzo se fertilizó con 40 Kg N ha^{-1} con sulfato de amonio debido a que se observa clorosis incipiente por temperaturas nocturnas bajas. Una última fertilización se realizó el nueve de abril con 40 Kg N ha^{-1} con sulfato de amonio.

3.6.4. Control de malezas

Se aplicó el herbicida pre-emergente Saturn 5%G el cinco de enero a una dosis de 6 g m^{-2} (dosis de etiqueta). En trasplante, el nueve de febrero se realizó la aplicación de Bengala 240SC.

3.6.5. Control de plagas

El trece de enero se aplicó el insecticida Dunkan Flex 400SC para el control de mosca minadora *Hydrellia wirthi*. El 25 de febrero se realizó la aplicación del mismo insecticida Dunkan Flex 400SC para el control de mosca minadora *Hydrellia wirthi* y de sogata *Tagosodes oryzicolus*.

3.6.6. Riego

A continuación, se describe la metodología de riego para cada tratamiento.

a. Inundación permanente:

El tratamiento 1 fue regado para mantener la inundación permanente, aplicándose dieciséis riegos comprendidos desde el 2 de febrero hasta el 24 de abril. Los 16 riegos se describen en la siguiente tabla:

Tabla 5: Fecha y volumen ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) de los riegos aplicados al tratamiento 1: IP

Fecha	Volumen ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)
02/02/21	2047
04/02/21	741
06/02/21	431
09/02/21	1058
12/02/21	965
16/02/21	1077
18/02/21	1085
25/02/21	613
02/03/21	810
08/03/21	698
12/03/21	374
23/03/21	395
31/03/21	504
09/04/21	861
15/04/21	670
24/04/21	491
Total	12820

b. AWD – 5 cm:

El tratamiento 2 consistió en alternar periodos de secado con inundaciones cuando el agua descendió en el piezómetro 5 cm debajo de la superficie del suelo. En total se realizaron trece riegos comprendidos entre el dos de febrero hasta el 24 de abril. Los que se indican en la siguiente tabla.

Tabla 6: Fecha y volumen ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$) de los riegos aplicados al tratamiento 2 AWD – 5 cm.

Fecha	Volumen ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$)
02/02/21	2102
04/02/21	800
06/02/21	858
09/02/21	1059
12/02/21	798
16/02/21	1075
18/02/21	1079
25/02/21	587
04/03/21	902
12/03/21	605
09/04/21	396
21/04/21	667
24/04/21	492
Total	11420

c. AWD – 10 cm:

El tratamiento 3 consistió en alternar periodos de secado con inundaciones cuando el agua descendió en el piezómetro 10 cm debajo de la superficie de suelo. En total se realizaron once riegos comprendidos entre el 2 de febrero hasta el 24 de abril, que se describen en la siguiente tabla.

Tabla 7: Fecha y volumen ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) de los riegos aplicados al tratamiento 3 AWD – 10 cm.

Fecha	Volumen ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)
02/02/21	1681
06/02/21	764
09/02/21	847
16/02/21	1070
18/02/21	1085
25/02/21	948
02/03/21	648
08/03/21	850
12/03/21	472
09/04/21	595
24/04/21	421
Total	9381

3.6.7. Cosecha

La cosecha se realizó de forma manual con ayuda de hoces para realizar el corte a nivel de la base del tallo, luego se procedió al azote para poder obtener los granos y finalmente el venteo que consistió en poder eliminar rastros de paja que se quedaron en los granos.

3.7. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

3.7.1. Rendimiento y consumo de agua

La cosecha del cultivo se realizó en forma manual preferentemente en las mañanas, esta actividad es seguida del azote con la finalidad de obtener los granos y finalmente se venteó para la eliminación de la paja.

Esta se realizó en 24 puntos por cada tratamiento y se cosechó solo 3 m^2 de la parte central de cada punto. Luego, el rendimiento se ajustó a una humedad del 14%. Finalmente, se expresó en t. ha^{-1} .

El volumen de agua aplicado por cada tratamiento se midió con un vertedero portátil RBC de la marca Eijkelkamp, cuya medición de caudal se expresa en L.seg-1. Se midió el caudal cada 3 minutos durante toda la duración del riego por cada tratamiento. Finalmente, esta variable se expresará en m³. ha⁻¹ por cada tratamiento.

Para la aplicación de la tecnología de humedecimiento y secado se utilizó un tubo para medir el descenso de la napa. Este tubo tiene una longitud de 0.4 m y 0.15 m de diámetro con perforaciones de 5 mm distanciados a 5 cm en 25 cm de largo del tubo. Se introduce 10 cm en el suelo quedando 15 cm de largo con perforaciones sin suelo que se introduce hasta al ras del suelo. A medida que el agua se consume el nivel va descendiendo dentro del tubo. Esta herramienta es utilizada en las áreas arroceras del Asia para determinar cuándo regar. De estos tubos perforados se colocaron 3 en cada tratamiento.

a. Productividad del agua

La productividad del agua se relaciona al rendimiento en grano obtenido por cada metro cúbico de agua aplicada. Se calculó con la siguiente fórmula:

$$Productividad\ del\ agua = \frac{Rendimiento\ obtenido}{Volumen\ de\ agua\ aplicado}$$

3.7.2. Variables relacionadas al rendimiento

a. Acumulación de biomasa

Para la determinación de esta variable se tomó entre 4 a 5 golpes de puntos de muestreo diferentes. Las plantas extraídas desde la raíz, fueron lavadas y cortadas desde la raíz con la finalidad de solo llevar los órganos aéreos a estufa a 70°C hasta peso constante. Esta variable fue evaluada no solo en la fase vegetativa, sino en todas las fases del cultivo.

b. Índice de cosecha

Se cogieron dos golpes al azar de seis puntos de muestra por cada tratamiento. Por cada golpe, las raíces fueron lavadas y eliminadas.

Los granos se removieron del raquis y se depositaron en una bolsa de papel. Los restos del raquis junto con las demás partes aéreas de las plantas fueron colocados en otra bolsa de papel.

Ambas bolsas rotuladas se llevaron a estufa a 70°C hasta peso constante. Para la obtención del índice de cosecha se utilizó la siguiente fórmula:

$$IC = \frac{\text{Peso seco de granos}}{\text{Peso seco de granos} + \text{Peso seco de paja}}$$

c. Índice de área foliar (IAF)

La determinación del IAF se hizo tomando cuatro golpes al azar por tratamiento. De cada golpe se tomó cuatro tallos al azar y de estos tallos se midió el largo y ancho de cada hoja. Se multiplicó por 0.7, que es el factor para determinar el área foliar al 50% de floración. Las hojas medidas fueron colocadas a 70°C en estufa hasta peso constante. Las hojas de los otros tallos del golpe se colocaron a secar a peso constante. Relacionando el área de los cuatro tallos con los tallos totales se determinó el área foliar del golpe. Con los tres golpes restantes del tratamiento se aplicó el mismo procedimiento.

La relación del área foliar de los cuatro golpes con el área de suelo que ocuparon es el índice de área foliar.

3.7.3. Componentes del rendimiento

a. Número de panículas por metro cuadrado

El número de panículas fue contabilizado en doce puntos de muestreo en cada tratamiento. Y de cada punto, dos golpes al azar fueron elegidos. La variable finalmente se expresó en número de panículas/m².

b. Número de granos por panícula

De los doce puntos de muestreo por tratamiento de la variable anterior, se seleccionaron seis puntos al azar, en los que, se tomó 6 muestras al azar de diez panículas. En cada muestra se contabilizó el número de granos totales, llenos y vanos por panícula.

c. Peso de 1000 gramos

De cada tratamiento, se tomaron seis puntos de muestreo. De cada punto se obtuvo una muestra de 1000 granos, totalizando 6 muestras por cada tratamiento. El peso fue determinado con la ayuda de una balanza analítica.

3.7.4. Variables agronómicas

a. Numero de macollos por metro cuadrado

Para determinar esta variable, se contó el número de macollos en dos golpes por cada punto de muestreo de los 24 en cada tratamiento.

b. Altura de planta:

La altura de la planta se determinó desde la superficie del suelo y hasta el ápice de la panícula u hoja más alta. Esta medición proviene de plantas pertenecientes a un golpe al azar en cada punto de muestreo, 24 en total, por cada tratamiento.

c. Longitud de panícula

Esta variable se midió en todas las muestras de diez panículas colectadas para evaluar el número de granos por panícula. El criterio a seguido fue tomar la distancia desde el nudo ciliar hasta el ápice de la panícula, en cm.

3.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS

Todas las variables fueron analizadas con la prueba estadística “t de Student” con un nivel de significancia del 5% para comparar los efectos de 3 tratamientos usados en el experimento. Las pruebas estadísticas corresponden a las siguientes fórmulas:

$$t = \frac{\bar{X} - \bar{Y}}{\sigma_p \sqrt{\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}}}$$

t = Valor estadístico de la prueba t de Student

\bar{X} = Valor promedio del grupo 1

\bar{Y} = Valor promedio del grupo 2

N_1 = Tamaño de la muestra del grupo 1

N_2 = Tamaño de la muestra del grupo 2

$$\sigma_p = \frac{\sqrt{SC_1 + SC_2}}{(N_1 - 1) + (N_2 - 1)}$$

σ_p = Desviación estándar ponderada de ambos grupos

N_1 = Tamaño de la muestra del grupo 1

N_2 = Tamaño de la muestra del grupo 2

Todos los análisis estadísticos fueron realizados con el software RStudio y IBM SPSS Statistics 25.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Rendimiento y consumo de agua

La prueba T de Student para muestras independientes de los tratamientos (Anexo 6) da como resultado diferencias significativas ($p < 0.05$) para todas las comparaciones: T1 – T2, T2 – T3 y T1 – T3. La tabla 8 muestra el resumen de estas comparaciones entre los 3 tratamientos.

Tabla 8: Rendimiento ($t \cdot ha^{-1}$) para los tres tratamientos. EEVF, 2021.

Tratamiento	Rendimiento (tn/ha) *
T1	8.70a
T2	7.50b
T3	5.72c

*Los valores promedios seguidos de la misma letra en columnas no difieren significativamente ($p < 0.05$, Prueba T de Student).

La tabla 8 muestra que el mayor rendimiento fue obtenido por el tratamiento T1 ($8.7 t \cdot ha^{-1}$) seguido por el tratamiento T2 ($7.5 t \cdot ha^{-1}$) y T3 ($5.72 t \cdot ha^{-1}$). Estas respuestas muestran diferencias significativas por lo que se puede interpretar que esta variable es más sensible a los déficits hídricos de la tecnología AWD

Carrijo et al. (2017) realizaron un análisis compilatorio de varios estudios sobre la técnica AWD y encontraron que, en general, la técnica AWD reduce el rendimiento en 5.4%. En el presente estudio se encontró que el tratamiento T2 con respecto al T1 el rendimiento se redujo en un 13.7%.

El efecto del AWD en el rendimiento depende varios factores como el umbral del AWD y el momento oportuno de aplicación de esta técnica. Los autores mencionan que cuando la técnica AWD es realizada durante la etapa vegetativa o la etapa reproductiva, no hay una diferencia significativa en el rendimiento; es decir, hay disminución mínima del rendimiento. Sin embargo, cuando esta técnica es aplicada en toda la campaña sí muestran resultados significativos en la reducción del rendimiento. Por otro lado, cuando el umbral del AWD es de los 15 cm, no muestra una penalidad en la reducción del rendimiento; mientras que, en un umbral del AWD mayor a los 15 cm; el rendimiento se reduce en 22%.

Los resultados de los tratamientos T1, T2 y T3 muestran diferencias significativas con una reducción de rendimiento hasta de 34.48% (T3). Ishfaq (2020) menciona que los criterios de aplicación de la técnica AWD va a depender del lugar, implicando que el tipo de suelo, condiciones climáticas, entre otros factores, influyen en la optimización de la técnica y por lo tanto, se esperan resultados distintos.

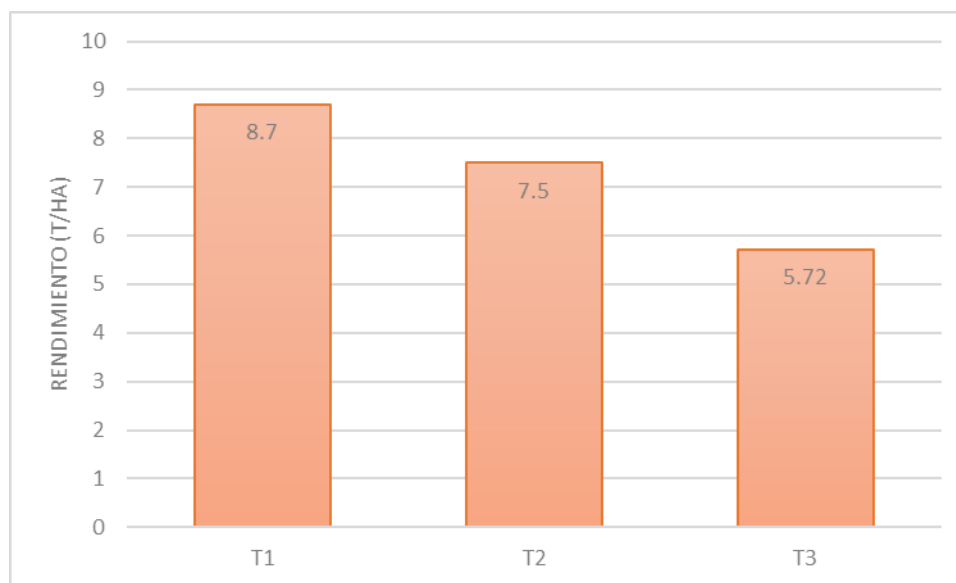


Figura 4. Rendimiento ($t \cdot ha^{-1}$) de los tres tratamientos.

