

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**“RESPUESTA DEL CULTIVO DE ARROZ, CV IR 71706 AL ESTRÉS
HÍDRICO BAJO RIEGO POR GOTEO EN LA UNALM”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÍCOLA**

WILIAN SALAZAR CORONEL

LIMA - PERÚ

2018

DEDICATORIA

*A mis padres Rodolfo e Higinia
A mis hermanas Janeth, Nicida, Aidé y Keyla
A mi hermano Desiderio
por su apoyo y comprensión*

AGRADECIMIENTOS

A Dios por siempre darme fortaleza y guiarme por el buen camino.

A mi familia por el apoyo incondicional que siempre me brindaron en el transcurso de cada año de mi carrera universitaria.

A mi patrocinadora Dra. Lía Ramos, por compartir sus conocimientos y consejos que permitieron terminar esta investigación.

A mi Co-asesor y miembros del jurado por compartir sus conocimientos y recomendaciones.

A los miembros del Área Experimental de Riego con quienes compartí el desarrollo de la presente investigación.

A mis amigos; gracias por su apoyo.

A los técnicos y encargados de los laboratorios por siempre colaborar y a todas las personas que se involucraron en la realización del presente trabajo.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN

ABSTRACT

I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	3
2.1. Antecedentes	3
2.2. El cultivo del arroz en Perú y el mundo	5
2.3. Características del arroz	6
2.3.1. Fenología y crecimiento de la planta.....	6
2.3.2. Productividad del agua	9
2.4. Estrés hídrico	9
2.4.1. Respuesta del cultivo de arroz al estrés hídrico	10
2.4.2. Coeficiente de estrés hídrico (Ks)	11
2.4.3. Potencial hídrico del suelo	12
2.5. Riego localizado por goteo	13
2.5.1. Riego deficitario.....	15
III. MATERIALES Y METODOS	16
3.1. Zona de estudio	16
3.1.1. Suelo.....	16
3.1.2. Agua de riego	17
3.1.3. Clima	18
3.1.5. Sistema de riego	21
3.2. Diseño experimental y análisis estadístico	25
3.3. Conducción del experimento	27

3.4. Procedimiento	29
3.4.1. Caracterización de suelo y riego	29
3.4.2. Respuesta del cultivo.....	32
3.4.3. Coeficiente de estrés hídrico (Ks).....	33
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES	35
4.1. Caracterización de suelo y riego	35
4.1.1. Curva de calibración de watermark y FDR	35
4.1.2. Humedad volumétrica del suelo	36
4.1.3. Bulbo húmedo y coeficiente de uniformidad	36
4.1.4. Determinación del lateral de riego y distanciamiento del cultivo.....	38
4.1.5. Volumen de agua aplicada	39
4.2. Respuesta del cultivo al estrés hídrico	41
4.2.1. Rendimiento de arroz cascara	43
4.2.2. Componentes de rendimiento.....	45
4.2.3. Parámetros biométricos del cultivo	51
4.2.4. Relación de biomasa e Índice de cosecha (IC).....	58
4.2.5. Calidad molinera	61
4.2.6. Productividad del agua	63
4.3. Coeficiente de estrés hídrico	65
V. CONCLUSIONES	69
VI. RECOMENDACIONES	70
VII. BIBLIOGRAFÍA	71
VIII. ANEXOS	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Área cosechada y producción de arroz en cascara por regiones 2015-2017.....	6
Tabla 2: Análisis físico químico del suelo	17
Tabla 3: Temperaturas máximas, mínimas y precipitación en los meses del cultivo.	20
Tabla 4: Materiales, equipos e insumos utilizados.....	20
Tabla 5: Valor de tensión del suelo según tratamientos.....	25
Tabla 6: Actividades y labores realizadas antes, durante y después del cultivo	27
Tabla 7: Diámetro y profundidad de bulbo húmedo para diferentes goteros.....	36
Tabla 8: Cálculo del tiempo y frecuencia de riego.....	39
Tabla 9: Evapotranspiración del cultivo y lámina teórica mensual durante el periodo de duración del cultivo.....	40
Tabla 10: Volumen de agua aplicada	40
Tabla 11: Rendimiento de arroz cascara bajo riego deficitario por goteo	43
Tabla 12: Promedio del número de panículas por m ²	46
Tabla 13: Promedio del número de granos llenos por panícula.	47
Tabla 14: Peso de mil granos llenos.....	49
Tabla 15: Promedio de altura y desviación estándar (σ) en tres momentos del cultivo (antes del inicio de secas, después del periodo de secas y en la cosecha)	53
Tabla 16: Promedio y desviación estándar (σ) del número de macollos por planta en tres momentos del cultivo (antes del inicio de secas, después del periodo de secas y en la cosecha)	55
Tabla 17: Promedio y desviación estándar del tamaño de panículas	55
Tabla 18: Profundidad de la raíz del cultivo de arroz	57
Tabla 19: Promedio de la relación de la biomasa aérea con peso de raíz	58
Tabla 20: Valores promedio y desviación estándar del índice de cosecha	60
Tabla 21: Calidad molinera del arroz IR-71706 bajo riego deficitario por goteo.....	61

Tabla 22: Productividad del agua en el cultivo de arroz	64
Tabla 23: Coeficiente de estrés hídrico (K_s) del experimento y calculado por Allen <i>et al.</i> , (2006)	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Estado fenológico del cultivo de arroz	9
Figura 2: Coeficiente de estrés hídrico del suelo (Ks)	12
Figura 3: Mapa de ubicación de la investigación	16
Figura 4: Diagrama radial de distribución de cationes y aniones del agua de riego	18
Figura 5: Variabilidad temporal de la HR, T máx, T min, T media y precipitación del 15 de noviembre del 2017 al 30 de abril del 2018.	19
Figura 6: Vista de planta del cabezal de riego del Área Experimental de Riego (AER)	21
Figura 7: Detalles del cabezal de riego (Vista de perfil y planta) del Área experimental de Riego (AER).....	22
Figura 8: Detalles del arco de riego instalados en el campo del Área Experimental de Riego (AER)	23
Figura 9: Detalles del reservorio del sistema de riego del Área Experimental de Riego (AER)	24
Figura 10: Área experimental de riego (AER) y distribución de bloques y tratamientos.	26
Figura 11: Esquema de instalación y recojo de información de los sensores de humedad FDR y Watermarkk	31
Figura 12: Curva de calibración de sensor de tensión de humedad del suelo watermark.....	35
Figura 13: Humedad volumétrica del suelo real y obtenida mediante sensores FDR durante el desarrollo del cultivo.	37
Figura 14: Distribución de laterales y sistema de siembra.....	38
Figura 15: Fases fenológicas del cultivo de arroz variedad IR71706	42
Figura 16: Barras del rendimiento promedio de arroz cascara ($t\ ha^{-1}$) y box plot de la desviación estandar.	44
Figura 17: Barras del número promedio de panículas, macollos y macollos efectivos por m^2 y box plot de la desviación estándar.	46
Figura 18: Barras del número promedio de granos llenos, vanos y totales por panícula.....	48

Figura 19: Barras del peso promedio de mil granos llenos (g)	50
Figura 20: Barras del rendimiento del arroz en cascara y sus componentes.....	50
Figura 21: Variación temporal del número de macollos (panel superior) y altura de planta (panel inferior) del cultivo de arroz.....	52
Figura 22: Barras del comportamiento de la altura (cm) (panel izquierdo) y el número de macollos (panel derecho) en tres momentos (antes de secas, después de secas y en la cosecha)	54
Figura 23: Barras del tamaño promedio de panículas y box plot de la desviación estándar....	56
Figura 24: Barras de la profundidad promedio de la raíz (cm) y box plot de la desviación estándar.....	57
Figura 25: Barras del promedio de la relación de biomasa aérea con peso de raíz y la desviación estándar	59
Figura 26: Barras índice de cosecha (%) promedio y box plot de la desviación estándar	60
Figura 27: Barras de la calidad molinera promedio y desviación estándar del cultivo de arroz por goteo	62
Figura 28: Barras de la productividad promedio del agua en arroz por goteo y box plot de la desviación estándar.....	64
Figura 29: Coeficiente de estrés hídrico (Ks) para el cultivo de arroz bajo riego deficitario por goteo.....	67

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Análisis de agua: a) Reservoirio AER; b) Reservoirio UNALM.....	78
ANEXO 2: Análisis de suelo	80
ANEXO 3: Análisis de los parámetros hídricos del suelo	81
ANEXO 4: Tiempo de riego y lámina diaria aplicada	82
ANEXO 5: Análisis de la varianza para el rendimiento del arroz t ha ⁻¹	84
ANEXO 6: Análisis de la varianza para el número de panojas por m ²	84
ANEXO 7: Resumen estadístico para el número de macollos por m ²	84
ANEXO 8: Análisis de la varianza para el número de macollos por m ²	84
ANEXO 9: Resumen estadístico para macollos efectivos por m ²	85
ANEXO 10: Análisis de la varianza para macollos efectivos por m ²	85
ANEXO 11: Análisis de la varianza para el número de granos llenos	85
ANEXO 12: Resumen estadístico para el número de granos vacíos	85
ANEXO 13: Análisis de la varianza para el número de granos vacíos.....	86
ANEXO 14: Resumen estadístico para el número de granos totales	86
ANEXO 15: Análisis de la varianza para el número de granos totales.....	86
ANEXO 16: Prueba de Kruskal-Wallis para Nro. de granos llenos y totales por panícula para intervalos de confianza de 95 por ciento.....	86
ANEXO 17: Análisis de la varianza para el peso de mil granos llenos (gr)	87
ANEXO 18: Análisis de la varianza de la altura de planta en tres momentos del cultivo: a) Inicio de secas; b) final de secas; c) En la cosecha.....	87
ANEXO 19: Prueba de Tukey HSD para la altura de planta en tres momentos del cultivo: a) Inicio de secas; b) final de secas; c) En la cosecha.....	88
ANEXO 20: Análisis de la varianza para el número de macollos por planta en tres momentos del cultivo: a) Inicio de secas; b) final de secas; c) En la cosecha	88

ANEXO 21: Prueba de Tukey HSD para el número de macollos por planta en tres momentos del cultivo: a) Inicio de secas; b) final de secas; c) En la cosecha	89
ANEXO 22: Análisis de la varianza para el tamaño de panícula (cm)	89
ANEXO 23: Prueba de Kruskal-Wallis para el tamaño de panícula (cm) con intervalos de confianza del 95 por ciento.	89
ANEXO 24: Resumen estadístico para el porcentaje de llenado (%)	89
ANEXO 25: Análisis de la varianza para el porcentaje de llenado (%)	90
ANEXO 26: Análisis de la varianza para la profundidad de la raíz (cm)	90
ANEXO 27: Análisis de la varianza para la relación de biomasa aérea con peso de raíz	90
ANEXO 28: Prueba de Tukey HSD para relación de biomasa aérea con peso de raíz	90
ANEXO 29: Análisis de la varianza para el índice de cosecha (%)	91
ANEXO 30: Análisis de la varianza para calidad molinera: a) Granos quebrados (%); b) Granos enteros (%); c) Rendimiento de molinería (%).	91
ANEXO 31: Análisis de la varianza para la productividad del agua (kg m ⁻³)	91
ANEXO 32: Panel fotográfico de acondicionamiento del campo, instalación del sistema de riego y almacigo de arroz.	92
ANEXO 33: Panel fotográfico del cultivo de arroz desde trasplante hasta macollamiento	92
ANEXO 34: Panel fotográfico del cultivo de arroz desde la fase reproductiva hasta maduración.....	94
ANEXO 35: Panel fotográfico de la cosecha del arroz IR71706 y evaluaciones realizadas ...	94

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

Acrónimo

AER	Área experimental de riego
AFA	Agua fácilmente aprovechable
ADT	Agua disponible total
CU	Coefficiente de uniformidad
CV	Coefficiente de variación
Dr	Agotamiento de humedad en la zona radicular
ETc	Evapotranspiración del cultivo
HV	Humedad Volumétrica
FDR	Reflectometría de dominio de frecuencia
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación
Kc	Coefficiente del cultivo
Ks	Coefficiente de estrés hídrico del suelo
CC	Capacidad de campo
PMP	Punto de marchitez permanente
IC	Índice de cosecha
UNALM	Universidad Nacional Agraria la Molina
INIA	Instituto Nacional de Innovación agraria
CIAT	Centro Internacional de Agricultura Tropical
IRRI	Instituto Internacional de Investigación sobre Arroz
DDS	Días después de la siembra
SIEA	Sistema Integrado de Estadística Agraria
MINSA	Ministerio de Salud

RESUMEN

En la presente investigación los tratamientos utilizados para evaluar la respuesta del cultivo de arroz al estrés hídrico fueron: 0, -10, -15, -20 kPa de tensión de la humedad del suelo para (T0, T1, T2 y T3) con una variación de ± 2 kPa respectivamente. Los tratamientos se realizaron en la fase fenológica vegetativa de macollamiento e inicio de la fase reproductiva, en el resto del desarrollo del cultivo la humedad se mantuvo con valores cercanos a capacidad de campo en todos los tratamientos. La variedad de arroz fue IR-71706 cultivado entre los meses de noviembre del 2017 a abril del 2018 dentro del campus de la UNALM. Las variables respuestas evaluadas fueron: el crecimiento de la planta, número de macollos por planta a lo largo del cultivo y después de la cosecha se evaluó el rendimiento, componentes de rendimiento (número de panículas por m^2 , número de granos llenos por panícula y peso de mil granos llenos), profundidad de raíz, productividad del agua y el coeficiente de estrés hídrico (Ks). La altura de planta fue muy sensible al déficit de agua presentando diferencias significativas entre la mayoría de tratamientos con excepción de la relación entre T2 con T3, la diferencia entre T0 y T1 fue de 10 cm, no ocurre lo mismo en macollamiento donde solo el tratamiento T1 tiene mayor número de macollos y el resto de tratamientos con estrés (T2 y T3) redujeron su número. Con respecto al rendimiento el tratamiento sin estrés (T0) obtuvo un rendimiento promedio de 10.29 t ha^{-1} con una reducción de 9, 34.2 y 35.4 por ciento, con respecto a los tratamientos T1, T2 y T3. Los tratamientos que tienen mayor número de panículas y número de granos llenos por panícula fueron T0 y T1. La productividad del agua fue de 1.12 kg m^{-3} para T0; 1.07, 0.8 y 0.81 kg m^{-3} en los tratamientos T1, T2 y T3. Los coeficientes de estrés hídrico del experimento fueron de 0.91, 0.66 y 0.64 en T1, T2 y T3 respectivamente.