4.1.1. Productividad del agua.

Esta variable fue obtenida mediante cálculos realizados con las mediciones del caudal del agua aplicada en cada tratamiento y finalmente expresado en metro cúbicos ($m^3 \cdot ha^{-1}$), junto a los resultados de rendimiento también se calculó la productividad del agua (kg/m^3). La tabla 9 muestra los resultados:

Tabla 9: Volumen de agua (m³/ha) y productividad del agua (kg/m³) para los tres tratamientos.

Tratamiento	Volumen de agua*(m ³ /ha)	Rendimiento promedio (Kg/ha)	Productividad del agua* (Kg/m ³)
T1	12820	8700	0.68
T2	11420	7500	0.66
T3	9381	5722	0.61

*Valores promedios obtenidos mediante estadística descriptiva sin realización de ninguna prueba estadística de comparaciones.

Yao et al. (2012) realizó un estudio entre inundación permanente (IP) y un umbral de AWD de 15 cm en variedades de alto rendimiento, encontrando que la productividad del agua alcanzó 1.08 kg.m⁻³ (AWD) y 1.05 (IP) para un rendimiento de 8.28 t.ha⁻¹ y 8.95 t.ha⁻¹ respectivamente para una variedad cultivada con alta aplicación de nitrógeno (130 kg – 190 kg / ha). Para otra variedad que no fue sometida a ninguna aplicación de nitrógeno encontró 0.56 kg.m⁻³ (I.P.) y 0.68 kg.m⁻³ (AWD); sin embargo, no encontró diferencias significativas.

Los volúmenes de agua aplicado (m³.ha⁻¹) en las etapas de máximo macollamiento, iniciación floral y 50% de floración para cada tratamiento se muestran en las figuras 5, 6 y 7. En estas figuras se puede observar que los volúmenes aplicados para T1 son mayores para T2 y T3, sin embargo, el comportamiento es diferente ya que los periodos de secado ocasionaron que en las etapas fenológicas críticas el volumen aplicado fuera menor. La aplicación de AWD en las etapas reproductivas el rendimiento se ve reducido debido a la poca tolerancia al estrés hídrico en la etapa reproductiva en este cultivar bajo las condiciones climáticas de la investigación. Este efecto también es mencionado por Carrijo, Lundy y Linquist (2017) quienes no recomiendan implementar AWD en las etapas reproductivas. Geethalakshmi, Ramesh, Palamuthirsolai y Lakshmanan (2009) reportaron que bajo la técnica AWD el uso del agua alcanzó los 13636 m³.ha⁻¹ a comparación de un sistema convencional con 16120 m³.ha⁻¹, estos resultados son mayores a lo que se usó en la presente investigación por lo que se puede esperar que el déficit hídrico haya sido mucho mayor en los tratamientos de AWD.

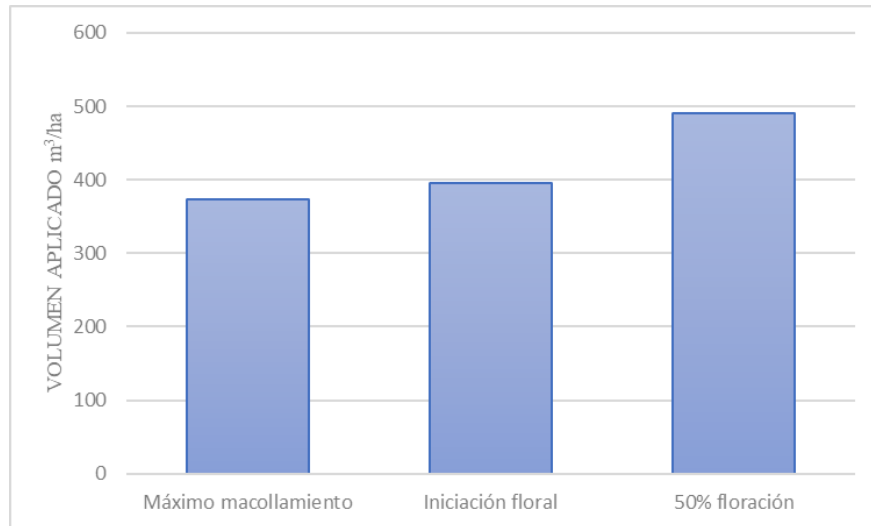


Figura 5. Volumen de agua aplicado ($\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$) para T1

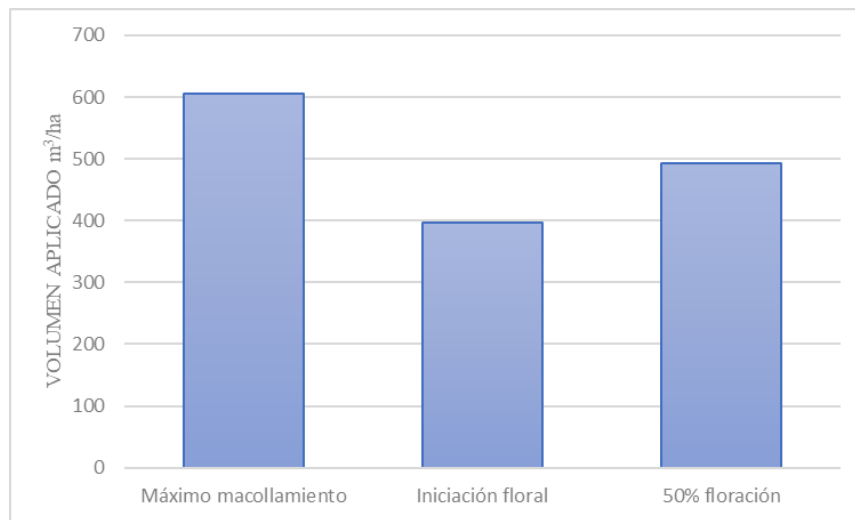


Figura 6. Volumen de agua aplicado ($\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$) para T2

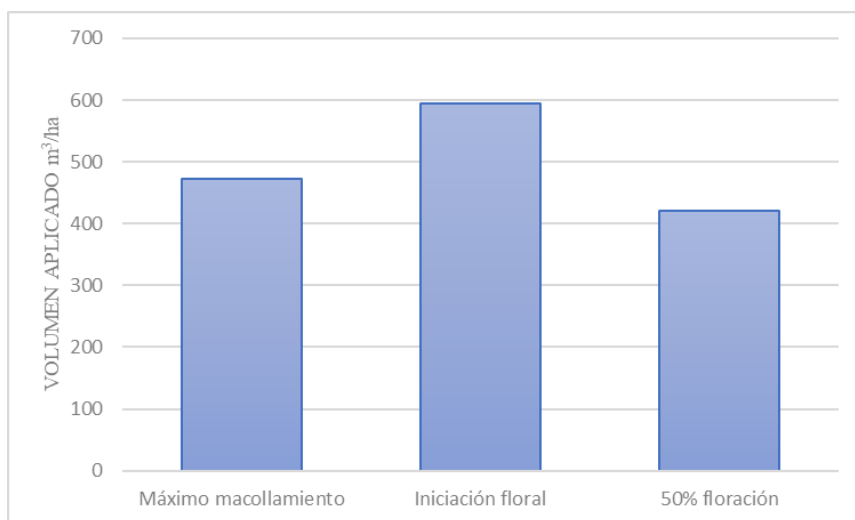


Figura 7. Volumen de agua aplicado ($\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$) para T3

4.2. Variables relacionadas al rendimiento

4.2.1. Acumulación de biomasa

Esta variable fue evaluada en cuatro momentos distintos correspondientes a diferentes etapas fenológicas del cultivo (máximo macollamiento, punto de algodón, 50% de floración y maduración) para los 3 tratamientos. Para el análisis estadístico se utilizaron los datos correspondientes a la etapa de maduración; sin embargo, en la figura 8 se muestran los resultados a través de las 4 etapas fenológicas ya mencionadas. La prueba T de Student para muestras independientes de los 3 tratamientos (Anexo 3) da como resultado diferencias significativas ($p < 0.05$) solo en la comparación T1 – T3; en las comparaciones T1 – T2 y T2 – T3 no hubo diferencias significativas ($p > 0.05$). La tabla 10 muestra el resumen de las comparaciones entre los 3 tratamientos.

Tabla 10: Acumulación de biomasa (tn/ha) evaluada en cuatro etapas fenológicas.

Tratamientos	Acumulación de biomasa*			
	Max. Mac.	Punto de alg.	50% Floración	Maduración
T1	4.7	9.4	16.0	18.4a
T2	3.8	8.3	15.5	17.2ab
T3	2.3	7.9	14.8	15.4b

*Los valores promedios de la última fecha de evaluación seguidos de la misma letra en columnas no difieren significativamente ($p < 0.05$, Prueba T de Student).

La tabla 10 muestra los resultados correspondientes a la última etapa fenológica evaluada “Maduración”. Para esta variable, el tratamiento T1 alcanzó la mayor acumulación de biomasa (18.4 tn/ha), sin embargo, no presentó diferencias significativas con el tratamiento T2 que alcanzó 17.2 tn/ha. De la misma forma, el tratamiento T2 no tuvo diferencias significativas con el tratamiento T3 (15.4) a pesar de ser el tratamiento con la menor acumulación de biomasa. Además, el tratamiento T1 presenta diferencias significativas con el tratamiento T3. Esto indica que cuando en el piezómetro tiene un nivel de agua de 5 cm

por debajo del suelo no refleja una diferencia significativa con relación a inundación permanente.

Oliver (2008) encuentra que la acumulación de biomasa disminuye a medida que el umbral del AWD aumenta. A un nivel de AWD de 10 cm alcanzó 16.47 t/ha y en inundación permanente 18.06 t/ha. Estos resultados son similares a los obtenidos con el tratamiento T1 (18.4), T2 (17.2) y T3 (15.4).

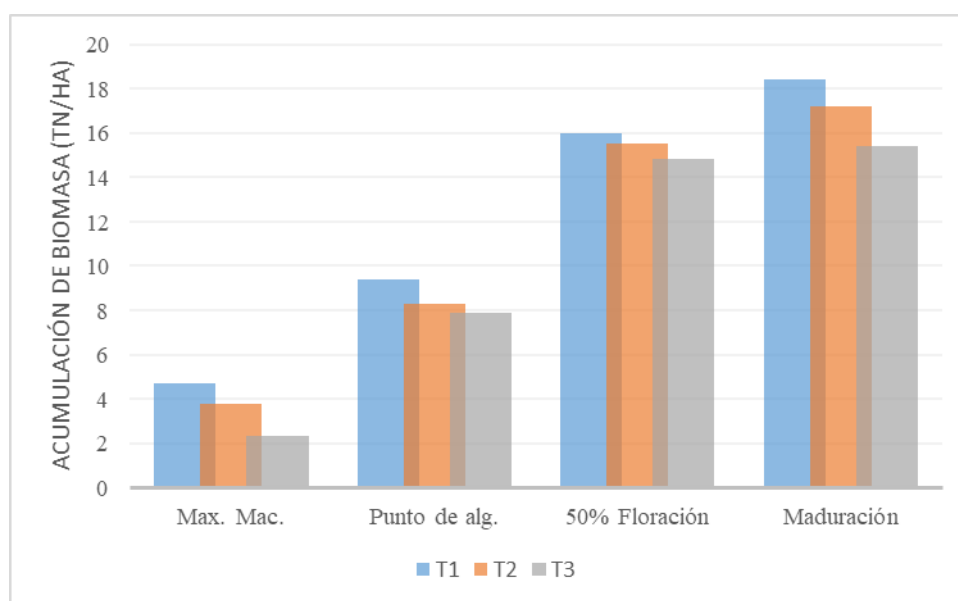


Figura 8. Acumulación de biomasa evaluada en cuatro etapas fenológicas.

4.2.2. Índice de cosecha

La prueba T de Student para muestras independientes de los tratamientos (Anexo 7) demuestra que no hay diferencias significativas ($p > 0.05$) para todas las comparaciones: T1 – T2, T2 – T3 y T1 – T3. La tabla 11 muestra el resumen de estas comparaciones entre los tres tratamientos.

Tabla 11: Índice de cosecha (%) de los tres tratamientos.

Tratamientos	Índice de cosecha*
T1	41.95a
T2	42.06a
T3	39.63a

*Los valores promedios seguidos de la misma letra en columnas no difieren significativamente ($p < 0.05$, Prueba T de Student).

La tabla 11 muestra que el tratamiento T2 alcanzó el mayor índice de cosecha (42.06); sin embargo, no presentó diferencias significativas con ninguno de los tratamientos. Esto indica que la variable índice de cosecha no está fuertemente influenciada por la técnicas de manejo de AWD (5 cm y 10 cm).

Oliver (2008) comparó los índices de cosecha de diferentes niveles de AWD (10 cm, 20 cm y 30 cm) encontrando que esta variable alcanzó el mayor valor de un 40.1% para un nivel de AWD de 10 cm; y superando a los demás tratamientos incluyendo al tratamiento testigo de inundación completa. Por otro lado, Yao (2012) muestra que no hay diferencias significativas entre un AWD con 15 cm e inundación permanente logrando hasta un valor de 54.2%. Este autor menciona que un incremento de aplicación nitrogenada de hasta 190 kg/ha disminuye el índice de cosecha hasta 44.4%. Estos resultados pueden observarse en el presente estudio ya que el tratamiento T2 (AWD 5 cm) alcanzó el mayor índice de cosecha; sin embargo, al igual que Yao (2012) no muestra diferencias significativas con los otros tratamientos.

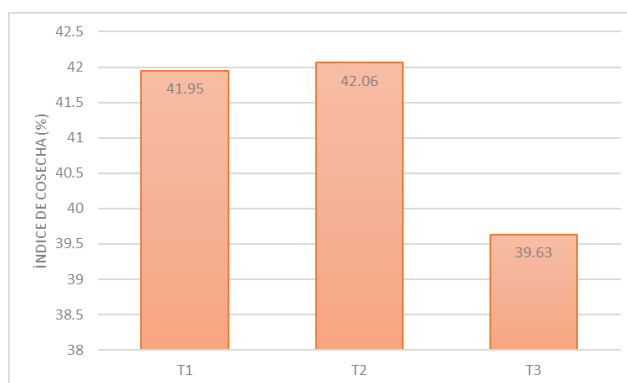


Figura 9. Índice de cosecha (%) evaluada para los tres tratamientos.

4.2.3. Índice de área foliar

La prueba T de Student para muestras independientes de los 3 tratamientos (Anexo 4) da como resultado diferencias significativas ($p < 0.05$) para las comparaciones T2 – T3 y T1 – T3, mientras que la comparación T1 – T2 no evidencia diferencias significativas ($p > 0.05$). La tabla 12 muestra el resumen de las comparaciones entre los 3 tratamientos.

Tabla 12: Índice de área foliar para los tres tratamientos.

Tratamiento	Índice de área foliar*	Rendimiento (tn/ha)	Consumo de agua (m ³ /ha)
T1	7.78a	8.7	12820
T2	6.90a	7.5	11420
T3	4.16b	5.7	9381

*Los valores promedios seguidos de la misma letra en columnas no difieren significativamente ($p < 0.05$, Prueba T de Student).

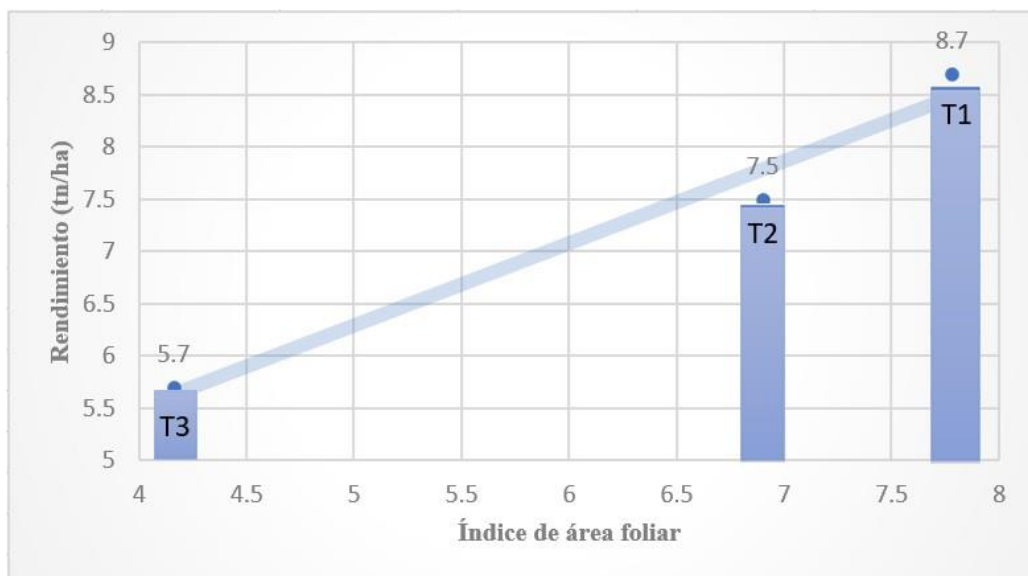


Figura 10. Relación entre el rendimiento (tn/ha) e índice de área foliar.

Los resultados observados en la tabla 12 muestran que el tratamiento T1 alcanzó el mayor valor de índice de área foliar (7.78); sin embargo, no presentó diferencias significativas con el tratamiento T2 (6.90). Por otro lado, tanto el tratamiento T1 como T2 sí presentaron diferencias significativas con el tratamiento T3 (4.16). Los resultados muestran que no hay

diferencias significativas entre inundación permanente y un periodo de secado cuando el piezómetro registra 5 cm por debajo de la superficie del suelo, pero sí cuando el descenso es de 10 cm por debajo de la superficie del suelo. Por otro lado, en la figura 10 se muestra la relación entre el rendimiento y el índice de área foliar el cual se observa que a medida el índice de área foliar aumenta, el rendimiento también. Esto demuestra el impacto que ha tenido la planta frente al estrés hídrico de AWD en el índice de área foliar, con mayor efecto en T3 (4.16).

Liu et. al (2013) demuestra que el índice de área foliar no presenta diferencias significativas entre inundación permanente y tratamientos de AWD a umbrales de 15 y 20 cm. Este resultado es diferente al obtenido en el presente estudio ya que el mayor valor de índice de área foliar fue obtenido mediante inundación permanente mostrando diferencias significativas. Esto demuestra que los resultados de la técnica de AWD varía para cada localidad y también de las características morfo-fisiológicas del cultivar que se esté estudiando. Esto es mencionado por Zhang et. al (2012), quien demuestra que las variedades híbridas muestran un valor de índice de área foliar superior que los cultivares convencionales. Además, el autor encuentra que los tratamientos de AWD con umbral de 15 cm muestra ligeramente valores mayores a inundación permanente.

4.3. Componentes del rendimiento

4.3.1. Número de panículas por metro cuadrado.

La prueba T de Student para muestras independientes de los tratamientos (Anexo 5) da como resultado diferencias significativas ($p < 0.05$) para todas las comparaciones: T1 – T2, T2 – T3 y T1 – T3. La tabla 13 muestra el resumen de estas comparaciones entre los tres tratamientos.

Tabla 13: Número de panículas por metro cuadrado de los tres tratamientos.

Tratamiento	Número de panículas por metro cuadrado*
T1	266a
T2	249b
T3	190c

*Los valores promedios seguidos de la misma letra en columnas no difieren significativamente ($p < 0.05$, Prueba T de Student).

La tabla 13 muestra que el tratamiento T1 logró el mayor número de panículas por metro cuadrado (266) teniendo diferencias significativas con el tratamiento T2 (249) y T3 (190). Los resultados muestran que la inundación permanente y la tecnología de AWD tienen gran influencia en esta variable, generando diferencias significativas.

Bajo un régimen de AWD a 15 cm por debajo del suelo, Yao et al. (2012) encontró que el número de panículas por metro cuadrado no tuvo diferencias significativas con respecto a inundación permanente para dos variedades diferentes y a diferentes tratamientos de fertilización nitrogenada; sin embargo, hubo una reducción porcentual del 3.17%. En el presente estudio, la reducción porcentual del número de panículas por metro cuadrado entre el tratamiento T1 (Inundación permanente) y T2 (AWD 5 cm) fue de un 6.48%. Estas diferencias en los resultados indican que el efecto de la aplicación de la técnica AWD está influenciada por otros factores, como, por ejemplo, en este caso, el componente varietal.

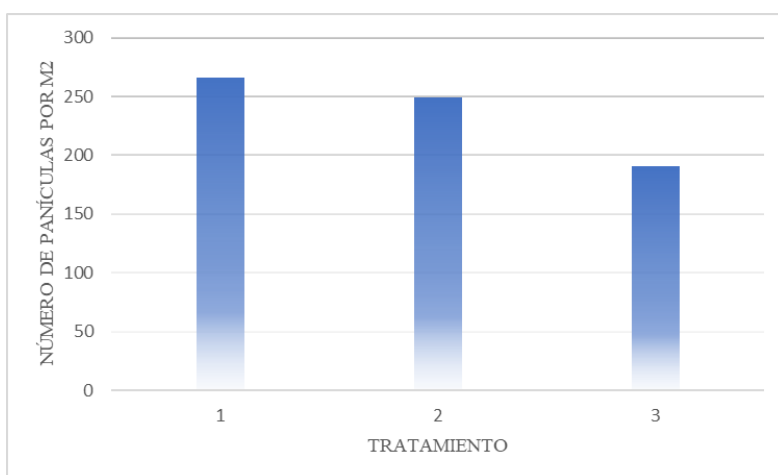


Figura 11. Número de panículas por metro cuadrado.

4.3.2. Número de granos por panícula

a. Número total de granos por panícula

La prueba T de Student para muestras independientes de los tratamientos demuestra que no hay diferencias significativas ($p > 0.05$) para todas las comparaciones: T1 – T2, T2 – T3 y T1 – T3. La tabla 14 muestra el resumen de estas comparaciones entre los tres tratamientos.

Tabla 14: Número total de granos por panícula.

Tratamiento	Número total de granos por panícula
T1	145a
T2	140a
T3	138a

*Los valores promedios seguidos de la misma letra en columnas no difieren significativamente ($p < 0.05$, Prueba T de Student).

La tabla 14 muestra que los tres tratamientos no tuvieron diferencias significativas; sin embargo, el tratamiento T1 alcanzó el mayor número total de granos por panícula (145) mientras que el tratamiento T3 alcanzó el menor número total de granos por panícula (138). Los resultados indican que esta variable no es fuertemente modificada por los diferentes niveles de AWD (5 y 10 cm) e inundación permanente.

b. Porcentaje de granos vanos.

La prueba T de Student para muestras independientes de los tratamientos (Anexo 9) demuestra que no hay diferencias significativas ($p > 0.05$) para todas las comparaciones: T1 – T2, T2 – T3 y T1 – T3. La tabla 15 muestra el resumen de estas comparaciones entre los tres tratamientos.

Tabla 15: Granos vanos (%) de los tres tratamientos.

Tratamiento	Granos vanos (%)*
T1	17.9a
T2	16.9a
T3	18.4a

*Los valores promedios seguidos de la misma letra en columnas no difieren significativamente ($p < 0.05$, Prueba T de Student).

La tabla 15 muestra que los tres tratamientos no tuvieron diferencias significativas; sin embargo, el tratamiento T3 alcanzó el mayor porcentaje de granos vanos (18.4) mientras que el tratamiento T2 alcanzó el menor porcentaje de granos vanos (16.9). Los resultados indican que esta variable no es fuertemente modificada por los diferentes niveles de AWD (5 y 10 cm) e inundación permanente.

El porcentaje de granos vanos en condiciones de AWD con umbral de 30 cm alcanza la mayor cantidad de granos vanos de hasta 4.8%; es decir, a medida que el umbral del AWD aumenta, también aumenta el porcentaje de granos vanos (Oliver, 2008). Este comportamiento de esta variable también es observado en el presente estudio con un umbral incluso menor de 10 cm. Por otro lado, el autor mencionado demuestra que mientras menor sea el umbral de AWD el porcentaje de granos vanos disminuye hasta un 3.53%, de igual manera, el presente estudio encontró que a un umbral de 5 cm se logró el menor porcentaje de granos vanos.

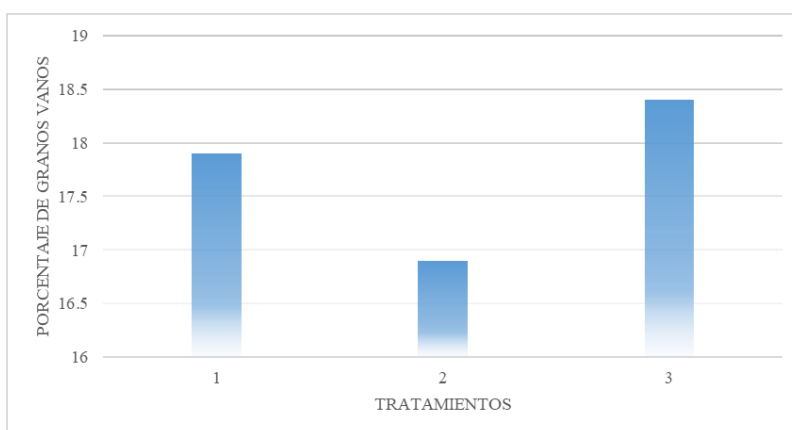


Figura 12. Granos vanos (%) para los tres tratamientos.

c. Número de granos llenos por panícula.