Palabras claves: Estrés hídrico; arroz; componentes de rendimiento; altura de planta; productividad del agua; riego por goteo

ABSTRACT

In the present investigation, the treatments used to evaluate the response of the rice crop to water stress were: 0, -10, -15, -20 kPa of soil moisture tension for (T0, T1, T2 and T3) with a variation of ± 2 kPa respectively. The treatments were carried out in the vegetative phenological phase of tillering and the beginning of the reproductive phase, in the rest of the crop development the humidity was maintained with values close to field capacity in all the treatments. The variety of rice was IR-71706 cultivated between the months of November 2017 to April 2018 within the UNALM campus. The variables evaluated were: the growth of the plant, the number of tillers per plant throughout the crop, and after harvesting the yield, yield components (number of panicles per m^2 , number of filled grains per panicle, and weight of grains) were evaluated. thousand full grains), root depth, water productivity and the water stress coefficient (Ks). Plant height was very sensitive to water deficit, presenting significant differences between most treatments except the relationship between T2 and T3, the difference between T0 and T1 was 10 cm, the same does not occur in tillering where only the treatment T1 has a greater number of tillers and the rest of the stress treatments (T2 and T3) reduced their number. With respect to the performance, the treatment without stress (T0) obtained an average yield of 10.29 t ha^{-1} with a reduction of 9, 34.2 and 35.4 percent, with respect to the treatments T1, T2 and T3. The treatments that have the highest number of panicles and number of filled grains per panicle were T0 and T1. The water productivity was 1.12 kg m^{-3} for T0; 1.07, 0.8 and 0.81 kg m^{-3} for T1, T2 and T3. The water stress coefficients of the experiment were 0.91, 0.66 and 0.64 in T1, T2 and T3 respectively.

Keywords: Water stress; rice; yield components; plant height; water productivity; drip irrigation

I. INTRODUCCIÓN

El cultivo de arroz es vulnerable a las nuevas condiciones climáticas que se presentan últimamente, como la escasez de agua que podría amenazar significativamente su producción al ser un cultivo que normalmente se siembra en condiciones de inundación. Su investigación y adaptación al cambio climático se convierten en una necesidad para la seguridad alimentaria de la población (IRRI, 2018). Puesto que el arroz es un alimento básico dentro de la canasta de las familias peruanas, su consumo se estima en 49 kg per/cápita (INEI, 2012). El cultivar de manera aeróbica (condiciones no saturadas) y encontrar la respuesta al déficit hídrico, sería un gran paso para el ahorro del agua y la ampliación de las áreas de producción.

En el Perú las regiones más productoras de arroz son: La Libertad, Lambayeque, Piura, Arequipa, San Martín y Amazonas con el 80 por ciento de la producción nacional (SIEA, 2018), del cual el arroz bajo riego por inundación en la costa tiene rendimientos que van desde 9.6 a 13 t ha⁻¹, pero también existe en algunas regiones de la selva el cultivo de arroz por secano con rendimientos de 1.5 a 1.8 t ha⁻¹ (Miranda, 2009). El sistema de arroz inundado genera la proliferación de vectores causantes del dengue y la malaria, en cambio en un sistema aeróbico se podría controlar estos. Es así que, en estudios realizados por la Dirección General de Salud Ambiental en el 2006, se comprobó que con riego intermitente, en los periodos en que la plantación no se encuentra inundada, hay una disminución de vectores en un 87.5 por ciento (MINSA, 2011). Por otro lado, el arroz aeróbico también reduciría las emisiones de gases de efecto invernadero, en especial del metano (CH₄), considerado el segundo gas de importancia como responsable del calentamiento global, las reducciones serían de alrededor del 75 por ciento (Adekoya *et al.*, 2014).

El consumo de agua en riego por inundación es de 12 000 a 20 000 m³ ha⁻¹ (Heros, 2012), por ello se busca tecnologías que permitan su ahorro. El Perú es un país donde la producción de arroz en cascara tiene un promedio nacional de 7.5 t ha⁻¹, el riego por goteo permitirá un ahorro significativo del agua que puede ser utilizada para la ampliación de la frontera agrícola y elevar la producción que supondrá mayores ingresos para los agricultores. Por ello en la presente investigación se someterá a la planta a diferentes condiciones de estrés hídrico bajo un riego

deficitario por goteo en parcelas experimentales del campus de la Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM), entre los meses de noviembre del 2017 a abril del 2018 con la variedad IR-71706.

La preocupación de las últimas décadas está centrada en el adecuado uso del agua, en este año por ejemplo la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (FAO), en el foro internacional del agua se habló de la “gestión de la demanda de agua”, para poder atender el crecimiento de la población y los cambios alimentarios de los siguientes 30 años. Teniendo en cuenta que el cultivo de arroz es altamente demandante de agua, poder cultivarlo en un medio aeróbico, permitiría un ahorro significativo en el consumo de agua. Por ello el objetivo principal y objetivos específicos que persigue la investigación son:

1.1. Objetivo principal

Evaluar la respuesta del cultivo de arroz al estrés hídrico en la etapa del macollamiento bajo un sistema de riego por goteo.

1.2. Objetivos específicos:

- i) Caracterizar las condiciones del suelo y riego para el cultivo del arroz en condiciones de estrés hídrico.
- ii) Evaluar el rendimiento y componentes de rendimiento del cultivo de arroz, además de indicadores agronómicos.
- iii) Calcular el coeficiente de estrés hídrico (K_s) en el cultivo de arroz.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

El cultivo de arroz tradicional siempre se ha desarrollado en un sistema inundado, que requiere láminas de agua constante sobre el nivel del suelo (5 a 10 cm) a lo largo del ciclo de cultivo con la siguiente pérdida de agua por percolación profunda, escorrentía y evaporación directa de la lámina libre de agua a la atmósfera (Blanco, 2014). Para evitar que siga ocurriendo lo mismo se está implementado un sistema de cultivo en ambientes aeróbicos, donde el arroz se desarrolla en suelos no saturados y bien drenados con contenido de agua del 70 al 100 por ciento de la capacidad de retención del suelo, este nuevo tipo de cultivar combina la tolerancia a la sequía del arroz de tierras altas (secano) y el potencial de rendimiento del arroz regado por inundación. Los cultivares aeróbicos de arroz tienen la capacidad de mantener un crecimiento rápido en suelos con un contenido de humedad igual o inferior a la capacidad de campo y pueden producir rendimientos de 4-6 t ha⁻¹ con una aplicación moderada de fertilizantes. Con este tipo de forma de cultivo se puede ahorrar hasta el 50 por ciento del agua en comparación con el arroz cultivado por inundación. El impulso principal es el uso económico del agua, pero también reduce en un 80 – 85 por ciento la emisión de metano a la atmósfera y los rendimientos pueden ser similares con arroz inundado (Parthasarathi *et al.*, 2012).

El arroz aeróbico se puede cultivar en zonas de regadío donde el agua ha llegado a ser escasa o de elevado costo, el suelo tiene buen drenaje y campos con pendiente moderadas. También hay que tener en cuenta que para este tipo de cultivo se debe garantizar que el suelo siempre esté en capacidad de campo, por lo cual se debe de considerar algún tipo de riego complementario, porque las lluvias son estacionales y los periodos de las mismas irregulares. La principal diferencia con el arroz de secano es que este último por lo general se cultiva en terrenos inclinados, dependiendo únicamente de la lluvia, estas variedades tienen bajos rendimientos pero son muy resistentes a las sequías (Parthasarathi *et al.*, 2012). La mayoría de los cultivares de arroz aeróbico se han desarrollado a través de cruces de variedades tradicionales de secano para los rasgos de tolerancia a la sequía y la

mejora de las variedades de las tierras bajas (inundado) de los rasgos en altos rendimientos (Prasad, 2011).

Soman (2012), menciona que el riego por goteo es una tecnología que brinda muchos beneficios con respecto a otras, algunos de ellos son: mayor eficiencia en el uso del agua; ahorro del agua de riego en un 66 por ciento; menos semillas por hectárea; mayor eficiencia en el uso de fertilizantes; absorción del nitrato lixiviado y lavado; mantiene la condición aeróbica en el suelo; previene la emisión de metano y protege el medio ambiente ya que no hay agua estancada; humedad reducida en el microclima; incidencia de enfermedades e insectos significativamente baja; innecesaria nivelación del terreno y no requiere fango.

El riego por goteo puede ocasionar en el suelo problemas de sales. Zhang *et al.* (2016) demostró que las plántulas de arroz regadas por goteo son sensibles al estrés salino. Esto redujo la biomasa vegetal y el vigor de las raíces y aumentó la mortalidad de las plántulas. Además, la interacción entre el estrés salino moderado y la alta temperatura, aumentaron tanto el contenido de prolina radicular como la captación y translocación de Na^+ a los brotes. En general, las plántulas de arroz son sensibles al estrés salino. Por lo tanto, se debe considerar la salinidad del suelo antes de adoptar el riego por goteo para la producción de arroz en zonas áridas y semiáridas. No se registra que el sistema de riego es utilizado de forma intensiva, solo se registra algunas investigaciones en riego por aspersión y goteo en América Latina. En un ambiente aeróbico (goteo y aspersión) las reacciones en el suelo son diferentes incrementándose la incidencia de malezas dificultando su control (Jabran y Chauhan, 2015). Otros de los aspectos relevantes es un alto costo de los materiales para el sistema de riego.

En un ambiente inundado Echeverría (2015) en Honduras obtiene rendimientos de 12.02 t ha⁻¹, en comparación a 7.1 y 4.93 ton ha⁻¹ bajo riego por aspersión y goteo respectivamente. Sin embargo Kumar *et al.* (2017) en Asia obtiene mayores rendimientos bajo riego por goteo (6,17 y 6,89 kg de grano mm⁻¹ de agua) que en riego por aspersión (6,09 y 6,71 kg de grano mm de agua), que fueron significativamente mayores que el

riego por inundación (5,32 y 5,68 kg de grano mm⁻¹ de agua) durante los años 2010 y 2011 respectivamente, lográndose una reducción del 48 por ciento del consumo de agua.

2.2. El cultivo del arroz en Perú y el mundo

El arroz constituye la fuente de alimentación de 3 000 millones de personas en todo el mundo. La producción anual mundial de arroz con cáscara es de 650-700 millones de toneladas, de las cuales, el 90 por ciento es producido y consumido en Asia. El arroz cultivado está representado por dos especies principales: (i) (*Oryza sativa*, L.) sembrado en todo el mundo, con sus dos variedades ecogeográficas, índica adaptada a los trópicos y japónica adaptada a las regiones templadas y a las tierras altas tropicales; (ii) (*Oryza glaberrima*), que crece en algunas partes de África occidental (Bouman, 2012).

En el mundo, existen cerca de 158 millones de hectáreas de arroz, de las cuales 101 millones de hectáreas corresponden a cosechas de arroz de riego inundado y constituyen el 75 por ciento de la producción mundial de arroz, y los 57 millones de hectáreas restantes corresponden a arroz de secano que contribuyen con el 19 por ciento de la producción mundial (Bouman *et al.*, 2012). En el Perú el área cosechada en el 2017 fue de 422 434 hectáreas, con una producción de 3 038 766 toneladas (SIEA, 2018). Este cultivo se desarrolla en 18 regiones, siendo las más importantes San Martín, Piura, Lambayeque, La Libertad y Amazonas, con 22, 19, 13, 11, 10 por ciento de la producción nacional respectivamente, como se muestra en la Tabla 1.

Se proyectaba que para la campaña 2017 - 2018 se haya sembrado 446 966 hectáreas según las intenciones de siembra (SIEA, 2018). Por otro lado, según la Encuesta Nacional de Presupuestos Familiares (ENAPREF) realizada por el Instituto Nacional de Estadística (INEI) en el periodo 2012, se precisa que el consumo per cápita es 49 kg/año, convirtiéndose en uno de los principales alimentos de la canasta familiar.

Tabla 1: Área cosechada y producción de arroz en cascara por regiones 2015-2017

Región	Superficie cosechada (ha)				Producción (t)			
	2015	2016	2017	P (%)	2015	2016	2017	P (%)
Nacional	399,501	419,563	422,434	100	3,151,408	3,165,749	3,038,766	100
Amazonas	46,021	41,567	44,474	10	351,620	307,947	327,568	10
Ancash	4,190	6,795	5,432	2	49,530	65,150	64,425	2
Arequipa	20,339	19,939	20,225	5	263,434	250,051	281,393	8
Ayacucho	148	80	60	0	345	201	173	0
Cajamarca	25,393	24,886	23,681	6	200,309	195,641	186,759	6
Cusco	1,692	1,476	920	0	3,250	2,598	1,827	0
Huánuco	7,576	9,151	10,980	2	34,554	48,301	63,157	2
Junín	1,381	1,214	1,248	0	4,575	3,959	4,255	0
La Libertad	32,641	32,857	31,425	8	344,536	334,920	206,995	11
Lambayeque	49,452	49,831	50,012	12	455,188	399,038	400,575	13
Loreto	31,526	33,046	34,700	8	92,286	96,716	101,205	3
Madre de Dios	2,549	2,559	2,467	1	5,052	5,425	5,598	0
Pasco	3,065	2,777	2,055	1	4,783	3,881	3,169	0
Piura	57,559	67,373	51,566	16	503,241	589,687	378,864	19
Puno	255	283	100	0	463	516	183	0
San Martín	90,069	101,255	110,442	24	682,497	710,287	822,885	22
Tumbes	15,526	14,654	14,557	3	129,016	124,497	123,537	4
Ucayali	10,120	9,821	18,092	2	26,729	26,934	66,198	1

FUENTE: SIEA, (2018)

2.3. Características del arroz

2.3.1. Fenología y crecimiento de la planta

El método predominante de establecimiento del cultivo en la mayoría de las zonas arroceras es el trasplante. El arroz se cultiva primero en una cama separada de siembra. Las semillas se germinan antes y se siembran a voleo en una superficie de suelo húmedo o inundado en el almacigo, a una tasa siembra de 1500 - 1800 kg ha⁻¹, pero también existe el método de siembra directa en campo definitivo. Al momento del trasplante, (12-25 días después del establecimiento para las variedades modernas, o alrededor de los 40 días para las variedades tradicionales), las densidades de plantación son equivalentes a tasas de siembra de 40-50 kg ha⁻¹. De cuatro a cinco plántulas normalmente se trasplantan a mano, en golpes separados entre 0.15 y 0.30 m. El arroz híbrido normalmente se trasplanta como una plántula por golpe. Cada planta desarrolla de tres a siete hijuelos, dependiendo del estado de los nutrientes, el cultivar y la densidad de las plántulas. En un buen cultivo, la

cantidad de panículas con granos llegará a 400-600 por m² en la estación seca, y 300-400 m² en la estación húmeda para las variedades indica comunes en los trópicos (Bouman *et al.*, 2012). En la Figura 1 se aprecia el desarrollo fenológico de la planta de arroz y el número de días desde la plantación.

Según el manual de observaciones fenológicas elaborado por (Yzarra y Lopez, 2011) y del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), el crecimiento fenológico del cultivo de arroz está caracterizado por las siguientes etapas:

a. Fase vegetativa

- Emergencia. – Esto ocurre desde el momento de la siembra, hasta la aparición de la primera hoja a través del coleóptilo (CIAT, 1980).
- Plántula. – Desde la emergencia del arroz hasta la aparición del primer macollo, en esta etapa puede hacer el trasplante, cuatro hojas emergen totalmente y la primera hoja muere al doceavo día.
- Macollaje. - Aparece el primer macollo o hijuelo a partir de la yema axilar en uno de los nudos más inferiores de las plántulas. El momento de registro de la fase se da cuando el macollo tiene una longitud aproximada de 1 cm, terminando cuando empieza la etapa reproductiva con la aparición del primordio floral. El macollamiento es la etapa vegetativa más larga, se estima que para variedades precoces (105 días) y variedades tardías (150 días), tarda de 45 a 90 días respectivamente. A lo largo de esta etapa las raíces adventicias continúan su desarrollo a partir de los macollos primarios, secundarios y terciarios, expandiéndose considerablemente el sistema radicular fibroso (CIAT, 1980).

b. Etapa reproductiva

- Inicio de panícula. - Se aprecia el primordio de la panícula al removerse cuidadosamente la vaina de la hoja bandera que esta alrededor del tallo principal o de un macollo, donde se podrá ver un cono blanco veloso de 1.0 a 1.5 mm de longitud, denominado "punto de algodón". En esta etapa el rendimiento se afecta más

severamente por condiciones adversas al reducir el número de espiguillas diferenciadas (CIAT, 1980).

- Desarrollo de panícula. - La panícula diferenciada es visible (se puede distinguir las espiguillas de la panícula) hasta cuando la punta de ella está justo por debajo del cuello de la hoja bandera. En esta etapa, el primordio de la espiguilla se diferencia y forma el raquis la inflorescencia que crece dentro de la vaina de la hoja bandera causando un abultamiento llamado comúnmente “embuchamiento” (CIAT, 1980).
- Floración. - Momento en que la panícula emerge fuera de la vaina de la hoja bandera, seguido por el proceso de floración, luego las espiguillas de las panículas se abren para que las flores contenidas en su interior puedan polinizarse y fecundarse. Debido a la diferencia de tiempo en el que ocurre el crecimiento de macollos, el desarrollo de panoja, la antesis y fertilización del ovario la floración no ocurre uniformemente en una misma parcela (CIAT, 1980).

c. Etapa de maduración

- Maduración lechosa. - Los granos al ser presionados presentan un líquido acuoso o lechoso que puede ser sacado con la presión con los dedos. Después de la fertilización de las flores, los carbohidratos almacenados en los tallos y otras partes de la planta son trasladados rápidamente para formar el grano.
- Maduración pastosa. - Los granos al ser presionados se extraen de ellos una masa blanda de color blanco y luego se endurece en tres a cinco días. También cambia de color a verdoso amarillento, la panícula dobla la punta en un arco de 180° y las ramas de la mitad del raquis doblan su punta en un arco de 90° esto debido al peso de los granos (CIAT, 1980).
- Maduración córnea. - Los granos al ser presionados están duros y muestran un color amarillo pálido. La planta entera esta fisiológicamente madura, las dos hojas remanentes en todos los tallos están marchitas, aunque en algunas variedades permanecen de color verde pálido (CIAT, 1980).

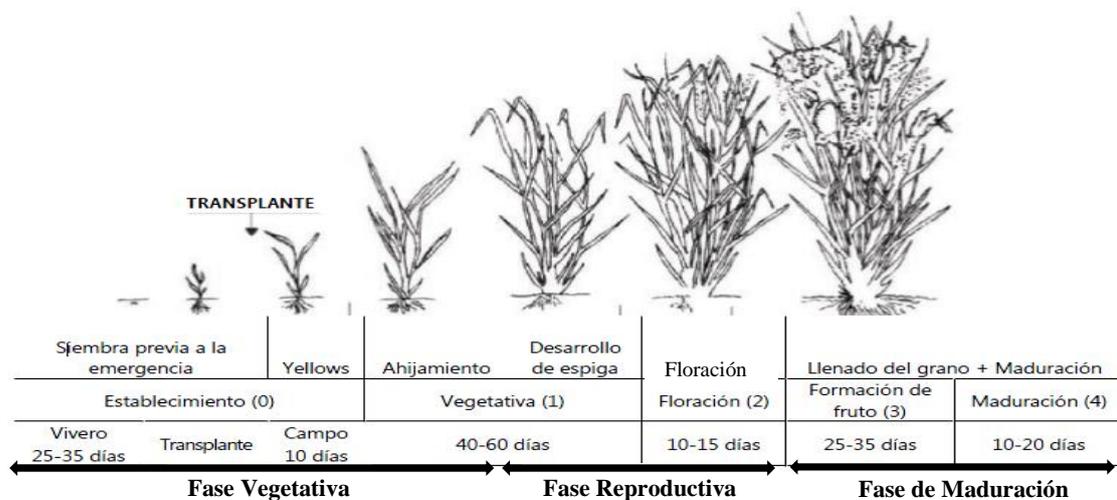


Figura 1: Estado fenológico del cultivo de arroz

FUENTE: Bouman *et al.*, (2012)

2.3.2. Productividad del agua

Es la cantidad o el valor del producto sobre el volumen o valor del agua utilizado para su producción y se expresa en kg m^{-3} . Para el cultivo de arroz considerando el agua que se utiliza en riego la productividad es de 0.05 y 0.6 kg m^{-3} . Aumentar la productividad radica en el mejoramiento de las plantas, como: aumentar la profundidad de raíz, incrementar el índice de cosecha y fortalecer la eficiencia fotosintética (FAO, 2003). La productividad del agua con respecto a la evapotranspiración varía entre 0.6 y 1.6 kg m^{-3} , con una media de 1.1 kg m^{-3} , pero la productividad del agua con respecto al aporte total de agua (riego más precipitación) es de 0.4 kg m^{-3} aproximadamente y varía entre 0.2 a 1.2 kg m^{-3} (Bouman *et al.*, 2012).

2.4. Estrés hídrico

Se refiere necesariamente al déficit de agua que sufre el cultivo. Las fuerzas que actúan sobre el agua presente en el suelo disminuyen su energía potencial y la hacen menos disponible para su extracción por parte de las raíces de las plantas. Cuando el suelo se encuentra húmedo, el agua presente tiene una energía potencial alta, teniendo libertad de movimiento y pudiendo ser extraída fácilmente por las raíces de las plantas. En suelos secos el agua tiene una energía potencial baja, siendo retenida fuertemente por fuerzas capilares y de adsorción a la matriz del suelo, lo que la hace menos extraíble por el cultivo (Allen *et al.*, 2006).

Los efectos del estrés hídrico en la productividad y los procesos de uso del agua se aprecian en diferentes rasgos de la planta como: el crecimiento del dosel, la conductancia estomática, la senescencia del dosel, la profundización de las raíces y el índice de cosecha. Estos efectos se dan según el periodo donde la falta de agua fue significativa (Steduto *et al.*, 2012).

2.4.1. Respuesta del cultivo de arroz al estrés hídrico

El estrés hídrico produce diversas alteraciones, estas ocurren dependiendo de las etapas fenológicas de las plantas. Una de las etapas es el crecimiento ocasionando una deficiente expansión del dosel o lento crecimiento, recuperándose si se suministra el riego en su adecuado tiempo. De lo contrario el cultivo no se recuperará porque no tiene potencial de crecimiento foliar después del período de floración.

Los estomas son considerablemente menos sensibles al agotamiento de humedad del suelo que el crecimiento del dosel; por tanto, su coeficiente de estrés hídrico (K_s) se ajusta de manera que no disminuya hasta que la humedad del suelo se agote mucho más. También puede ocurrir que la senescencia del dosel puede ser desencadenada y acelerada por el estrés hídrico en cualquier momento durante el ciclo biológico del cultivo, siempre que el estrés sea lo suficientemente severo (Steduto *et al.*, 2012).

El impacto del estrés hídrico en el índice de cosecha (IC) puede ser pronunciado, dependiendo del momento y la magnitud del estrés durante el ciclo del cultivo. Los efectos del estrés hídrico en el HI pueden ser negativos o positivos (Steduto *et al.*, 2012).

Dos de los efectos negativos son más directos. Uno es la inhibición de la polinización y la disminución del cuajado del fruto (formación exitosa del embrión). Si el estrés es severo y lo suficientemente prolongado, la cantidad de frutos (o granos) cuajados se reduciría lo suficiente como para reducir el IC y limitar el rendimiento, en algunos casos, drásticamente. En buenas condiciones, la mayoría, si no todas las especies de cultivos, han sido seleccionadas con una tendencia a formar más frutos de los que pueden llenarse con los asimilados fotosintéticos disponibles, causando el aborto de una parte de los frutos cuajados durante su desarrollo temprano. Por tanto, la reducción del cuajado del fruto por

estrés hídrico puede reducir o no el IC, dependiendo de la magnitud de la reducción y de la magnitud del cuajado de fruto (Steduto *et al.*, 2012).

En la guía para identificar las limitaciones de campo en la producción de arroz de la FAO (Chaudhary *et al.*, 2003), establece que el nivel recomendado de agua o de humedad en el suelo es esencial para mantener un adecuado manejo de los nutrientes, malezas, pestes y enfermedades. Bajo condiciones de secano la lluvia es un factor crítico, de lo contrario el cultivo sufre por falta o exceso de agua.

Los efectos según la misma publicación pueden ser: i) Enrollado de las hojas, las hojas resacas, el macollaje limitado, el raquitismo, el retraso de la floración, la esterilidad de las espiguillas y un llenado incompleto de los granos. ii) En las etapas vegetativas reduce la altura, el macollaje y el área foliar. iii) En la etapa de la iniciación de la panícula hasta la floración; reduce el rendimiento al aumentar la esterilidad de la espiguilla.

2.4.2. Coeficiente de estrés hídrico (Ks)

Los efectos del estrés hídrico sobre el valor de la evapotranspiración del cultivo se reflejan mediante la reducción del valor del coeficiente del cultivo (Kc). Esto se logra al multiplicar el valor del coeficiente del cultivo por el Ks. (Ecuaciones 1 y 2)

$$ET_{caj} = (K_s K_{cb} + K_e) ET_o \dots (1)$$

$$ET_{caj} = K_s K_c ET_o \dots (2)$$

Donde ET_{caj} es la evapotranspiración del cultivo ajustada; ET_o es la evapotranspiración de referencia; K_{cb} : coeficiente basal del cultivo; K_e es el coeficiente de evaporación.

El contenido de humedad en la zona radicular puede ser expresado en función del agotamiento de humedad en la zona radicular (D_r), es decir la cantidad de agua faltante con respecto a la capacidad de campo. En este estado, el agotamiento en la zona radicular es igual a cero ($D_r = 0$). Cuando se produce la extracción del agua a través de la evapotranspiración, aumentará el agotamiento de humedad del suelo y se iniciarán las situaciones de estrés cuando el valor de D_r sea igual al agua fácilmente aprovechable (AFA). Después de que el agotamiento en la zona radicular exceda a AFA (o sea, el contenido de agua es menor al valor umbral et), el agotamiento del agua será lo

suficientemente alto como para limitar la evapotranspiración a valores menores que su potencial, por lo que la evapotranspiración del cultivo comenzará a disminuir en proporción a la cantidad de agua remanente en la zona radicular, como se indica en la Figura 2 (Allen *et al.*, 2006).