La prueba T de Student para muestras independientes de los tratamientos (Anexo 10) demuestra que no hay diferencias significativas ($p > 0.05$) para todas las comparaciones: T1 – T2, T2 – T3 y T1 – T3. La tabla 16 muestra el resumen de estas comparaciones entre los tres tratamientos.

Tabla 16: Número de granos llenos por panícula para los tres tratamientos.

Tratamiento	Número de granos llenos por panícula*
T1	119a
T2	116a
T3	113a

*Los valores promedios seguidos de la misma letra en columnas no difieren significativamente ($p < 0.05$, Prueba T de Student).

De forma similar a la variable “granos vanos”, la tabla 16 muestra que el número de granos llenos por panícula para los tres tratamientos no tuvieron diferencias significativas. Sin embargo, se puede destacar que el tratamiento T1 logró el mayor número de granos llenos (119) mientras que el tratamiento T3 logró el menor número de granos (113). Los resultados indican que esta variable no es fuertemente alterada por los diferentes niveles de AWD (5 y 10 cm) e inundación permanente.

El número de granos llenos alcanza su mayor valor cuando el arroz está bajo inundación permanente y disminuye conforme el umbral de la técnica AWD aumenta; esto es demostrado por Oliver (2008) cuando reporta que a inundación permanente el número de granos llenos alcanza hasta los 186.67 mostrando diferencias significativas con el resto de tratamientos. De la misma manera, el presente estudio muestra que con la inundación permanente se alcanza el mayor número de granos llenos por panícula; sin embargo, no existen diferencias significativas entre los tratamientos estudiados.

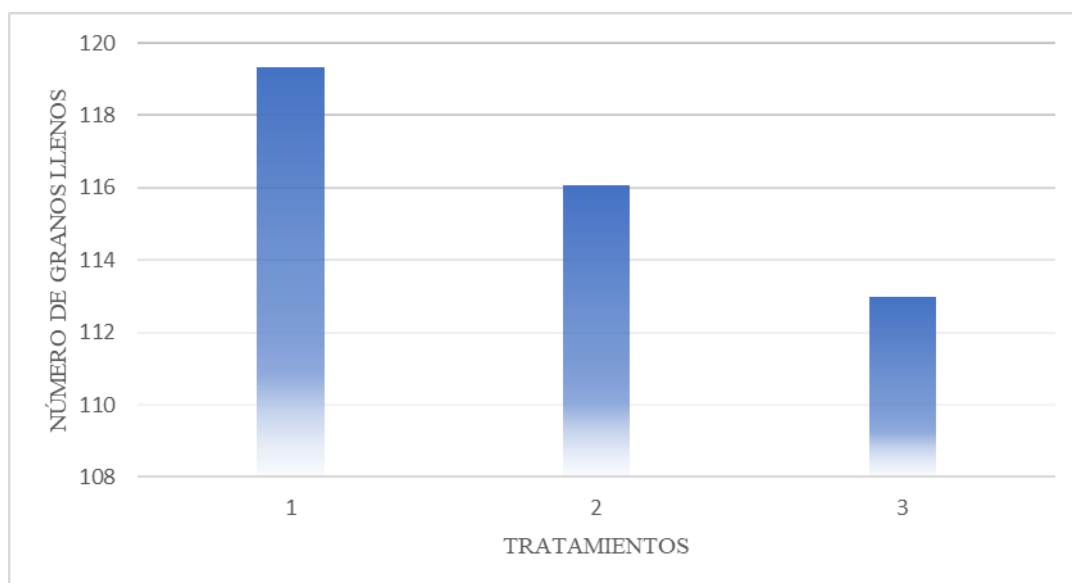


Figura 13. Número de granos llenos por panícula para los tres tratamientos.

4.3.3. Peso de 1000 granos

Debido a la limitación de la cantidad de número de granos llenos, esta variable tuvo pocas repeticiones en su análisis. Siendo así que no se realizó la prueba T de Student; sin embargo, se ha realizado un análisis en base a estadística descriptiva. La tabla 17 muestra los resultados de estas variables.

Tabla 17: Peso de 1000 granos (g) de los tres tratamientos.

Tratamiento	Peso de 1000 granos*
T1	27.6
T2	26.0
T3	26.7

*Valores promedios obtenidos mediante estadística descriptiva sin realización de ninguna prueba estadística de comparaciones.

Tal como se mencionó en la metodología, la tabla 17 muestra los resultados promedios del peso de 1000 granos. Se puede observar una tendencia al tratamiento T1 que alcanzó el mayor peso (27.6) mientras que el tratamiento T2 logró el menor peso de 1000 granos (26.0); sin embargo, no se puede demostrar diferencias significativas debido a la limitación de

cantidad de datos para poder evaluar esta variable. Los resultados indican que a inundación permanente se alcanza el mayor valor de peso de 1000 granos.

El peso de los 1000 granos siendo un componente del rendimiento, también es estudiado en condiciones de AWD. Oliver (2008) encuentra que no hay diferencias significativas entre diferentes umbrales de AWD (10 cm, 20 cm y 30 cm) alcanzando un máximo de peso de 21.95 correspondiente a un umbral de 20 cm. Por otro lado, Yao (2012) tampoco encuentra diferencias significativas entre un umbral de AWD de 15 cm e inundación permanente llegando a lo máximo 29.4 g. Aunque no se realizó una prueba estadística a esta variable, se puede observar que el peso encontrado en los 1000 granos está dentro del rango encontrado por ambos autores previamente mencionados.

Liu et. al (2013) menciona que la adopción de la técnica AWD en un manejo de colocación específica del nitrógeno aumenta el peso de 1000 granos. Esto es consecuencia de otros factores como biomasa de la raíz, índice de área foliar, tasa fotosintética que influyen a un mejor llenado de grano. Esto no contradice a los resultados del presente estudio porque puede deberse a la respuesta en los cultivares a nitrógeno ya que el peso de los 1000 granos es una característica más asociada al cultivar y poco variable; similarmente, el autor menciona que las variedades conocidas como “super arroz” no necesariamente requieren de más agua para producir buenos rendimientos y que con buen manejo de AWD y buena fertilización puede aumentar el rendimiento de grano.

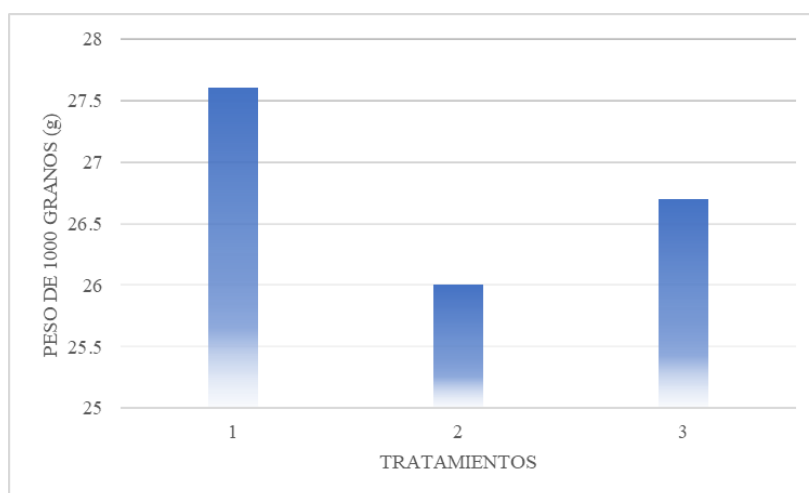


Figura 14. Variable peso de 1000 granos.

4.4. Variables agronómicas

4.4.1. Número de macollos por metro cuadrado

Esta variable fue evaluada en 5 fechas (18/2/2021, 24/2/2021, 3/3/2021, 10/3/2021 y 18/3/2021) para los 3 tratamientos. Para fines estadísticos solo se utilizaron los datos de la evaluación correspondiente a la última fecha (18/3/2021); sin embargo, en la figura 15 se puede observar los resultados a través de las cinco fechas evaluadas. La prueba de T de Student para muestras independientes de los tres tratamientos (Anexo 2) da como resultado diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las comparaciones T1 – T2 y T1 – T3, mientras que en la comparación T2 – T3 no hubo diferencias significativas ($p > 0.05$). El resumen de estas comparaciones es mostrado en la tabla 18.

Tabla 18: Número de macollos por metro cuadrado evaluada en cinco fechas diferentes.

Tratamientos	Número de macollos por metro cuadrado*				
	18/2	24/2	3/3	10/3	18/3
T1	105	188	391	491	594a
T2	104	129	319	440	509b
T3	83	113	275	397	518b

*Los valores promedios de la última fecha de evaluación seguidos de la misma letra en columnas no difieren significativamente ($p < 0.05$, Prueba T de Student).

La tabla 18 muestra que, en la última fecha de evaluación, el resultado del tratamiento T1 (594) logró alcanzar la mayor cantidad de macollos por metro cuadrado en promedio y difiere significativamente del tratamiento T2 (509) y T3 (518). Los resultados muestran que el tratamiento T2 logró resultados menores a comparación del tratamiento T3; sin embargo, entre ambos no muestran diferencias significativas. De esta forma, los resultados indican que los periodos de secado cuando el piezómetro registra 5 y 10 cm por debajo de la superficie del suelo, no generan diferencias significativas en la variable número de macollos por metro cuadrado.

Oliver (2008) encuentra resultados con el mismo comportamiento, demostrando que, a mayor el umbral de la técnica AWD, el número de macollos por planta disminuye hasta 12 (10 cm), 10.6 (20 cm) y 9.33 (30 cm). Por otro lado, Norton (2017) no encuentra diferencias significativas en el macollamiento entre los campos bajo la técnica AWD y testigo.

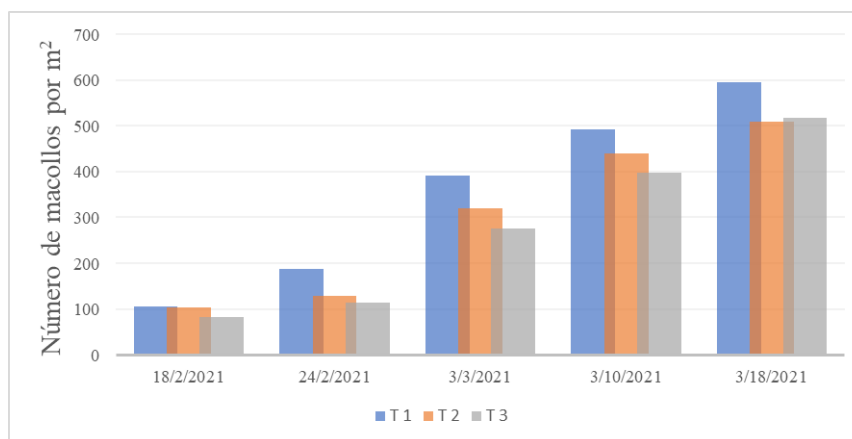


Figura 15. Número de macollos por metro cuadrado evaluado en cinco fechas diferentes.

4.4.2. Altura de planta

La evaluación de este parámetro se realizó en nueve fechas para los tres tratamientos. Para fines estadísticos solo se utilizaron los resultados de la evaluación de la última fecha; sin embargo, en la tabla 19 se puede observar los resultados para las nueve fechas y en la figura 16 se puede observar los resultados a través de los estados fenológicos evaluados. La prueba T de Student para muestras independientes de los tres tratamientos (Anexo 1) da como resultado diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las comparaciones T2 – T3 y T1 – T3, pero sin diferencias significativas ($p > 0.05$) entre la comparación T1 – T2. La tabla 19 muestra los resultados de las comparaciones entre los tratamientos para esta variable.

Tabla 19: Altura de planta (cm) evaluada en nueve fechas diferentes.

Tratamientos	Altura de planta*								
	10/3	18/3	24/3	31/3	7/4	14/4	21/4	30/4	6/5
T1	53.47	67.74	77.83	80.03	82.36	83.54	83.55	83.84	83.46a
T2	51.09	61.58	72.01	75.07	77.5	79.56	80.06	80.66	80.58a
T3	44.92	56.61	65.62	68.2	70.02	72.14	72.46	73.92	74.83b

*Los valores promedios de la última fecha de evaluación seguidos de la misma letra en columnas no difieren significativamente ($p < 0.05$, Prueba T de Student).

Los resultados presentados en la tabla 19 muestran que el tratamiento T1 y el tratamiento T2 alcanzaron la mayor altura de planta en las nueve evaluaciones que se realizaron siendo mejor observado en el resultado de la última evaluación (83.46 y 80.58 respectivamente), mientras que el tratamiento T3 obtuvo los valores más bajos en altura de planta (74.83). Este comportamiento se mostró consistente a lo largo de los ciclos fenológicos.