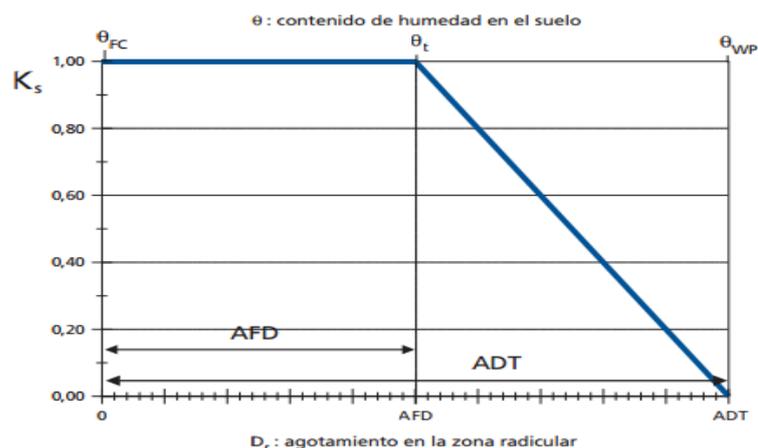


Figura 2: Coeficiente de estrés hídrico del suelo (Ks)

FUENTE: Allen *et al.* (2006)

Para $D_r > AFA$, K_s es calculado como:

$$K_s = \frac{ADT - D_r}{ADT - AFA} = \frac{ADT - D_r}{(1 - p) ADT} \dots (3)$$

Donde, “ K_s ” es un factor adimensional de reducción de la transpiración que depende de la cantidad de agua disponible en el suelo [0 - 1], “ D_r ” es el agotamiento de humedad en la zona radicular [mm], “ ADT ” es el agua disponible total en la zona radicular del suelo [mm], “ p ” es la fracción de la ADT que un cultivo puede extraer de la zona radicular sin sufrir estrés hídrico. Luego de calcular el valor de K_s , se calcula la evapotranspiración ajustada ($E_{Tc\ aj}$), dependiendo de los coeficientes utilizados para determinar la evapotranspiración. Cuando el agotamiento en la zona radicular sea menor que la AFA , $K_s = 1$ (Allen *et al.*, 2006).

2.4.3. Potencial hídrico del suelo

Cuando las plantas extraen el agua del suelo más que conocer el contenido de humedad, interesa conocer la energía con que el agua es retenida. Porque hay una serie de factores que tienden a retenerla o expulsarla. El potencial hídrico del suelo tiene cuatro

componentes: potencial mátrico (ψ_m), potencial osmótico (ψ_o), potencial gravitacional (ψ_g) y potencial de presión (ψ_p). Los dos primeros son los más utilizados el potencial mátrico es generado por los mecanismos de retención de agua por el suelo (adhesión y cohesión), su valor siempre negativo, debido que la presión originada se opone a la expulsión de agua del suelo y el potencial osmótico debido muchas veces a que el agua del suelo puede ser una solución salina que en presencia de membrana semipermeable (raíces), se produce un movimiento de del agua desde la solución más diluida a las más concentrada. La presión que origina estos movimientos es la presión osmótica que se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$\psi_o = -0.36 * CE * \frac{\varepsilon}{\theta_v} \dots (4)$$

Dónde: CE = conductividad eléctrica del extracto de saturación, en mmhos/cm; E = la porosidad del suelo; θ_v = humedad volumétrica del suelo. El potencial gravitacional se debe a la altura geométrica del punto considerado con respecto a un plano de referencia y el potencial de presión solo se presenta en suelos saturados en ambos casos se consideraron cero, por lo que el potencial hídrico solo se debió al mátrico y osmótico.

2.5. Riego localizado por goteo

El riego localizado consiste en la aplicación de agua sobre la superficie del suelo o bajo éste, utilizando para ello tuberías a presión y emisores de diversas formas, de manera que sólo se moja una parte del suelo, la más próxima a la planta. El agua aplicada por cada emisor moja un volumen de suelo que se denomina bulbo húmedo. El sistema de riego por goteo es el sistema localizado más popular, según el cual el agua circula a presión por la instalación hasta llegar a los emisores o goteros, en los que pierde presión y velocidad, saliendo gota a gota. Son utilizados normalmente en cultivos con marco de plantación amplio (olivar, frutales, etc.) aunque también se usan en cultivos en línea (algodón, coliflor, repollo, patata, etc.) (Fernández *et al.*, 2010).

Los goteros suelen trabajar a una presión próxima a un bar y suministran caudales entre 2 y 16 l h⁻¹. Lo más frecuente es que las tuberías laterales y los goteros estén situados sobre la superficie del suelo, y el agua se infiltre y distribuya en el subsuelo. En el sistema de riego por goteo el agua penetra en el suelo por un punto, distribuyéndose en todas las direcciones (Fernández *et al.*, 2010).

Las ventajas de este sistema son: permite un ahorro significativo del recurso agua se aplica solo lo que necesita la planta de acuerdo a la evapotranspiración del cultivo, reducción de la mano de obra en la aplicación del riego en la parcela porque que permite la automatización del sistema, se puede aplicar el fertilizante de forma recurrente evitando pérdidas y la utilización de menos mano de obra (fertirrigación), con respecto al riego por aspersión e inundación el riego por goteo evita la proliferación de plagas y enfermedades en las hojas de los cultivos que generalmente ocurre por el humedecimiento además de tener elevados valores de coeficiente de uniformidad. Con riego por goteo el suelo se puede mantener a capacidad de campo porque permite reponer de forma diaria lo que pierde por evapotranspiración la planta. Pero este sistema también tiene algunas desventajas como su elevado costo inicial, por los componentes que son necesarios para su óptimo funcionamiento, se debe tener en cuenta que un mal sistema de filtrado obstruirá los goteros trayendo problemas y afectando considerablemente el coeficiente de uniformidad.

a. Coeficiente de uniformidad: La uniformidad es una magnitud que caracteriza a todo sistema de riego y que además interviene en su diseño, tanto en el agronómico, porque afecta al cálculo de las necesidades totales de agua, como en el hidráulico, pues en función a este se define los límites entre los que se permite que varíen los caudales de los emisores. También se puede utilizar para la evaluación de instalaciones en funcionamiento (Pizarro, 1996).

b. Punto óptimo de riego: La determinación del momento óptimo de riego es muy importante, porque determina la dosis de agua y el intervalo en el que se va aplicar. Pizarro (1996) establece tres procedimientos para determinar el punto óptimo: 1) En función a la evapotranspiración y del descenso del agua útil del suelo; 2) En función del potencial hídrico del suelo y 3) En función del estrés hídrico del cultivo. El cálculo se puede realizar por:

$$Lr = \frac{\theta_{cc} - \theta}{100} * p \dots \dots \dots (5)$$

Dónde: θ_{cc} = Humedad volumétrica en capacidad de campo; θ = Humedad volumétrica a la que se desea reponer el riego ; p = profundidad de raíz (mm)

c. Tiempo de riego: Es el tiempo que demanda la reposición de la lámina de riego, este depende de la evapotranspiración del cultivo, a mayor evapotranspiración mayor será el tiempo de riego.

d. Frecuencia de riego: Es el número de veces que se riega en un determinado periodo. La frecuencia tiene mucha relación con la capacidad de retención del suelo, por ejemplo, en un suelo de textura arenosa el riego se realizará con mayor frecuencia. En épocas donde la evapotranspiración es elevada también puede elevarse la frecuencia de aplicación del agua al cultivo (Fernández *et al.*, 2010).

2.5.1. Riego deficitario

El riego deficitario, es el suministro inferior de agua que las necesidades totales del cultivo, y esta leve escasez debe realizarse durante las etapas del desarrollo en las que el cultivo es menos sensible a la falta de humedad. Se prevé que toda reducción de la productividad sea limitada y que se obtengan otros beneficios como el ahorro de agua (FAO, 2011). Para ello se necesita un conocimiento preciso de la respuesta del cultivo al estrés hídrico y tolerancia a la sequía que varían según el genotipo y etapa fenológica (Lagos *et al.*, 2017).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Zona de estudio

El desarrollo experimental se realizó en el “Área experimental de Riego (AER)”, dentro del campus de la UNALM, en el distrito de La Molina, Provincia de Lima, Región Lima, en la región natural de la costa, durante los meses de noviembre del 2017 a abril del 2018. Teniendo como coordenadas geográficas: $-12^{\circ} 04' 50''$, $-76^{\circ} 57' 06.5''$ y 233 m.s.n.m. de longitud, latitud y altura respectivamente ver la Figura 3.

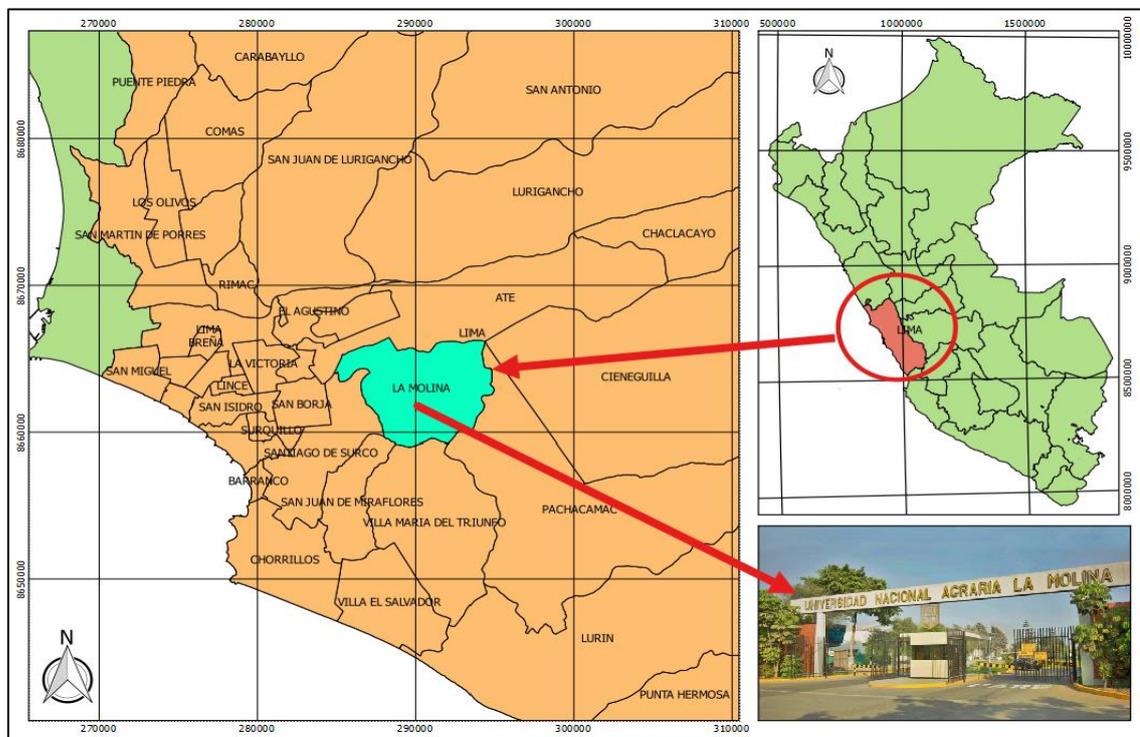


Figura 3: Mapa de ubicación de la investigación

FUENTE: Elaboración de propia

3.1.1. Suelo

El suelo es de origen aluvial profundo con buen drenaje, pero con problemas de salinidad. La determinación de las características físico químicas se realizó en el Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertirriego, de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la UNALM. Las muestras analizadas fueron extraídas de todas las parcelas a una profundidad de 30 cm. A continuación, en la Tabla 2, se presenta los resultados.

Tabla 2: Análisis físico químico del suelo

Determinación	Unidad	Valor	Método de análisis
Arena	%	62.56	
Limo	%	22.00	Hidrómetro de Bouyucos
Arcilla	%	15.44	
CE	ds/m	1.81	Lectura de extracto de Saturación en la celda eléctrica
PH		7.67	Potenciometro 1:1
MO	%	2.75	Walkley y Black
Fosforo (p)	Ppm	60.85	Olsen modificado
Potasio en (K ₂ O)	Ppm	368.00	Acetato de amonio 1N pH 7,0
CaCO ₃	%	1.09	

FUENTE: Elaboración propia con información del Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertirriego.

El suelo es de textura franco arenosa con un 62.56, 22 y 15.44 por ciento de arena, limo y arcilla respectivamente. El pH es ligeramente alcalino, pudiendo tener problemas en asimilación de elementos como Manganeso (Mn), Hierro (Fe), Zinc (Zn), Cobre (Cu) y Boro (B). También se puede observar contenido medio de Magnesio, alto contenido de potasio, fosforo y calcio. El contenido de materia orgánica es medio para un clima cálido, esta cantidad se debió principalmente que en la preparación del terreno se adiciono compost, como una forma de mejorar la estructura del suelo (Sánchez, 2012).

La conductividad eléctrica (CE) es 1.81 ds m⁻¹, por lo que no se tendrá problemas de salinidad, porque el cultivo de arroz puede soportar valores de CE hasta de 3 ds m⁻¹. Otro parámetro que se tuvo en cuenta es la capacidad de intercambio catiónico (CIC), con un valor medio. Para una correcta fertilización las relaciones de los cationes deben ser la adecuada, porque la abundancia de algunos elementos puede inhibir la asimilación de otros por la planta (Sánchez ,2012).

3.1.2. Agua de riego

El agua de riego proviene del rio Rímac, que ingresa a la UNALM y es almacenada en el reservorio del AER de 12 m³ de capacidad, además a partir del mes de febrero se dispuso de una red de conexión del reservorio principal de la UNALM ubicado cerca del campo ferial. El reservorio del AER se llenaba directamente del canal los días martes y jueves

de cada semana, si el volumen de agua no era suficiente se llenaba con agua del reservorio general por un tiempo de 30 minutos. En la Figura 4, se presenta los resultados del análisis químico de las dos fuentes de agua, realizado en el Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertirriego, de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la UNALM.

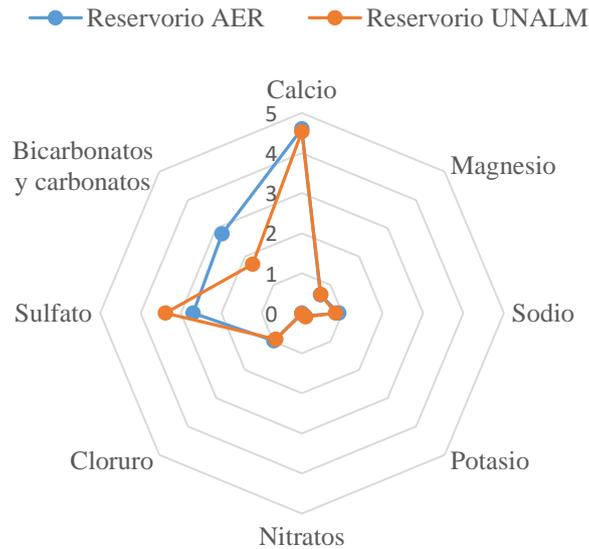


Figura 4: Diagrama radial de distribución de cationes y aniones del agua de riego
 FUENTE: Elaboración propia con información del laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertirriego.

Se puede observar que la diferencia entre el agua llenada directamente del canal con la del reservorio general de la UNALM es la presencia de bicarbonatos y carbonatos en un 38 por ciento (Anexo 1). La clasificación del agua en ambas fuentes es de C2-S1, por lo que existió un bajo riesgo de sodio y riesgo medio de salinidad (Richards *et al.*, 1954).

3.1.3. Clima

El periodo fenológico del cultivo comenzó con la siembra del almacigo el 15 de noviembre del 2017 hasta la maduración fisiológica el 30 de abril del 2018, coincidiendo con la estación de verano. Los datos climatológicos fueron colectados de una estación automática Davis instalada en el centro del Área Experimental de Riego (AER). En la Tabla 3 y Figura 5, se presenta los datos de temperatura, humedad relativa y precipitación que se obtuvieron a lo largo del cultivo.

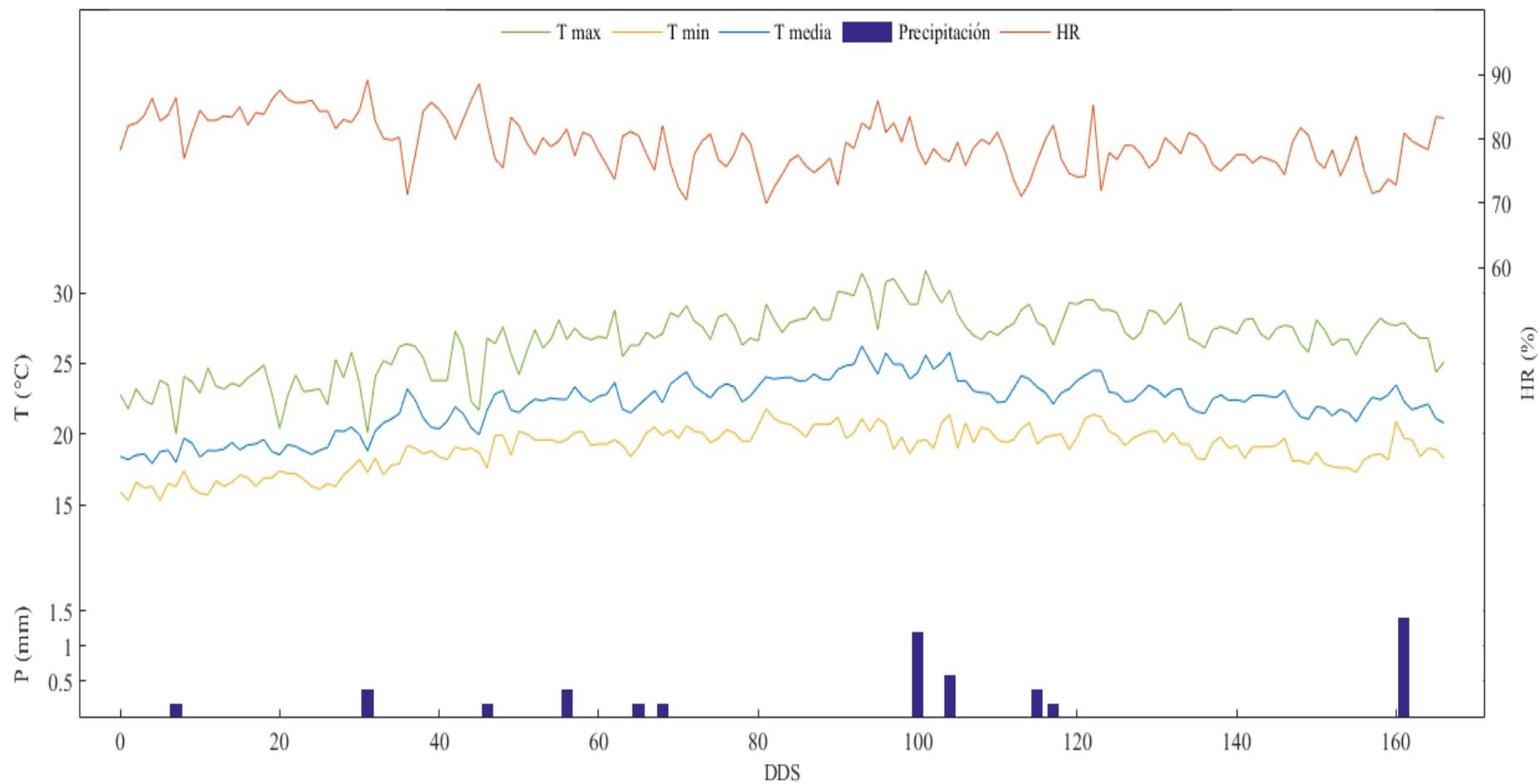


Figura 5: Variabilidad temporal de la HR, T máx, T min, T media y precipitación del 15 de noviembre del 2017 al 30 de abril del 2018.
 FUENTE: Elaboración propia con información de la Estación meteorológica en coordenadas UTM: 288196.2m E, 8664038.7m N y elevación de 248 m.s.n.m.

Tabla 3: Temperaturas máximas, mínimas y precipitación en los meses del cultivo.

Mes-Año	Temperatura (°C)			Humedad Relativa (%)	Precipitación (mm)
	Promedio	Máxima	Mínima		
Nov-17	18.73	24.70	15.30	82.86	0.20
Dic-17	20.21	27.30	16.10	83.41	0.60
Ene-18	22.75	29.10	18.40	78.24	0.80
Feb-18	23.70	31.60	18.20	75.67	1.80
Mar-18	22.95	29.50	18.20	77.47	0.60
Abr-18	22.36	28.20	17.30	76.29	1.40

FUENTE: Elaboración propia con información de la Estación meteorológica Davis en coordenadas UTM: 288196.2m E, 8664038.7m N y elevación de 248 m.s.n.m.

3.1.4. Materiales, Equipos y herramientas.

Material genético. - fue utilizado el genotipo de arroz IR-71706, es una variedad resistente al déficit de agua por lo que se puede cultivar en secano. Puede alcanzar rendimientos de hasta 8 t ha⁻¹ en condiciones de estrés hídrico en sistema de siembra directa con una densidad de 80 kg ha⁻¹ de semilla (Heros *et al.* 2014). En la Tabla 4, se presenta los materiales, equipos e insumos que fueron utilizados a lo largo del desarrollo de la investigación.

Tabla 4: Materiales, equipos e insumos utilizados

Equipo, materiales e insumos	Descripción
Reflectometría de dominio de frecuencia (FDR)	Para medición de humedad volumétrica en tiempo real; sensores GS1 y dataloyer. Requieren calibración gravimétrica
Watermark	Para medición de la tensión de la humedad del suelo. Requiere calibración gravimétrica
Cabezal de riego	Consta de: electrobomba ($q=6\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ y 1.5 HP) , caudalímetro, equipo Venturi para fertirrigación, filtros de anillos para retro lavado y válvulas check horizontal.
Tuberías de conducción, Arcos de riego porta-laterales y laterales	Las tuberías de conducción y las porta-laterales fueron de PVC de 1.5". El arco de riego consta de: electroválvulas reguladoras y sostenedoras de presión, válvula de aire y puntos de prueba de presión. Las laterales de riego fueron de mangueras de 16 mm con gotero Katif auto compensados de 3.75 l/h incorporados.
Mochila fumigadora	Para aplicaciones foliares para el control de plagas y enfermedades
Sistema de control eléctrico	Equipo de automatización(llave termomagnética general 2x32, controlador de válvulas ORBIT, contactor, relax para encendido, relax con timer y transformador de voltaje 220/26), tablero, pozo a tierra y sistema eléctrico

Continuación

Fertilizantes, funguicidas e insecticidas	Se utilizaron para el mejoramiento del cultivo y el control de enfermedades y plagas.
Otros	Balanzas, herramientas (picos, palas, lampa, carretilla), bolsa de papel para muestras de suelo y recolección de panículas, etc.

FUENTE: Elaboración propia

3.1.5. Sistema de riego

El sistema de riego fue operado por una electrobomba de 1.5 HP de potencia y caudal de $6 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. El agua era succionada del reservorio del AER con la bomba, luego pasaba por los filtros para la retención de partículas, después del filtrado seguía su recorrido hasta el medidor de volumen, luego por la tubería principal. La presión de salida del flujo era de 1.7 bar después del cabezal de riego. En el campo la presión de llegada en los arcos de riego fue de 1.5 bar, que fue regulada a presión de trabajo de un bar en las válvulas reguladoras y sostenedoras de presión, con ello se garantizaba que la presión que llegara al gotero sea mayor de 0.8 bar, mínima requerida para un gotero Katif auto-compensado. En las Figuras 6, 7, 8 y 9 se detallan el sistema de riego con sus diferentes componentes.

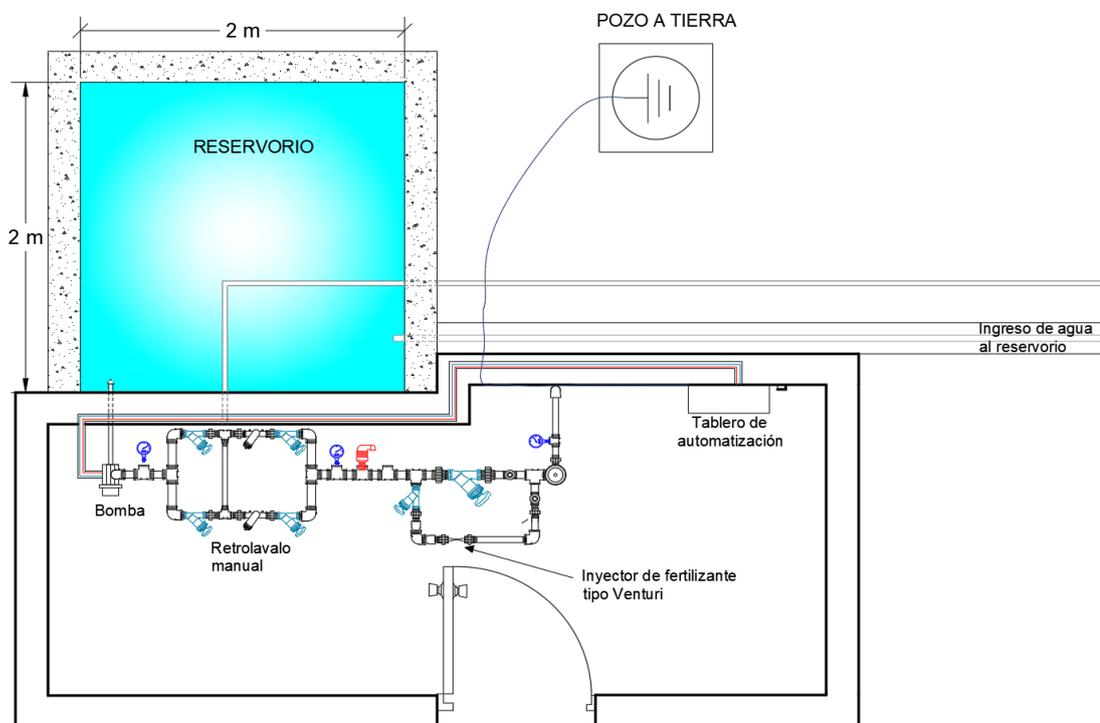


Figura 6: Vista de planta del cabezal de riego del Área Experimental de Riego (AER)