En la última fecha de evaluación los resultados obtenidos por el tratamiento T1 (83.46) no difiere significativamente del tratamiento T2 (80.58). También se observa que hay diferencias significativas entre el tratamiento T2 (80.58) y el tratamiento T3 (74.83). Los resultados muestran que a medida que los volúmenes de riego AWD disminuyen (T1: Inundación permanente, T2: Secado + Inundación a piezómetro 5 cm y T3: Secado + Inundación a piezómetro 10 cm), la altura de planta también disminuye a pesar que entre el tratamiento T1 y el tratamiento T2 no muestren diferencias significativas.

Este comportamiento de la variable también es mencionado por Ishfaq et. al (2020), indicando que el bajo crecimiento y como consecuencia la disminución de altura es ocasionado por un pobre crecimiento de las raíces en condiciones de un AWD severo, por lo que el autor resalta la importancia de especificar los parámetros de esta técnica para diferentes partes del mundo. Oliver et. al (2008) muestra que a inundación permanente la altura de planta logró en promedio 89.6 cm mientras que a un nivel piezométrico de 10 cm, 20 cm y 30 cm lograron respectivamente 87.13 cm, 84.28 cm y 82.7 cm; mostrando el mismo comportamiento de la variable en función al manejo del AWD. Se puede identificar las

etapas de crecimiento: máximo macollamiento, punto de algodón, 50% floración y maduración.

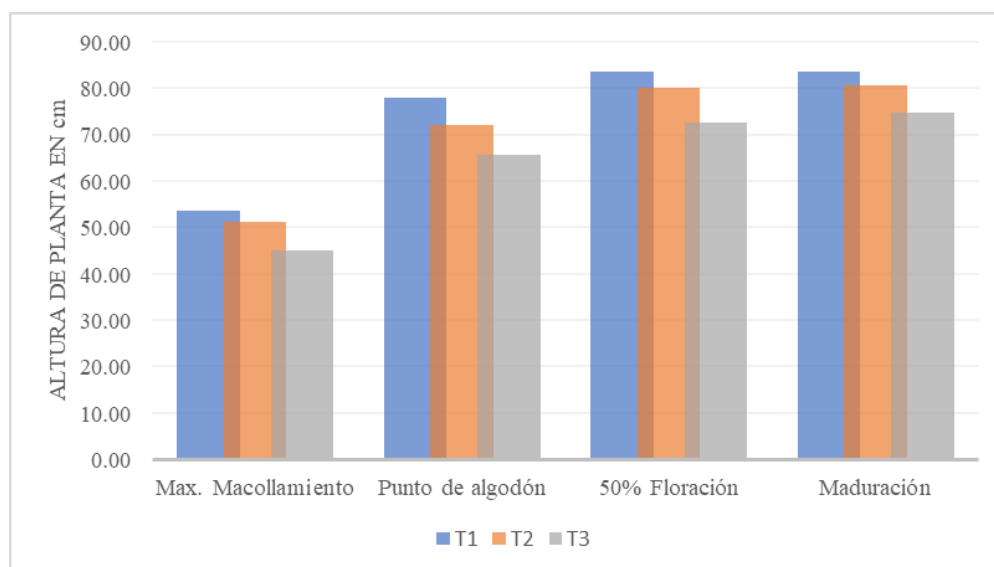


Figura 16. Altura de planta evaluadas por estados fenológicos.

4.4.3. Longitud de panícula

La prueba T de Student para muestras independientes de los tres tratamientos (Anexo 8) da como resultado diferencias significativas ($p < 0.05$) para las comparaciones T1 – T2 y T2 – T3, mientras que la comparación T1 – T3 no evidencia diferencias significativas ($p > 0.05$). La tabla 20 muestra el resumen de las comparaciones entre los tres tratamientos.

Tabla 20: Longitud de panícula (cm) de los tres tratamientos.

Tratamiento	Longitud de panícula*
T1	20.80b
T2	21.83a
T3	21.07b

*Los valores promedios seguidos de la misma letra en columnas no difieren significativamente ($p < 0.05$, Prueba T de Student).

La tabla 20 muestra que el tratamiento T2 alcanzó en promedio la mayor longitud de panícula (21.83) a comparación del T1 (20.8) y T3 (21.07), logrando mostrar diferencias significativas con los otros dos tratamientos. En adición, a diferencia de las variables vistas anteriormente, el tratamiento T1 logro el menor valor promedio en longitud de panícula a comparación del T3, aunque no mostró diferencias significativas con este. De los resultados se puede decir que el criterio de AWD a 5 cm logró incrementar la longitud de panícula en comparación al tratamiento de AWD a 10 cm y al tratamiento de inundación permanente. Como se observa en la figura 17, el tratamiento T2 (AWD – 5 cm) logró aumentar la longitud de panícula; sin embargo, redujo el número de panículas por metro cuadrado a comparación del tratamiento de inundación permanente.

Oliver (2008) encontró que entre sus tratamientos de AWD (10 cm, 20 cm y 30 cm) e inundación permanente no había diferencias significativas logrando como máximo una longitud de panícula de 24.88 cm (AWD 10 cm). Aunque el presente estudio muestra que el tratamiento T2 alcanzó la máxima longitud de panícula logrando diferencias significativas, concuerda con lo indicado por el autor ya que, a menor descenso del nivel de agua se obtiene mayor longitud de panícula. Por otro lado, este resultado puede verse contrarrestado por el número de panículas ya que este tratamiento genera un menor número de panículas.

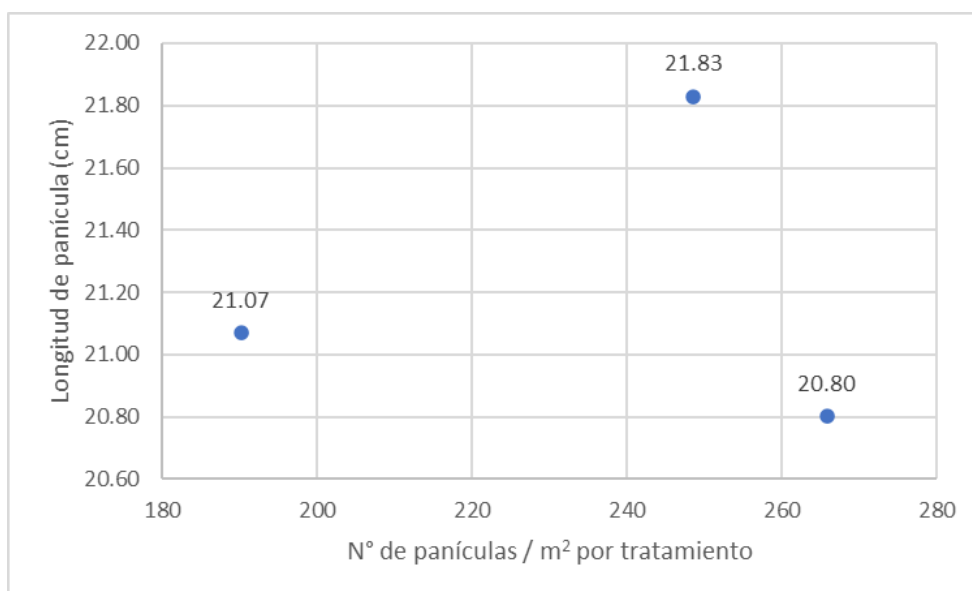


Figura 17. Relación entre longitud de panícula (cm) y número de panículas por metro cuadrado.

5. Análisis económico de presupuestos parciales

Utilizando los datos obtenidos en función al rendimiento y uso de agua, se realizó un análisis económico entre los tratamientos de presupuestos parciales desarrollado por el CIMMYT.

Tabla 21. Análisis de presupuestos parciales – CIMMYT:

Tabla 22. Análisis de dominancia – CIMMYT:

Tratamientos	Total de costos variables (S/. x ha)	Beneficio Neto (S/. x ha)	Dominancia
T3	414.4	7736.6	ND
T2	497.9	10189.6	ND
T1	525.3	11872.2	ND

Tabla 23. Análisis Marginal – CIMMYT:

Tratamientos	Total de costos variables (S/. x ha)	Beneficio Neto (S/. x ha)	Tasa de retorno marginal (%)
T3	414.4	7736.6	-
T2	497.9	10189.6	29.4
T1	525.3	11872.2	61.5

Se evidencia que a menor uso de agua (T2 y T3) existen menores beneficios netos debido a menores rendimientos. El precio de agua es un insumo con costo muy bajo en el sistema de producción y por esta razón en estas condiciones el T2 no es viable. Pero considerando la crisis de agua, estrés hídrico, ambiente climático se constituiría a futuro una opción viable a ser adoptada con un acompañamiento de transferencia de tecnología y capacitación a los agricultores.

V. CONCLUSIONES

1. Entre los tres métodos de riego, se ha logrado ahorrar hasta un 10.9% de agua reduciendo en 13.7% el rendimiento para el sistema AWD de un nivel de agua por debajo del suelo 5 cm. Por otro lado, el sistema AWD con un umbral del 10 cm obtuvo un 34.2% menos en rendimiento y usando 26.8% menos en agua. Estos porcentajes están relacionados al tratamiento de inundación permanente que logró el mayor rendimiento ($8\ 700\ \text{kg ha}^{-1}$) usando la mayor cantidad de agua ($12\ 820\ \text{m}^3$).
2. Durante la fase vegetativa, el efecto de los periodos de secado bajo un sistema AWD se ven reflejados en las variables: altura de planta, número de macollos, acumulación de biomasa e índice de área foliar. Esto es evidenciado en las diferencias significativas que se obtienen entre el sistema de inundación permanente contra los ambos sistemas AWD de nivel 5 cm y 10 cm por debajo de la superficie del suelo.
3. Entre todas las variables agronómicas analizadas, el número de macollos por metro cuadrado y el número de panículas por metro cuadrado son las que más contribuyeron a la diferencia del rendimiento entre el sistema de inundación permanente y AWD.
4. Es factible aplicar la tecnología AWD en las condiciones del valle Chancay, con un descenso del nivel freático de 5 cm, sin embargo, el análisis de presupuestos parciales muestra una menor tasa de retorno marginal (%), por lo tanto, se concluye que optar esta práctica es únicamente dirigida a la contribución del ahorro de agua y cambio climático sin disminuir la tasa de retorno por más del 10%.

VI. RECOMENDACIONES

1. Continuar con la evaluación de este tipo de tecnología en diferentes localidades de gran importancia en la producción de arroz nacional para su eventual implementación en campos agrícolas y también para la contribución con el ahorro del recurso hídrico.
2. Estudiar la interacción de la tecnología AWD, con niveles de fertilización nitrogenada, cultivares con distintos periodos de maduración y ambientes climáticos diferentes con finalidad de contrarrestar los efectos de reducción en el rendimiento.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Bouman, B. A., Humphreys, E., Tuong, T. P., & Barker, R. (2007). *Rice and water*. *Advances in agronomy*, 92, 187-237.
- Buresh, R., Reddy, K. y van Kessel, C. (2008). Properties of submerged soils. In: Schemers, J., Raun, W. (eds). *Nitrogen in agricultural systems*. *American Society of Agronomy*, Madison, pp 401-436
- Cai, Z., Xing, G., Yan, X., Xu, H., Tsuruta, H., Yagi, K. y Minami, K. (1997). Methane and nitrous oxide emissions from rice paddy fields as affected by nitrogen fertilizers and water management. *Plant Soil* 196:7-14
- Carrijo, D. R., Lundy, M. E., & Linqvist, B. A. (2017). *Rice yields and water use under alternate wetting and drying irrigation: A meta-analysis*. *Field Crops Research*, 203, 173-180.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). (1989). *Evaluación de la calidad culinaria y molinera del arroz; guía para ser usada como complemento de la unidad audiotutorial sobre el mismo tema*.
- Catasús, L. (1998). *Producing More Rice with Less Water from Irrigated Systems*. IWMI. https://books.google.com.pe/books?id=r1f6aDZIZyEC&dq=water+requirement+rice&hl=es&source=gbs_navlinks_s
- Chu, G., Chen, T., Wang, Z., Yang, J., Zhang, J. (2014). *Morphological and physiological traits of roots and their relationships with water productivity in water-saving and drought-resistant rice*. *Field Crops Res.* 162, 108–119. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.11.006>.
- Dong, N., Brandt, K., Sorensen, J., Hung, N., Hach, C., Tan, P. y Dalsgaard, T. (2012). Effects of alternating wetting and drying versus continuous flooding on fertilizer

nitrogen fate in rice fields in the Mekong Delta. *Vietnam Soil Biology and Biochemistry* 47:166-174

Elisa, A., Shamsuddin, J. y Fauziah, C. (2011). Root elongation, root surface area and organic acid exudation by rice seedling under Al^{+3} and/or H^{+} stress. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 6, 324-331.

Geethalakshmi, V., Ramesh, T., Palamuthirsolai, A., & Lakshmanan, A. (2009). *Productivity and water usage of rice as influenced by different cultivation systems*. Madras Agricultural Journal, 96(7-12), 349-352.

Hasanuzzaman, M. (2019). Agronomic Crops. *Spring Nature*, 2. https://books.google.com.pe/books?id=qO6_DwAAQBAJ&dq=Alternate+Wetting+and+Drying+RICE&hl=es&source=gbs_navlinks_s

Heros, E. (2012). *Manual Técnico de Manejo Integrado del arroz*. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 33 – 34 p.

Hussain, S., Peng, S., Fahad, S., Khaliq, A., Huang, J., Cui, K. y Nie, L. (2015). Rice management interventions to mitigate greenhouse gas emissions: a review. *Environ Sci Pollut Res* 22:3342-3360

Ishfaq, M., Farooq, M., Zulfiqar, U., Hussain, S., Akbar, N., Nawaz, A., & Anjum, S. A. (2020). *Alternate wetting and drying: A water-saving and ecofriendly rice production system*. Agricultural Water Management, 106363. doi: 10.1016/j.agwat.2020.106363

Jabran, K., Ebsanullah, M., Hussain, M., Farooq, M., Yaseen, U. y Chauhan, B. (2015). *Mulching improves water productivity, yield and quality of fine rice under water-saving rice production systems*. *J Agron Crop Sci* 201:389-400

- Lampayan, R.M., Samoy-Pascual, K.C., Sibayan, E.B., Ella, V.B., Jayag, O.P., Cabangon, R.J., Bouman, B.A.M. (2015). *Effects of alternate wetting and drying (AWD) threshold level and plant seedling age on crop performance, water input, and water productivity of transplanted rice in Central Luzon*. Philippines. *Paddy Water Environ.* 13, 215–227. <https://doi.org/10.1007/s10333-014-0423-5>.
- Liu, L., Chen, T., Wang, Z., Zhang, H., Yang, J., & Zhang, J. (2013). Combination of site-specific nitrogen management and alternate wetting and drying irrigation increases grain yield and nitrogen and water use efficiency in super rice. *Field Crops Research*, 154, 226-235. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.08.016>
- Michael, M. y Samuel, S. (2017). Performance of green super rice 5 genotype under different water management schemes. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 6(3):769-777
- MINAGRI. (2019). *Plan Nacional de Cultivos 2019*. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/471867/Plan_Nacional_de_Cultivos_2019_2020b.pdf
- Mote, K., Praveen Rao, V., Ramulu, V., Avil Kumar, K., & Uma Devi, M. (2018). *Standardization of alternate wetting and drying (AWD) method of watermanagement in lowland rice (Oryza sativa L.) for upscaling in command outlets*. *Irrigation and Drainage*, 67(2), 166-178.
- Nakandakari, L. (2017). *Problemas fitosanitarios en el cultivo de arroz (Oryza sativa. L)*. [Tesis de pregrado, UNALM]. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2988/H10-N35-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Norton, G. J., Shafaei, M., Travis, A. J., Deacon, C. M., Danku, J., Pond, D., & Price, A. H. (2017). Impact of alternate wetting and drying on rice physiology, grain production, and grain quality. *Field Crops Research*, 205, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.01.016>

- Oliver M. (2008). *Alternate wetting and drying irrigation for rice cultivation*. J. Bangladesh Agril. Univ. 6(2): 409-414.
- Olmos, S. (2007). Apunte de morfología, fenología, ecofisiología, y mejoramiento genético del arroz: Cátedra de Cultivos II. Facultad de Ciencias Agrarias. Apunte-MORFOLOGIA. pdf.
- Pascual, V. J., & Wang, Y. M. (2017). *Utilizing rainfall and alternate wetting and drying irrigation for high water productivity in irrigated lowland paddy rice in southern Taiwan*. Plant Production Science, 20(1), 24-35.
- Pinciroli, M., Ponzio, N. R., & Salsamendi, M. (2015). El arroz. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.
- Rodríguez Zurichaqui, D. P. (2017). Potencial de rendimiento de líneas mutantes de arroz (*Oryza sativa* L.) desarrolladas mediante la aplicación de rayos gamma en condiciones del valle de Jequetepeque.
- Sanabria, J. (2003). *Impacto del evento Niño en la Agricultura peruana campaña 2002 - 2003*. SENAMHI. <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-15.pdf>
- Shao, G. C., Deng, S., Liu, N., Yu, S. E., Wang, M. H., & She, D. L. (2014). *Effects of controlled irrigation and drainage on growth, grain yield and water use in paddy rice*. European Journal of Agronomy, 53, 1-9.
- Sistema Integrado de Estadística Agraria. (2022). *Perfil Productivo y Regional*. https://siea.midagri.gob.pe/portal/siea_bi/index.html
- Strasburger, E. (1986). *Botánica*. Séptima edición española. Editorial Martin S.A. Barcelona, España. 1098 p.

- Van der Hoek, W., Sakthivadivel, R., Renshaw, M., Silver, J., Birley, M. y Konradsen, F. (2001). *Alternate Wet/dry Irrigation in Rice Cultivation: A Practical Way to Save Water and Control Malaria and Japanese Encephalitis?* IWMI. https://books.google.com.pe/books?id=4YkBAwAAQBAJ&hl=es&source=gbs_navlinks_s
- Yang, J., Zhou, Q., Zhang, J., 2017. Moderate wetting and drying increases rice yield and reduces water use, grain arsenic level, and methane emission. *Crop J.* 5, 151–158. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2016.06.002>.
- Yamori, W., Zhang, G., Takagaki, M. y Maruo, T. (2014). Feasibility Study of Rice Growth in Plant Factories. *J Rice Res* 2:119. doi: 10.4172/jrr.1000119
- Yao, F., Huang, J., Cui, K., Nie, L., Xiang, J., Liu, X., ... & Peng, S. (2012). Agronomic performance of high-yielding rice variety grown under alternate wetting and drying irrigation. *Field crops research*, 126, 16-22. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.09.018>
- Yoshida, S. (1981). *Fundamentals of rice crop science*. Int. Rice Res. Inst..
- Zhang, H., Xue, Y., Wang, Z., Yang, J. & Zhang, J. (2009). An alternate wetting and moderate soil drying regime improves root and shoot growth in rice. *Crop Sci.* 49, 2246–2260. <https://doi.org/10.2135/cropsci2009.02.0099>.

VIII. ANEXOS

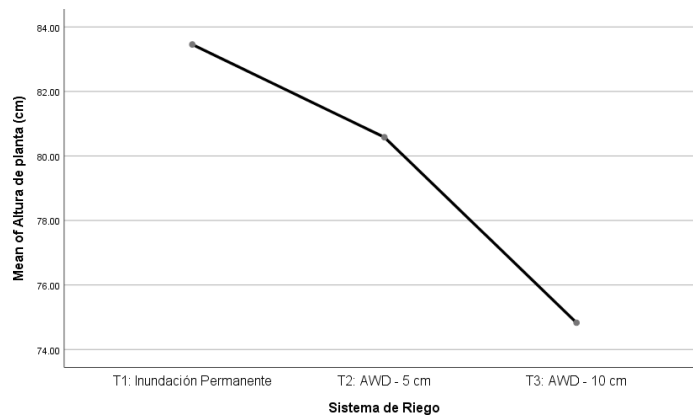
Anexo 1. ANOVA para la variable Altura de planta (cm).

Altura de planta (cm)					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Tratamientos	771.458	2	385.729	12.229	0
Error	1797.88	57	31.542		
Total	2569.34	59			

Prueba T:

(I) Sistema de Riego	(J) Sistema de Riego	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
T1: Inundación Permanente	T2: AWD - 5 cm	2.875	1.78	0.110	-0.68	6.43
	T3: AWD - 10 cm	8.62500*	1.78	0.000	5.07	12.18
	T1: Inundación Permanente	-2.875	1.78	0.000	-6.43	0.68
T2: AWD - 5 cm	T3: AWD - 10 cm	5.75000*	1.78	0.000	2.19	9.31
	T1: Inundación Permanente	-8.62500*	1.78	0.000	-12.18	-5.07
T3: AWD - 10 cm	T2: AWD - 5 cm	-5.75000*	1.78	0.000	-9.31	-2.19

* The mean difference is significant at the 0.05 level.



Anexo 2. ANOVA para la variable número de macollos por golpe.

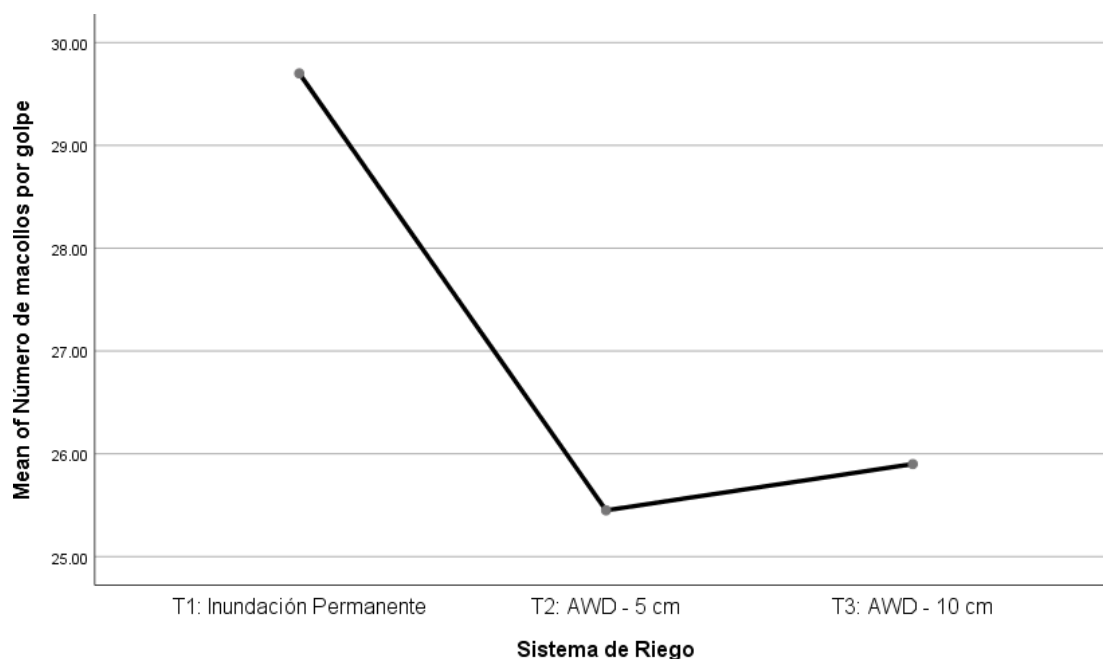
Número de macollos por golpe					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Tratamientos	218.033	2	109.017	3.14	0.05
Error	1976.95	57	34.683		
Total	2194.98	59			

Prueba T:

(I) Sistema de Riego	(J) Sistema de Riego	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
T1: Inundación Permanente	T2: AWD - 5 cm	4.25000*	1.86235	0.026	0.5207	7.9793
	T3: AWD - 10 cm	3.80000*	1.86235	0.046	0.0707	7.5293
	T1: Inundación Permanente	-4.25000*	1.86235	0.000	-7.9793	-0.5207
T2: AWD - 5 cm	T3: AWD - 10 cm	-0.45	1.86235	0.808	-4.1793	3.2793
	T1: Inundación Permanente	-3.80000*	1.86235	0.011	-7.5293	-0.0707
T3: AWD - 10 cm	T2: AWD - 5 cm	0.45	1.86235	0.846	-3.2793	4.1793

cm 35 1

* The mean difference is significant at the 0.05 level.



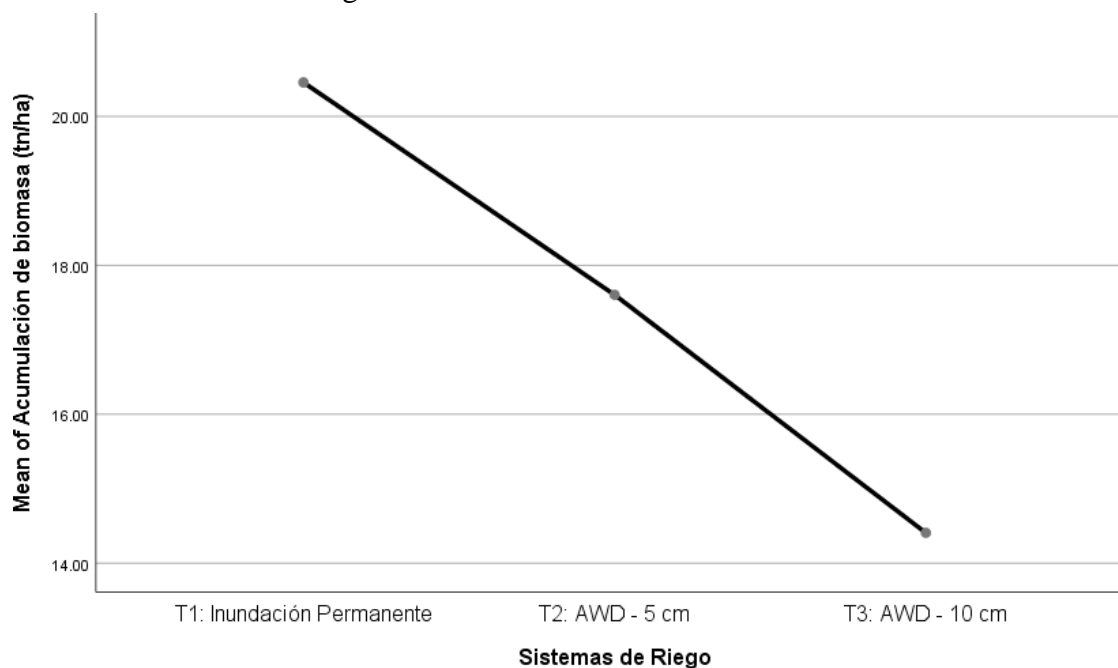
Anexo 3. ANOVA para la variable acumulación de biomasa (tn/ha)

Acumulación de biomasa (tn/ha)					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Tratamientos	54.96	2	27.48	6.38	0.03
Error	25.85	6	4.31		
Total	80.82	8			

Prueba T:

(I) Sistemas de Riego	(J) Sistemas de Riego	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
T1: Inundación Permanente	T2: AWD - 5 cm	2.85333	1.69488	0.140	-1.29	7.00
	T3: AWD - 10 cm	6.05000*	1.69488	0.010	1.90	10.20
T2: AWD - 5 cm	T1: Inundación Permanente	-2.85333	1.69488	0.140	-7.00	1.29
	T3: AWD - 10 cm	3.19667	1.69488	0.140	-0.95	7.34
T3: AWD - 10 cm	T1: Inundación Permanente	-6.05000*	1.69488	0.011	-10.20	-1.90
	T2: AWD - 5 cm	-3.19667	1.69488	0.010	-7.34	0.95

* The mean difference is significant at the 0.05 level.