FUENTE: Elaboración propia

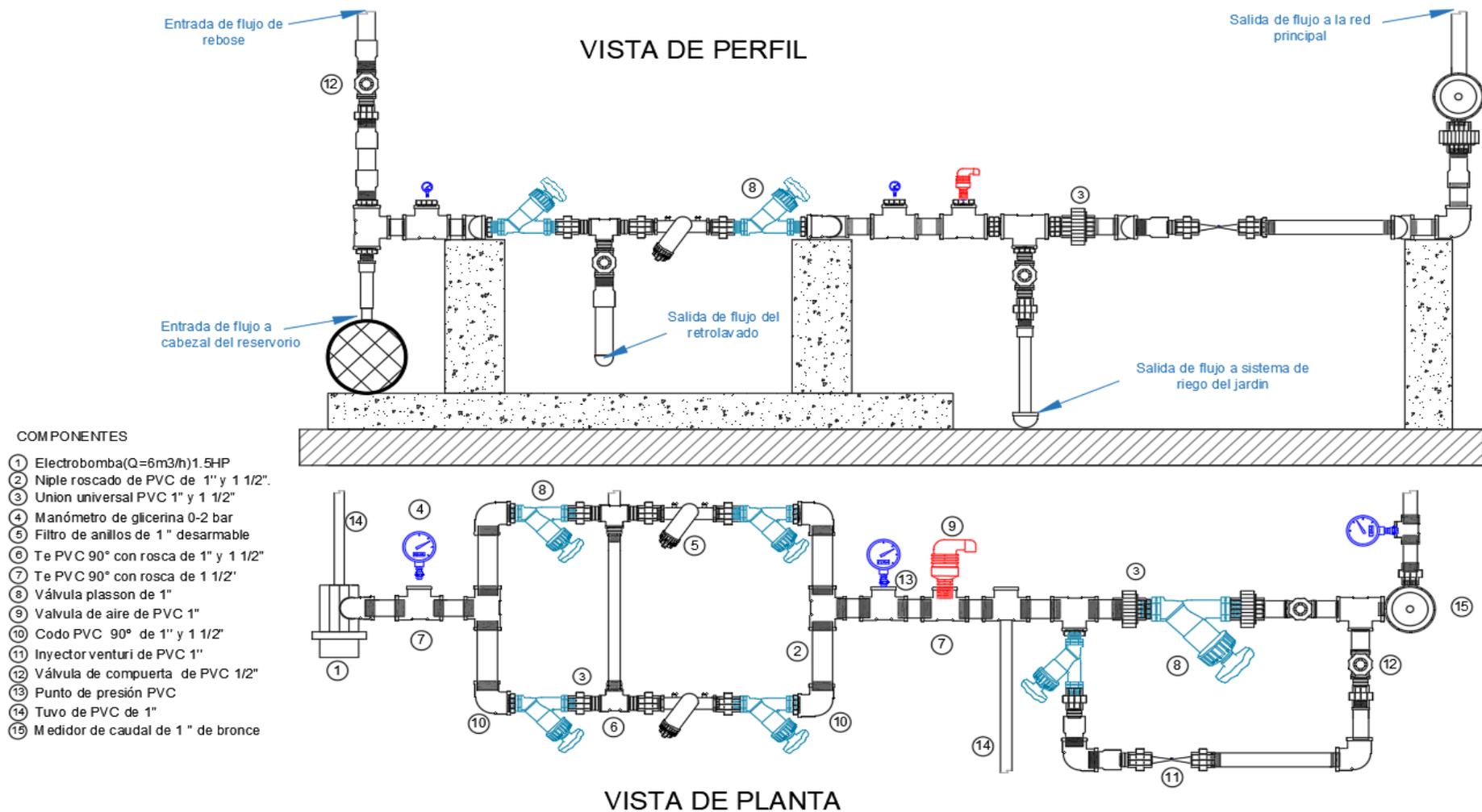


Figura 7: Detalles del cabezal de riego (Vista de perfil y planta) del Área experimental de Riego (AER)

FUENTE: Elaboración propia

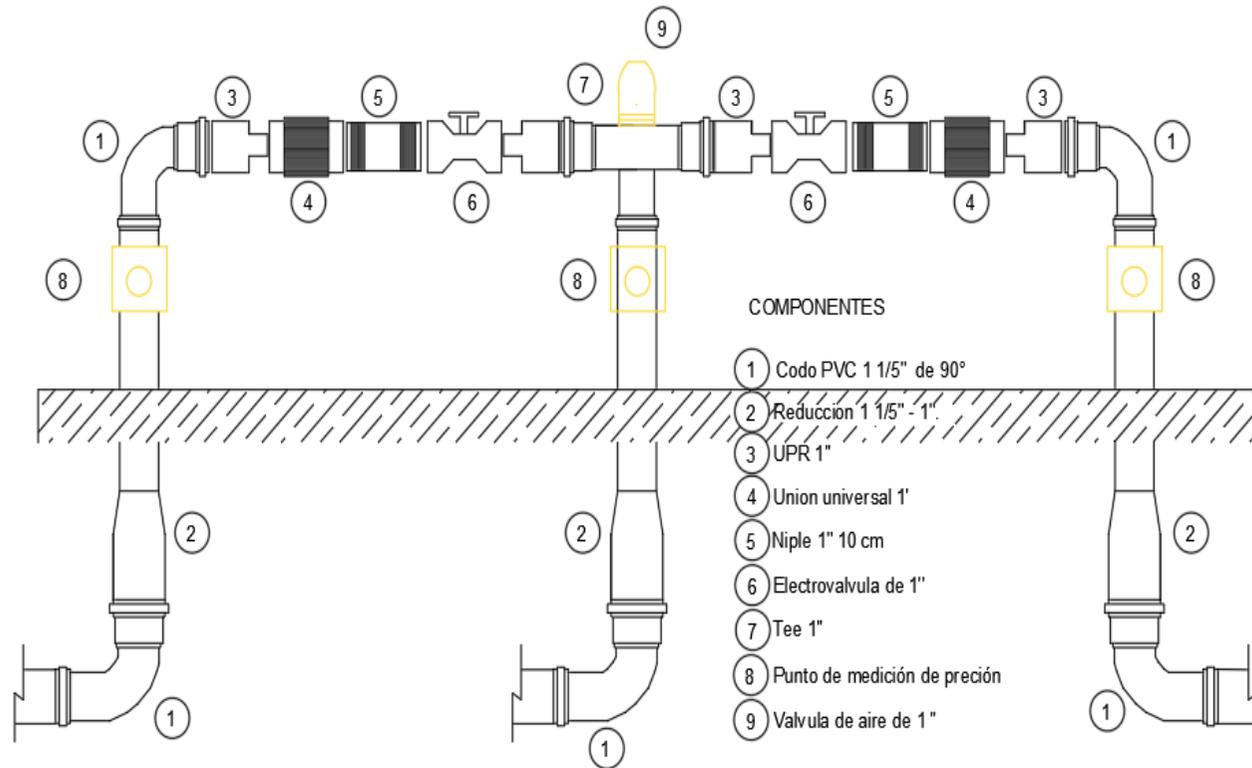


Figura 8: Detalles del arco de riego instalados en el campo del Área Experimental de Riego (AER)

FUENTE: Adaptada de Altamirano (2018)

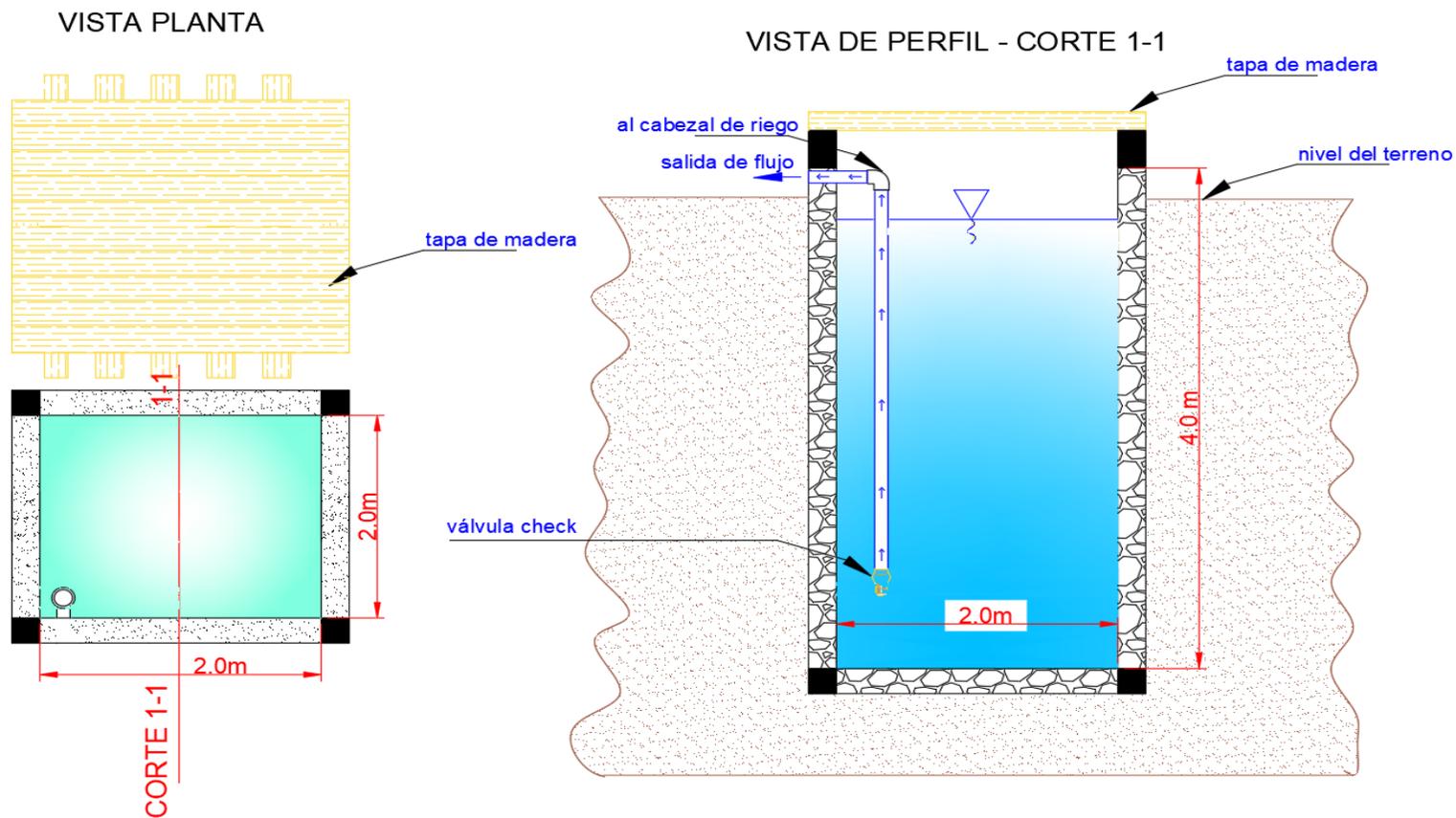


Figura 9: Detalles del reservorio del sistema de riego del Área Experimental de Riego (AER)

FUENTE: Altamirano (2018)

3.2. Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental fue de bloques completamente al azar (DBCA), con cuatro tratamientos y tres repeticiones para cada uno, los tratamientos fueron determinados según la tensión del suelo en la etapa de macollamiento e inicio de primordio floral. Kukul *et al.* (2005) sostiene que el potencial matricial del suelo (tensión del agua en el suelo en negativo) puede ser un criterio ideal para riego, debido a que la textura del suelo, las prácticas culturales y la gestión del agua afecta los requerimientos de agua de riego en el cultivo de arroz. En el momento de las secas cuando el potencial matricial alcance el umbral, se restablecerá el riego hasta que este llegue nuevamente a cero desde la etapas fenológicas de macollamiento hasta el primordio floral (Qun *et al.*, 2017). En la Tabla 5, se detallan los tratamientos aplicados.

Tabla 5: Valor de tensión del suelo según tratamientos

Tratamientos	Tensión del suelo (cb, KPa)	Variación	Humedad volumétrica equivalente del suelo (%)
T0	0	±2	36.00
T1	-10	±2	30.95
T2	-15	±2	29.00
T3	-20	±2	27.30

FUENTE: Elaboración propia

La distribución de los tratamientos se presenta en la Figura 10. El control de ingreso de agua en cada tratamiento se realizaba con ayuda de válvulas de paso en el momento de las secas. Cada parcela tenía dimensiones de 5 m de largo por 3 m de ancho, haciendo un área de 15 m². Para el análisis estadístico se utilizó la diferencia entre las medias de las poblaciones, teniendo en cuenta el análisis de la varianza (ANOVA), después de ello la prueba de significación de Tukey o prueba de medias con un nivel de confianza de 95 por ciento. El análisis estadístico se realizó en el programa STATGRAPHICS 18. Las variables respuestas analizadas fueron: altura de planta, número de macollos por m², rendimiento de grano, profundidad de raíces, número de panículas por m², tamaño de panículas, número de granos llenos y vanos, calidad molinera, relación de biomasa con peso de raíz y porcentaje de llenado y la variable independiente; cantidad de agua aplicada.

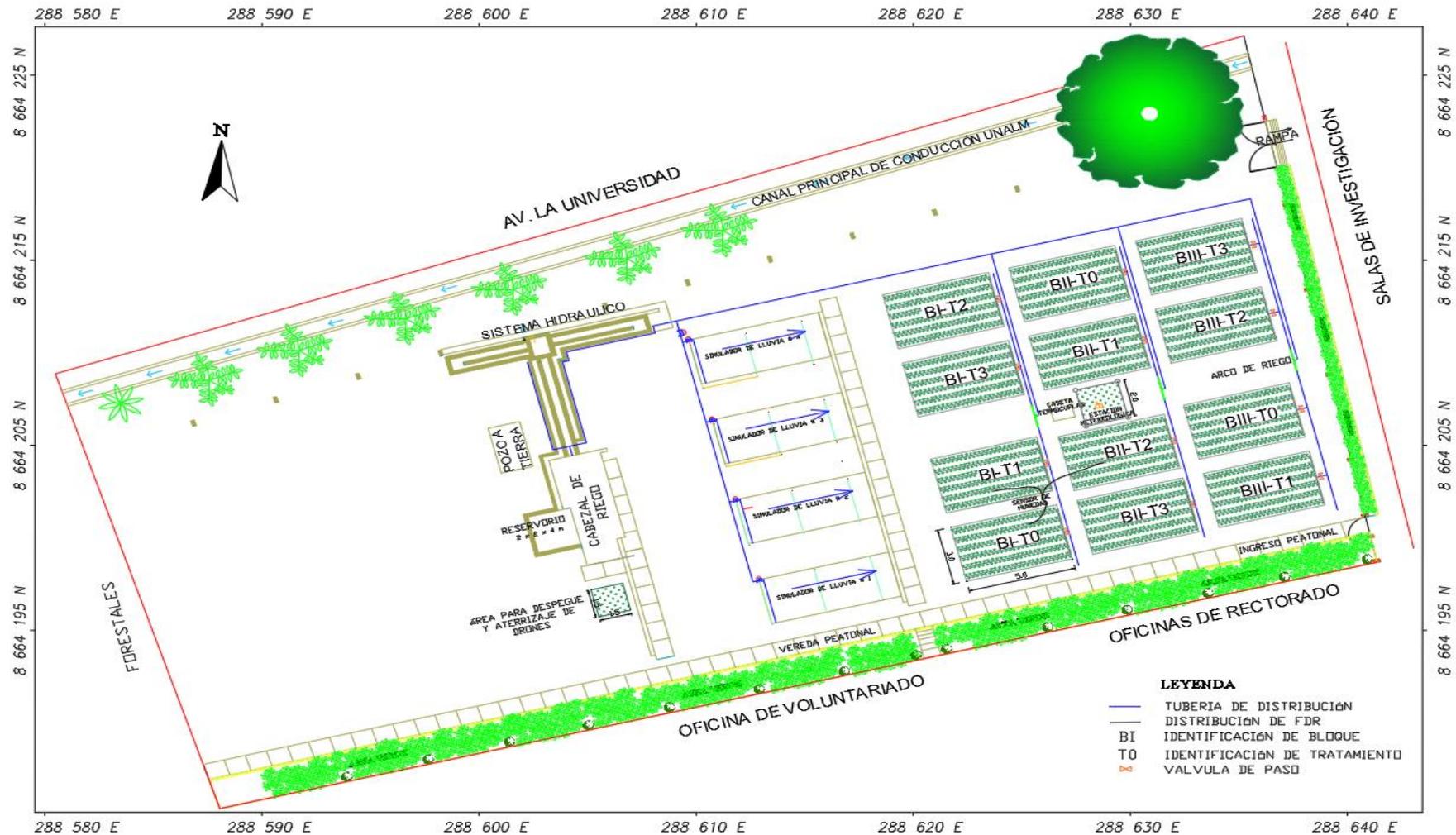


Figura 10: Área experimental de riego (AER) y distribución de bloques y tratamientos.