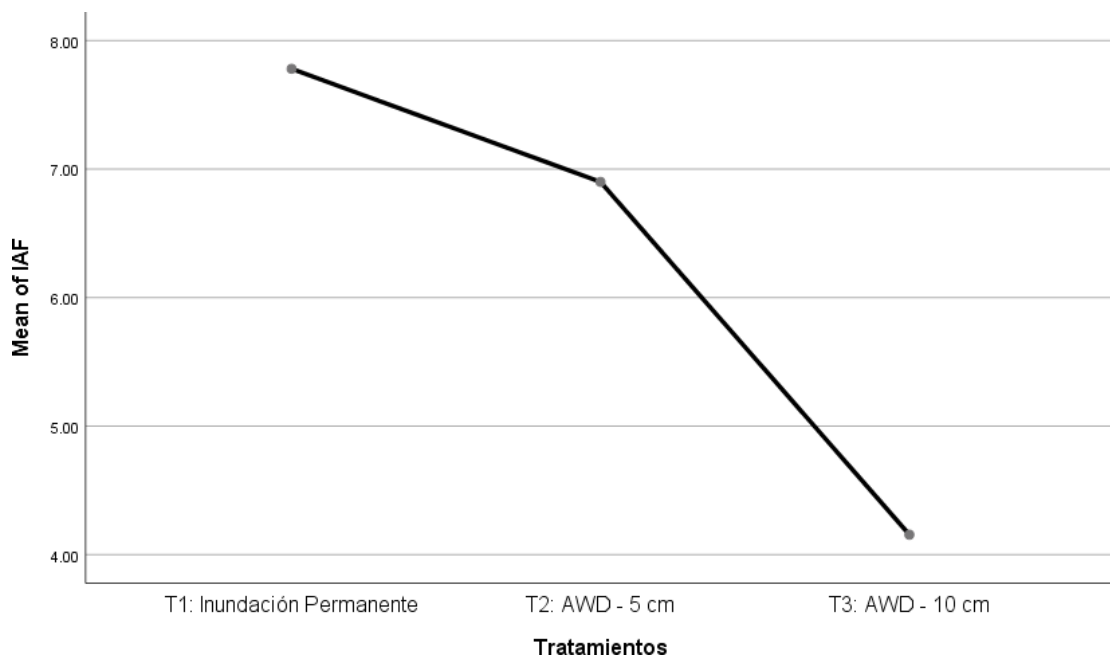
Anexo 4. ANOVA para la variable Índice de área foliar (IAF).

IAF					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Tratamientos	28.6	2	14.3	8.816	0.008
Error	14.599	9	1.622		
Total	43.199	11			

Prueba T:

(I) Tratamientos	(J) Tratamientos	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Si g.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
T1: Inundación Permanente	T2: AWD - 5 cm	0.88	0.90	0.3500	-1.16	2.92
	T3: AWD - 10 cm	3.62500*	0.90	0.0000	1.59	5.66
	T1: Inundación Permanente	-0.88	0.90	0.0000	-2.92	1.16
T2: AWD - 5 cm	T3: AWD - 10 cm	2.74500*	0.90	0.0035	0.71	4.78
	T1: Inundación Permanente	-3.62500*	0.90	0.0000	-5.66	-1.59
T3: AWD - 10 cm	T2: AWD - 5 cm	-2.74500*	0.90	0.0035	-4.78	-0.71

* The mean difference is significant at the 0.05 level.



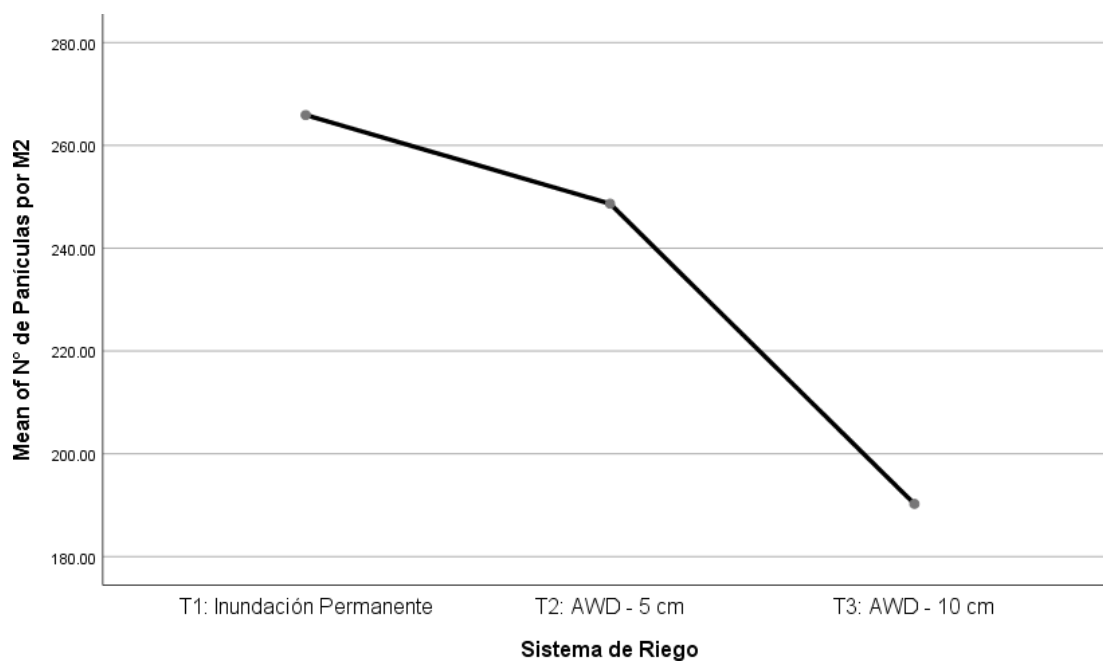
Anexo 5. ANOVA para la variable Número de panículas por metro cuadrado.

N° de Panículas por M2					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Tratamientos	62873.63	2	31436.82	124.37	0.00
Error	14408.10	57	252.77		
Total	77281.73	59			

Prueba T:

(I) Sistema de Riego	(J) Sistema de Riego	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
T1: Inundación Permanente	T2: AWD - 5 cm	17.25000*	5.03	0.000	7.18	27.32
	T3: AWD - 10 cm	75.65000*	5.03	0.000	65.58	85.72
	T1: Inundación Permanente	-17.25000*	5.03	0.000	-27.32	-7.18
T2: AWD - 5 cm	T3: AWD - 10 cm	58.40000*	5.03	0.000	48.33	68.47
	T1: Inundación Permanente	-75.65000*	5.03	0.000	-85.72	-65.58
T3: AWD - 10 cm	T2: AWD - 5 cm	-58.40000*	5.03	0.000	-68.47	-48.33
	T1: Inundación Permanente	75.65000*	5.03	0.000	65.58	85.72

* The mean difference is significant at the 0.05 level.



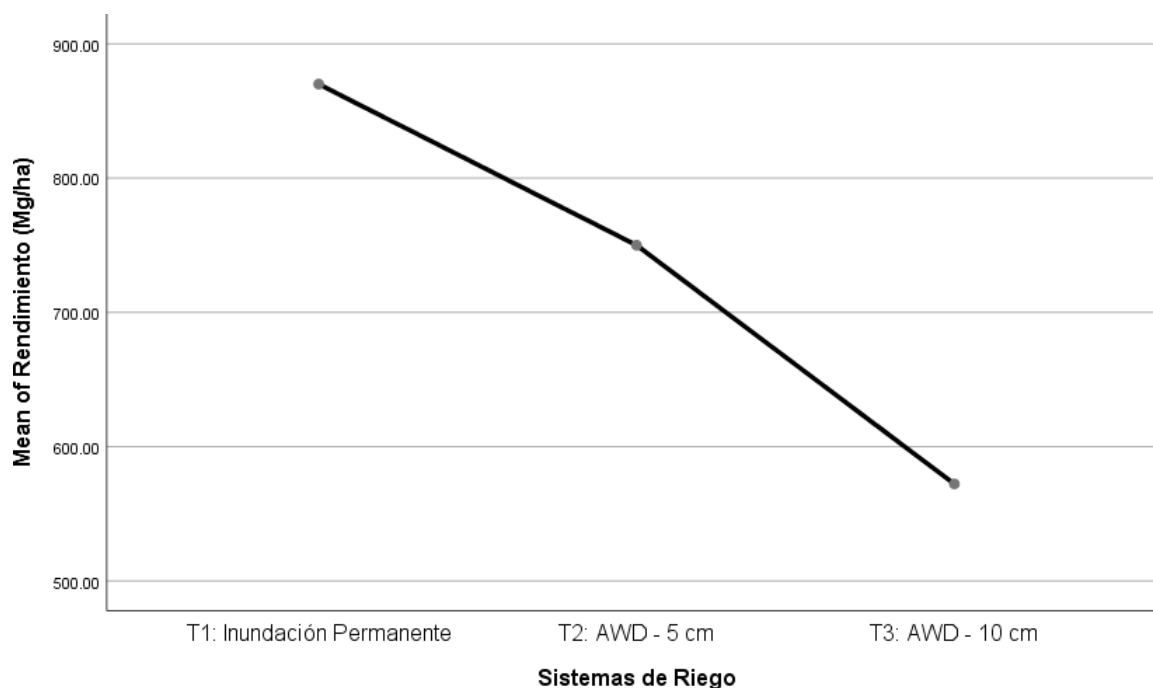
Anexo 6. ANOVA para la variable Rendimiento (t/ha)

Rendimiento (t/ha)					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Tratamientos	2873487.1	2	1436743.5	1024.13	0.00
Error	265146.36	189	1402.891		
Total	3138633.5	191			

Prueba T:

(I) Sistemas de Riego	(J) Sistemas de Riego	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
T1: Inundación Permanente	T2: AWD - 5 cm	120.00000*	6.62	0.000	106.94	133.06
	T3: AWD - 10 cm	297.79688*	6.62	0.000	284.74	310.86
	T1: Inundación Permanente	-120.00000*	6.62	0.000	-133.06	-106.94
T2: AWD - 5 cm	T3: AWD - 10 cm	177.79688*	6.62	0.000	164.74	190.86
	T1: Inundación Permanente	-297.79688*	6.62	0.000	-310.86	-284.74
T3: AWD - 10 cm	T2: AWD - 5 cm	-177.79688*	6.62	0.000	-190.86	-164.74

* The mean difference is significant at the 0.05 level.



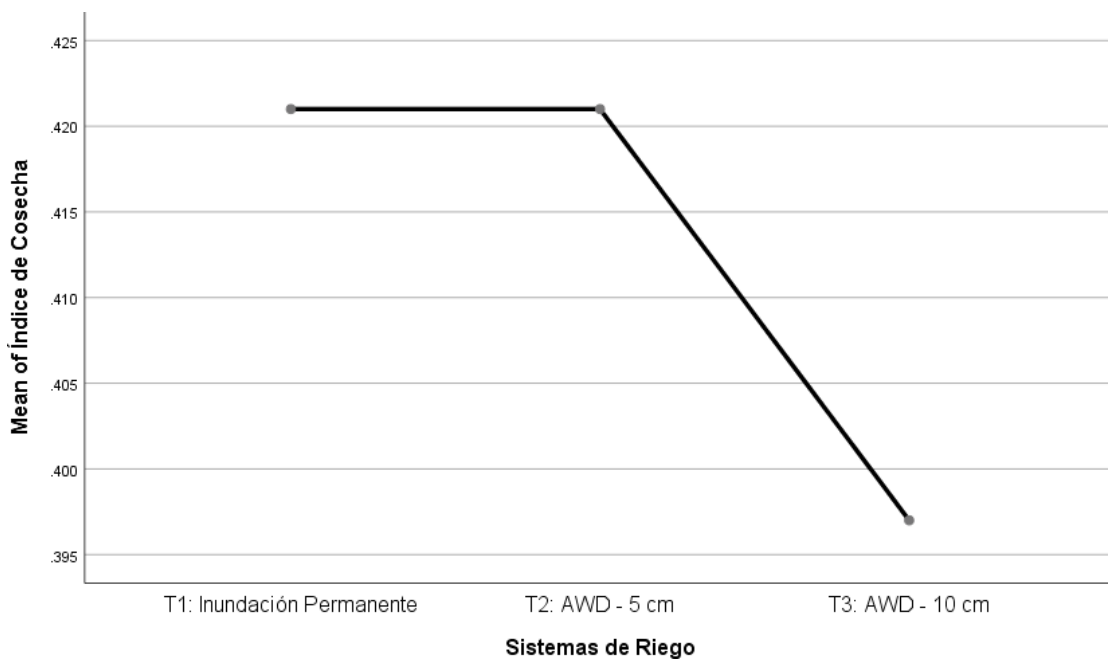
Anexo 7. ANOVA para la variable Índice de Cosecha.