FUENTE: Área Experimental de Riego (AER)

3.3. Conducción del experimento

En la Tabla 6, se indican las actividades pormenorizadas que se desarrollaron para la conducción del cultivo, desde antes de la siembra del cultivo, hasta finalización con la cosecha y la toma de datos que fue en los meses de abril y mayo del 2018.

Tabla 6: Actividades y labores realizadas antes, durante y después del cultivo

Fecha	DDS	Labor	Descripción
5/10/2017	-41	Instalación de sistema de riego	Instalación del nuevo cabezal de riego con retro-lavado manual
25/10/2017	-21	Instalación de laterales de riego	Inserción de goteros cada 25 cm, instalación de laterales y fijación en el terreno.
2/11/2017	-13	Desinfección de semilla	Después de la selección y pesado de la semilla se desinfecto utilizando Benomil y Azodo 50, 5 g. por litro de agua
8/11/2017	-7	Preparación de sustrato para el almacigo	El almacigo de arroz se realizó en un área de 5m de largo por 2 m de ancho, el sustrato utilizado fue de dos partes de compost por una parte de suelo y media de arena.
15/11/2017	0	Siembra de almacigo	La semilla fue regada de forma uniforme por toda el área luego se agregó una capa de sustrato para cubrir. Durante el periodo de almacigo el sustrato se mantuvo a capacidad de campo, la duración del cultivo hasta el trasplante fue de 28 días. También durante los primeros días se mantuvo tapada toda el área con una malla rashell para la protección del sol y que las aves no comieran las semillas.
1/12/2017	16	Preparación de terreno definitivo	El terreno se removió dos veces hasta la profundidad de 30 cm, también se adiciono 100 kg de compost para la mejora de la estructura. Para evitar problemas con sales antes de remover se realizó el lavado de las mismas, hasta llegar a valores de conductividad eléctrica cercanos a un $ds\ m^{-1}$.
10/12/2017	25	Fertilización	Se realizó una fertilización 60-30-60
13/12/2017	28	Trasplante	Con una estaquilla se hizo un hueco en el suelo donde eran colocadas tres plántulas de arroz (un golpe) con sumo cuidado y presionadas para no dejar espacios con aire. Después del sembrado se regó para un mejor restablecimiento de las plántulas. El distanciamiento entre golpes fue de 20cm en tres bolillos, con dos hileras de plantas juntas más cerca a la manguera de riego y con espaciamento de 30cm entre surcos

continuación			
13/12/2017	28	Riego	Frecuencia de riego diario seguía la programación de riego y manteniendo siempre el suelo en valores de humedad cercanos a capacidad de campo.
26/12/2017	41	Fumigación	Se aplicó foliar VIBREL y fungicida PROTEXIN
11/01/2018	57	aplicación foliar	Azoo doo 15ml, protexin 25, absolute 8ml, agryben 20g, sulfapplus 45g.
15/01/2018	61	Deshierbo	Deshierbo manual
23/01/2018	69	Fertirrigación	Se aplicó monofosfato monomonico 300g, nitrato de calcio 250g y sulfato de magnesio, ácido fosfórico. El control se realizó con la conductividad eléctrica en el agua a la salida por goteros que fue de 1.2 ds m ⁻²
24/01/2018	70	aplicación foliar	Azoo doo 15ml, protexin 25, absolute 8ml, agryben 20g, sulfapplus 45g.
24/01/2018	70	Fertirrigación	Se fertilizo con 300g nitrato de calcio y 250g de sulfato de magnesio
8/02/2018	85	Aplicación foliar	Azoo doo 15ml, protexin 25 ml, absolute 8ml, agryben 20g, sulfapplus 45g.
23/02/2018	100	Aplicación foliar	Se aplicó folicur 20 ml, basfoliar 40 ml, aminoácido 40 ml, redomil 25 g, coadyuvante y corrector de PH
27/02/2018	104	Deshierbo	El deshierbo manual.
14/03/2018	119	Aplicación foliar	Potasio 75 ml, aminoácido 50 ml más adherente
26/03/2018	131	Aplicación foliar	Se aplicó redomil 25g, Azou doo 15 ml y adherente
30/04/2018	166	Cosecha	Se cosecho de forma manual a los 166 DDS, se realizó de forma separada para cada tratamiento y plantas seleccionadas para las evaluaciones posteriores, luego se procedió al corte de macollos (siega con hoz), trilla, limpieza y venteo

FUENTE: Elaboración propia

3.4. Procedimiento.

3.4.1. Caracterización de suelo y riego

a. Calibración de sensores watermark y Reflectometría de Dominio de Frecuencia (FDR)

Antes de la siembra del cultivo se calibró los sensores watermark que miden la tensión de humedad del suelo, estos se instalaron 12 sensores a profundidades de 15, 20 y 25 cm, luego se procedió a tomar medidas de tensión, así como muestras de suelo para estimar la humedad gravimétrica del suelo, estas dos medidas se relacionaron en una curva de ajuste. Con la ecuación obtenida se determinó el tiempo de riego y el momento de reponer el agua cuando se realizaron las secas. La calibración de los sensores de Reflectometría de Dominio de Frecuencia (FDR) se tomó de Altamirano (2018).

b. Instalación de sensores y medición de humedad volumétrica del suelo

Cuando se realizó el trasplantado de arroz se instaló los sensores de humedad FDR distribuidos en tres tratamientos (T0, T1 y T2) para el monitoreo de la humedad volumétrica colectados en tiempo real con lecturas cada 30 minutos. La información colectada era transmitida a un dataloger instalado bajo tierra en un buzón al centro de la parcela, además, se instalaron ocho watermark para el monitoreo de tensión. Ambos sensores de medición se instalaron a una profundidad promedio de 20 cm entre planta y planta, como se muestra en la Figura 11.

Otra forma que se obtuvo la humedad fue por medio del método gravimétrico que luego se multiplico por la densidad aparente. Esta última fue de 1.54 g cm^{-3} calculada por el método del cilindro. El valor de capacidad de campo y punto de marchitez fueron realizados en el Laboratorio de Suelos y agua de la Facultad de Agronomía, teniendo como valores de 23.34 y 13.08 por ciento para capacidad de campo y punto de marchitez respectivamente, estos valores fueron obtenidos por el método de la centrifugación a 2000 rpm durante 30 minutos.

c. Bulbo húmedo y coeficiente de uniformidad

La prueba de bulbo húmedo se realizó con diferentes tipos de goteros para seleccionar el más adecuado para el tipo de terreno que se tenía. Las mediciones se realizaron tanto del diámetro como la profundidad del bulbo a los 15, 30 y 60 minutos. El coeficiente de uniformidad (CU) se realizó después de la instalación de todos los laterales, para cada arco de riego. Se hicieron medidas de caudal del gotero durante un minuto con tres repeticiones al inicio, a un tercio y al final del lateral. Para determinar el CU se siguió la siguiente ecuación.

$$CU = \frac{Q_{25}}{Q_{prom}} \dots\dots (6)$$

Dónde: Q_{25} =caudal promedio de los emisores que constituyen el 25 por ciento menor;
 Q_{prom} = caudal promedio de todos los emisores recopilados.

d. Distribución de lateral de riego y distanciamiento del cultivo

Se realizó teniendo en cuenta el bulbo húmedo del gotero, porcentaje de humedecimiento del 100 por ciento, un diseño que sea económico y garantizara la producción. La distribución del cultivo se adecuó a los distanciamientos de los laterales de riego.

e. Volumen de agua aplicada

Primero se realizó la programación de riego a partir de la humedad volumétrica del suelo a capacidad de campo hasta llegar a una humedad volumétrica que corresponda a una tensión en el Watermark de 5 kPa.

$$\text{Paso 1: Lamina neta (Ln)} = \frac{(\theta_{cc} - \theta)}{100} * p(mm)$$

$$\text{Paso 2: Lamina bruta (Lb)} = \left(\frac{Ln}{Ef}\right) (mm); Ef = \text{eficiencia de riego}$$

$$\text{Paso 3: Tiempo de riego} = \frac{Lb (l ha^{-1})}{\text{caudal de los goteros } (l h^{-1})} (\text{min})$$

$$\text{Paso 4: Frecuencia de riego} = \frac{Ln}{ETc} (\text{días}) \quad ETc = ET_0 * Kc$$

La Evapotranspiración de referencia se calculó por el método de Penman – Monteih y el coeficiente del cultivo (Kc) del manual FAO 56. El volumen de agua aplicado se calculó por medio del caudal obtenido en la prueba de coeficiente de uniformidad por el tiempo de riego aplicado.

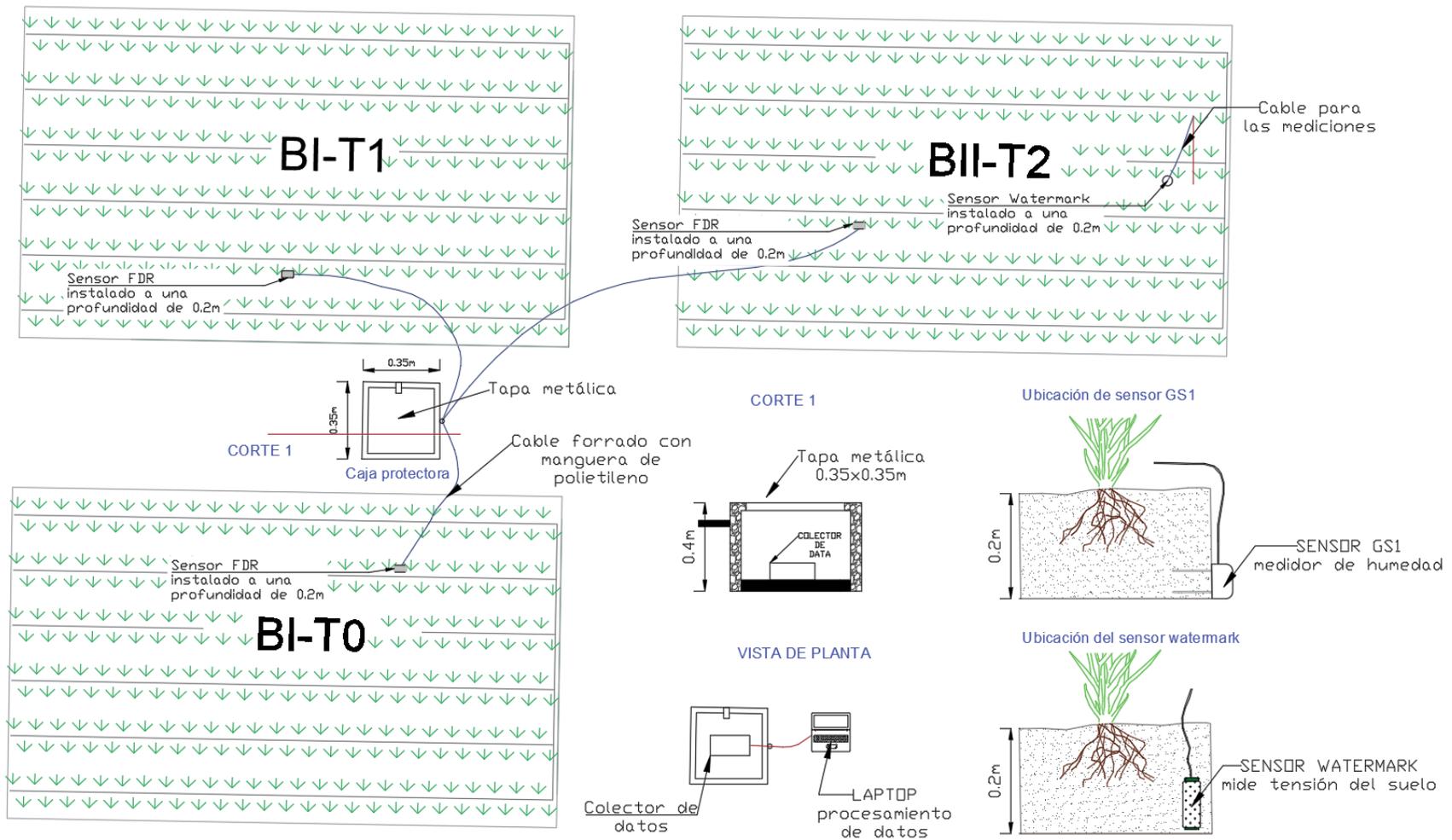


Figura 11: Esquema de instalación y recojo de información de los sensores de humedad FDR y Watermarkk

FUENTE: Adaptada de Altamirano (2018)

3.4.2. Respuesta del cultivo

a. Rendimiento del arroz en cascara

La cosecha por cada unidad experimental se realizó en un área de un m². Se pesó después de eliminar las impurezas. El peso obtenido se llevó a toneladas por hectárea. El rendimiento se corrigió a una humedad de grano del 14 por ciento.

b. Componentes de rendimiento del cultivo

Número de panículas por m².- Se contaron dentro del m² donde se determinó el rendimiento.