Índice de Cosecha					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Tratamientos	0.004	2	0.002	1.195	0.318
Error	0.043	27	0.002		
Total	0.047	29			

Prueba T:

(I) Sistemas de Riego	(J) Sistemas de Riego	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
T1: Inundación Permanente	T2: AWD - 5 cm	0	0.017	1	-0.0368	0.0368
	T3: AWD - 10 cm	0.024	0.017	0.1	-0.0128	0.0608
	T1: Inundación Permanente	0	0.017	1	-0.0368	0.0368
T2: AWD - 5 cm	T3: AWD - 10 cm	0.024	0.017	0.1	-0.0128	0.0608
	T1: Inundación Permanente	-0.024	0.017	0.1	-0.0608	0.0128
T3: AWD - 10 cm	T2: AWD - 5 cm	-0.024	0.017	0.1	-0.0608	0.0128

* The mean difference is significant at the 0.05 level.



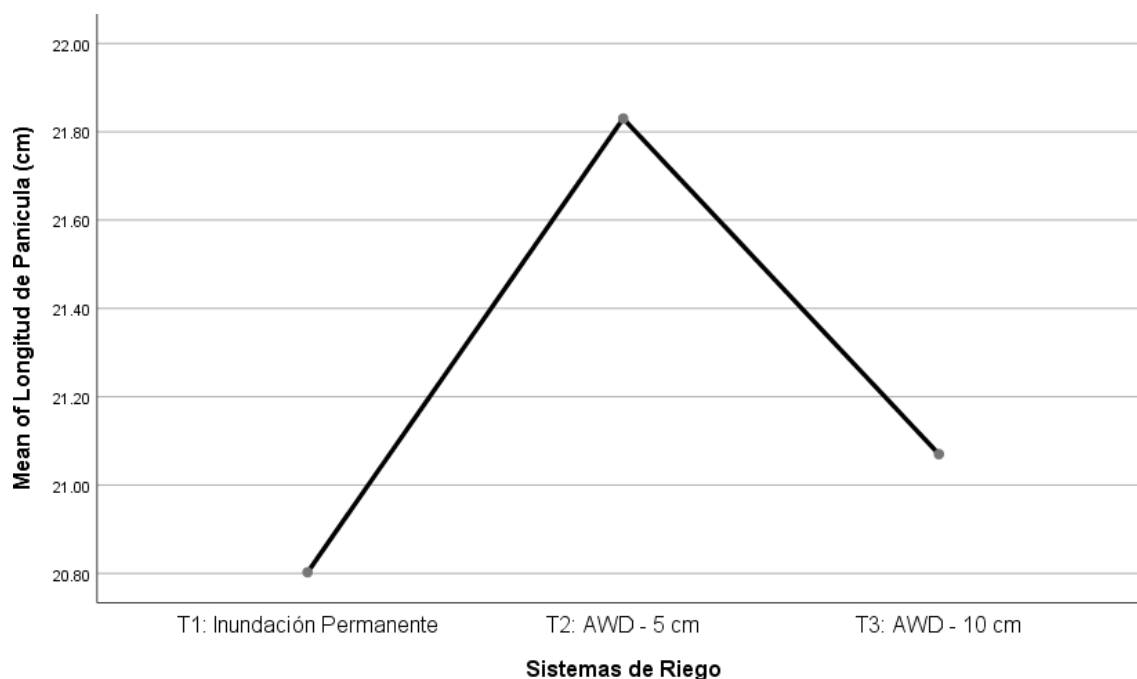
Anexo 8. ANOVA para la variable Longitud de panícula (cm).

Longitud de Panícula (cm)					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Tratamientos	22.732	2	11.366	5.129	0.007
Error	259.278	117	2.216		
Total	282.01	119			

Prueba T:

(I) Sistemas de Riego	(J) Sistemas de Riego	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
T1: Inundación Permanente	T2: AWD - 5 cm	-1.02750*	0.33	0.000	-1.69	-0.37
	T3: AWD - 10 cm	-0.2675	0.33	0.420	-0.93	0.39
	T1: Inundación Permanente	1.02750*	0.33	0.000	0.37	1.69
T2: AWD - 5 cm	T3: AWD - 10 cm	.76000*	0.33	0.000	0.10	1.42
	T1: Inundación Permanente	0.2675	0.33	0.420	-0.39	0.93
T3: AWD - 10 cm	T2: AWD - 5 cm	-.76000*	0.33	0.000	-1.42	-0.10

* The mean difference is significant at the 0.05 level.

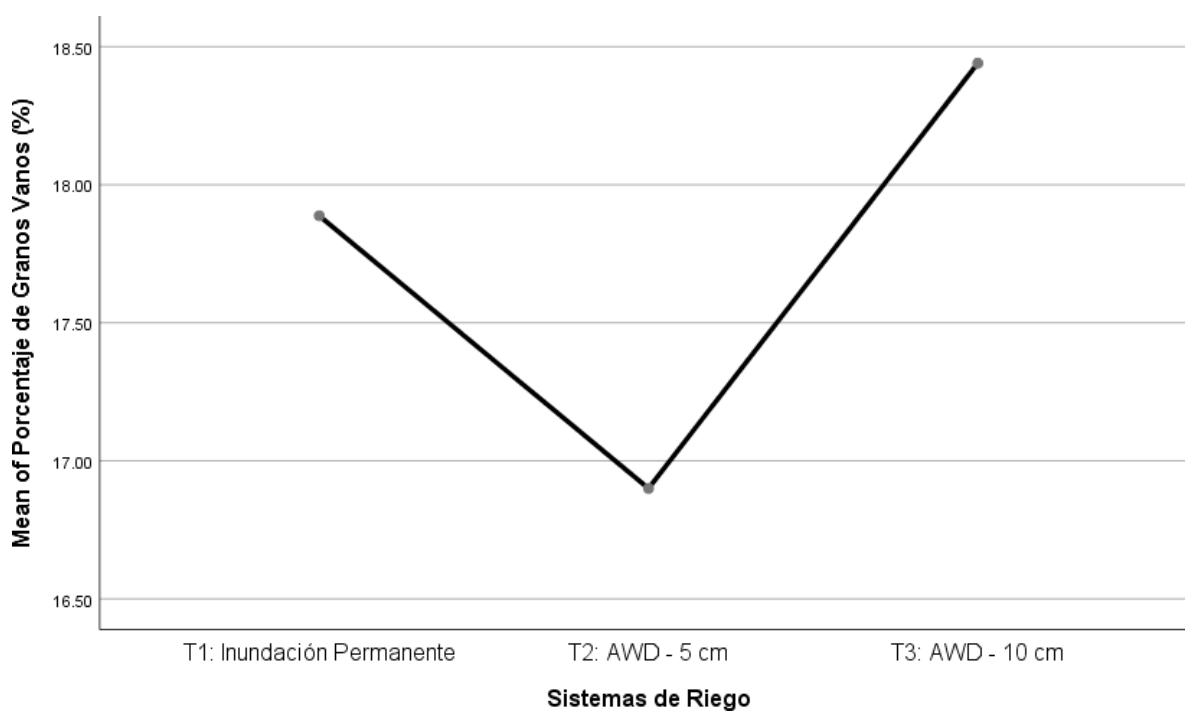


Anexo 9. ANOVA para la variable Porcentaje de granos vanos (%).

Porcentaje de Granos Vanos (%)					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Tratamientos	48.693	2	24.347	0.554	0.576
Error	5140.82	117	43.939		
Total	5189.51	119			

Prueba T:

(I) Sistemas de Riego	(J) Sistemas de Riego	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
T1: Inundación Permanente	T2: AWD - 5 cm	0.9875	1.48	0.51	-1.95	3.92
	T3: AWD - 10 cm	-0.5525	1.48	0.71	-3.49	2.38
T2: AWD - 5 cm	T1: Inundación Permanente	-0.9875	1.48	0.51	-3.92	1.95
	T3: AWD - 10 cm	-1.54	1.48	0.30	-4.48	1.40
T3: AWD - 10 cm	T1: Inundación Permanente	0.5525	1.48	0.71	-2.38	3.49
	T2: AWD - 5 cm	1.54	1.48	0.30	-1.40	4.48

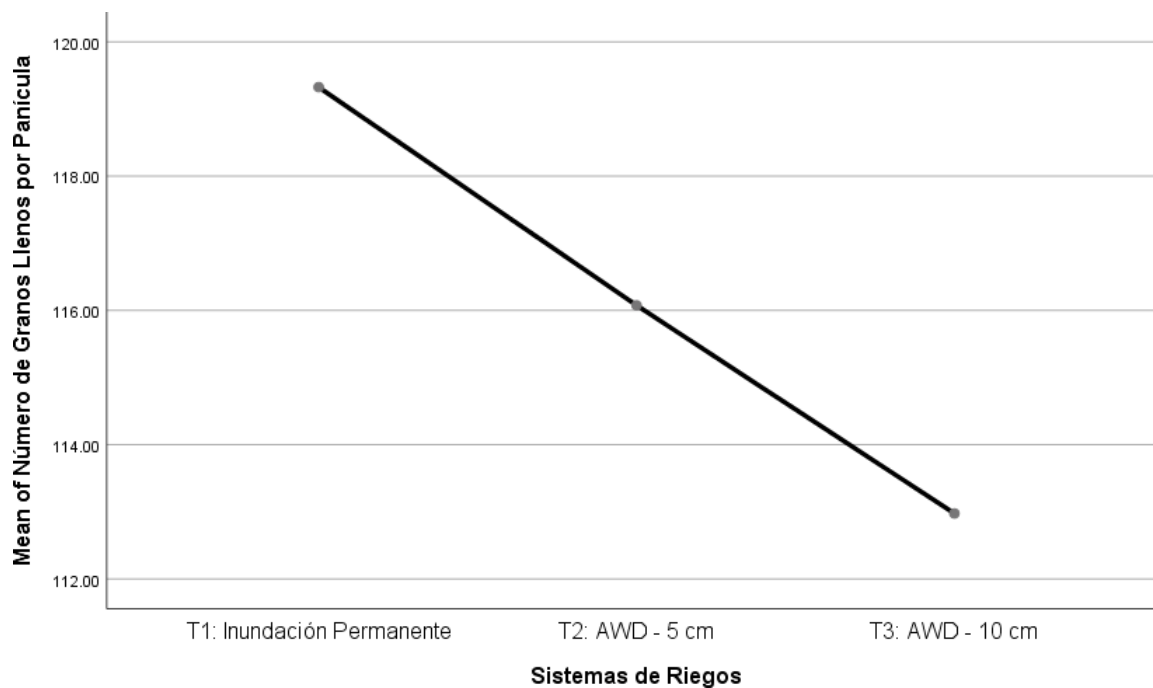


Anexo 10. ANOVA para la variable Porcentaje de granos llenos (%) por panícula.

Número de Granos Llenos por Panícula					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Tratamientos	806.6	2	403.3	0.873	0.42
Error	54042.525	117	461.902		
Total	54849.125	119			

Prueba T:

(I) Sistemas de Riegos	(J) Sistemas de Riegos	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
T1: Inundación Permanente	T2: AWD - 5 cm	3.25	4.81	0.50	-6.27	12.77
	T3: AWD - 10 cm	6.35	4.81	0.19	-3.17	15.87
T2: AWD - 5 cm	T1: Inundación Permanente	-3.25	4.81	0.50	-12.77	6.27
	T3: AWD - 10 cm	3.1	4.81	0.52	-6.42	12.62
T3: AWD - 10 cm	T1: Inundación Permanente	-6.35	4.81	0.19	-15.87	3.17
	T2: AWD - 5 cm	-3.1	4.81	0.52	-12.62	6.42



Anexo 11. Proyecto FONTAGRO – Más arroz con menos emisiones y con menor consumo de agua.



Anexo 12. Instalación de vertedero y canaleta.



Anexo 13. Piezómetro en campo.



Anexo 14. Colección de fotos del lugar de investigación.



Anexo 15. Cosecha manual de arroz.