Número de granos llenos y vanos por panícula. - Se contabilizaron en 10 panículas tomadas al azar por cada golpe, se contaron tanto granos llenos y vanos de 17 golpes haciendo un total de 170 panículas por cada unidad experimental. El porcentaje de granos llenos es la relación entre los granos llenos con respecto al total de granos.

Peso de mil granos. - Se contaron mil granos por cada unidad experimental y fueron pesados en la balanza analítica, después se dejaron en la estufa hasta lograr un peso constante.

c. Parámetros biométricos del cultivo

Altura de planta. - La medición de altura de la planta se desarrolló periódicamente cada ocho días en las etapas de macollamiento hasta floración y en el momento de la cosecha. Las evaluaciones se hicieron a 17 golpes de cada unidad experimental totalizando 51 golpes por tratamiento. Las mediciones se realizaron desde la superficie del suelo hasta el extremo superior de la panícula más alta.

Número de macollos por planta. - Se contabilizo los macollos a los 17 golpes seleccionadas para la altura. Este conteo se realizó en la etapa de macollamiento hasta antes de floración y en el momento de la cosecha. También se contó los macollos por m², pero estos resultados se presentan junto al número de panículas por m².

Tamaño de panículas. - Se midió el tamaño de todas las panículas de los 17 golpes por unidad experimental. La medición se realizó en gabinete con una regla, desde el nudo ciliar hasta el ápice de la panícula.

Profundidad de raíz. - La profundidad de raíz se evaluó en cuatro golpes de los 17 golpes seleccionados para la altura de planta y número de macollos. Se hizo un hoyo contiguo a la planta hasta una profundidad de 50cm, luego con una manguera con agua se lavó teniendo mucho cuidado de no romper las raíces. La profundidad se midió con una wincha desde la terminación de la raíz más profunda, hasta la superficie del suelo.

d. Relación de biomasa e Índice de cosecha (IC)

Se evaluó cuatro golpes del m² donde se obtuvo el rendimiento. Después de lavar las raíces se retiraron de la parte aérea, una vez separado los granos, tallos y raíces se llevaron a secar a la estufa hasta obtener peso constante, este último se registró. La relación de biomasa se calculó: biomasa/peso de raíz, expresado en g g⁻¹ y el índice de cosecha se calculó: rendimiento económico/rendimiento biológico, expresado en porcentaje.

e. Calidad molinera

Por cada unidad experimental se tomó una muestra de 100 gramos de arroz en cáscara a una humedad de 14 por ciento y se procesó en un molino de pruebas marca Zaccaria modelo PAZ-1-DTA del laboratorio del Programa de Cereales de la UNALM. El proceso consistió en un descascarado y pulido automatizado de una duración de 75 segundos, también en el mismo molino se realizó el separado de granos quebrados con enteros, con un tambor seleccionador número cinco. Los resultados fueron expresados en porcentaje de rendimiento de molinería, de granos quebrados y granos enteros, después de realizar el pesado respectivo.

f. Productividad del agua

Se estimó con la producción de grano en peso (kg) entre el volumen de agua aplicado (m³) en una hectárea de cultivo.

3.4.3. Coeficiente de estrés hídrico (Ks)

El coeficiente de estrés hídrico se halló por la relación de la humedad del suelo con la producción. En el eje “x” se ubica la cantidad de agua (mm) que puede retener el suelo desde la saturación hasta el punto de marchitez, esto debido que la humedad del cultivo en el tratamiento control (T0) se mantuvo sobre capacidad de campo. En el eje de las

ordenadas, en la parte izquierda el K_s que tiene valores de 0 a 1, donde este último indica que no existe ningún tipo de estrés y en el lado derecho la producción en $t\ ha^{-1}$. La intersección entre la cantidad de agua contenida en el suelo de cada tratamiento y el rendimiento del cultivo se prolonga para obtener un K_s experimental. El K_s calculado se realizó por medio de la Ecuación 3 propuesta por Allen *et al.* (2006)

$$K_s = \frac{ADT - D_r}{ADT - AFA} = \frac{ADT - D_r}{(1 - p) ADT}$$

Dónde: D_r = agotamiento en la zona radículas; ADT: agua disponible total; AFA = agua fácilmente aprovechable y p = fracción de ADT que un cultivo puede extraer.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Caracterización de suelo y riego

4.1.1. Curva de calibración de watermark y FDR

La humedad volumétrica real (θ) se correlacionó con la tensión del suelo (cbar o kPa) medidos con sensores Watermark, obteniéndose una curva de ajuste de:

$$HV(\%) = -6 * e^{-5} * x^3 + 0.009 * x^2 - 0.5665 * x + 35.656$$

con un coeficiente de Pearson de -0.83. Ver Figura 12. Con respecto al ajuste de la lectura de humedad del sensor de Reflectometría de Dominio de frecuencia (FDR) con la humedad volumétrica real se tiene una ecuación de ajuste de $\theta = 1.0249 * x - 1.3116$ con un coeficiente de Pearson de 0.97 (Altamirano, 2018).

Para los valores umbrales de los tratamientos se utilizó la tensión del suelo (Tabla 5), por la dificultad en la uniformidad de valores en las unidades experimentales se trabajó con rangos de ± 2 del valor umbral fijo. El equivalente de humedad volumétrica es alrededor de 36, 30.95, 29 y 27.3 por ciento, para los valores de tensión de 0, -10, -15 y -20 kPa de los tratamientos T0, T1, T2 y T3 respectivamente.

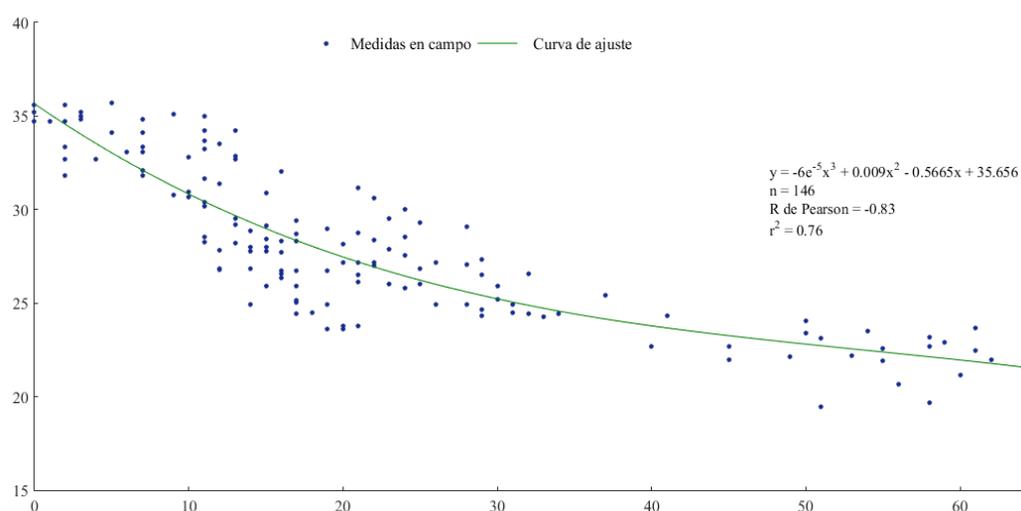


Figura 12: Curva de calibración de sensor de tensión de humedad del suelo watermark

FUENTE: Elaboración propia

4.1.2. Humedad volumétrica del suelo

En la figura 13, se presenta la variación temporal de la humedad volumétrica del suelo colectadas por los sensores de Reflectometría de Dominio de la Frecuencia (FDR) cada 30 minutos, en que se aprecia el incremento de la humedad por los riegos aplicados y el valor hasta antes del siguiente riego. Los valores de humedad se mantuvieron sobre o cercanos a capacidad de campo, a excepción de los cortes de riego programados entre el periodo de macollamiento y el primordio floral (77 a 105 días después de la siembra (DDS)) en que los valores de humedad descendieron por debajo de capacidad de campo. Para el Tratamiento T3 se colectaron lecturas puntuales de humedad volumétrica real en el periodo de secas. En la fase final del cultivo se dejó de regar por lo que se aprecia una disminución de la humedad en todos los tratamientos, esto se realizó 15 días antes de la cosecha. Las constantes hídricas del suelo fueron: 35.9, 20.1 y 42 por ciento para capacidad de campo, punto de marchitez permanente y saturación respectivamente.

4.1.3. Bulbo húmedo y coeficiente de uniformidad

a. Bulbo húmedo

En la Tabla 7, se presenta los resultados de la prueba de bulbo húmedo, que se realizaron con diferentes goteros, el de mejor resultado fue el de la marca Katif de 3.75 l h^{-1} , que logro tener un diámetro mojado de 33 cm y 28 cm de profundidad para un tiempo de riego de 30 minutos con el que se realizó el diseño del riego.

Tabla 7: Diámetro y profundidad de bulbo húmedo para diferentes goteros

Tipo de gotero	Caudal (l/h)	Tiempo de riego (min)	Diámetro de humedecimiento (cm)	Profundidad de humedecimiento (cm)
Katif	3.75	15	26.50	16.50
		30	33.00	28.00
		60	38.50	30.50
Microflaper	4	15	26.33	13.33
		30	31.00	29.50
		60	36.50	35.50
Jhon Deere	8	15	37.50	13.00
		30	37.00	26.50
		60	43.50	33.00

FUENTE: Elaboración propia

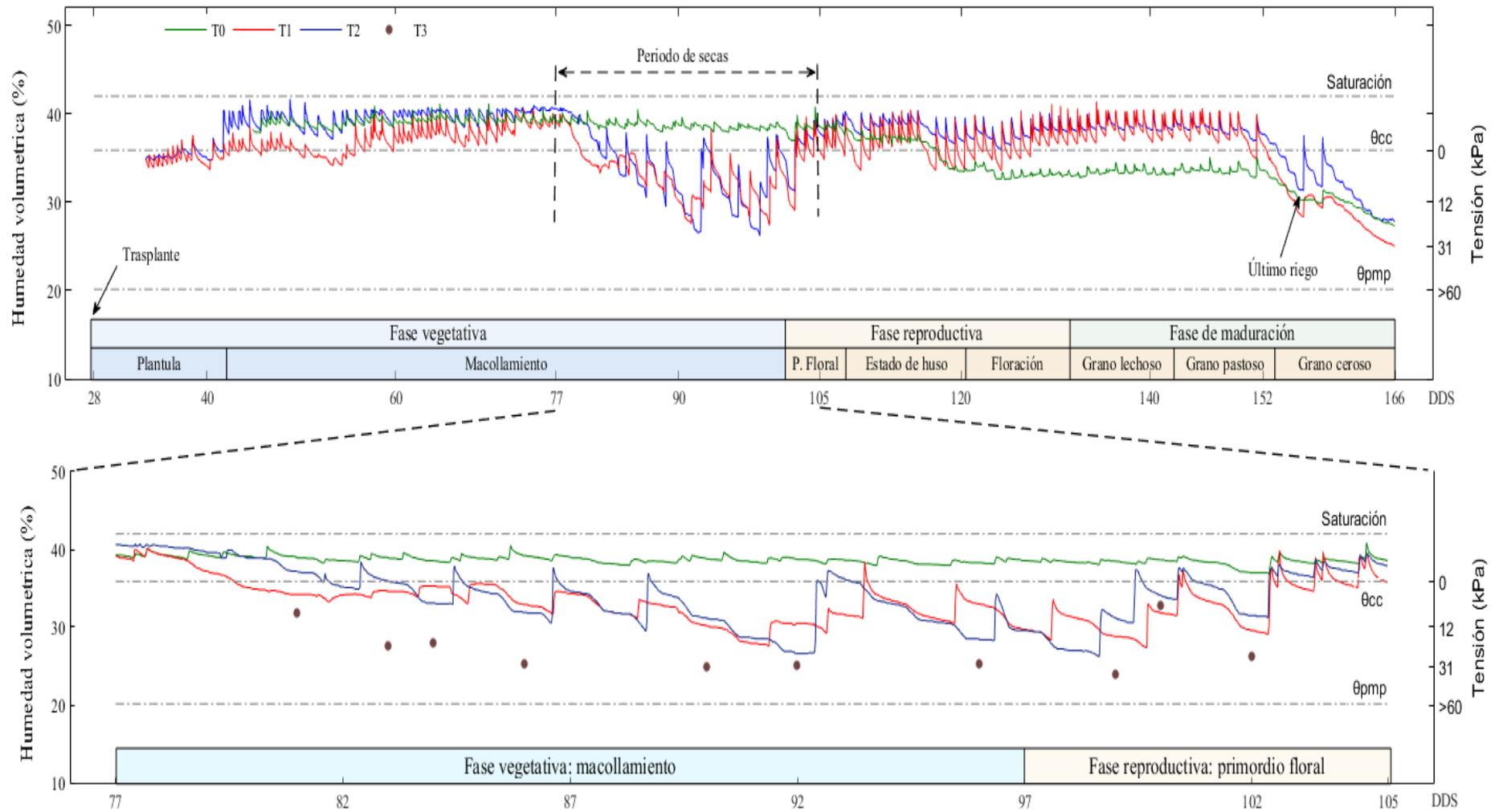


Figura 13: Humedad volumétrica del suelo real y obtenida mediante sensores FDR durante el desarrollo del cultivo

FUENTE: Elaboración propia

b. Coeficiente de uniformidad (CU)

Después de la evaluación de todo el campo experimental, para una presión de trabajo de un bar en los arcos de riego, se obtuvo un CU del **95** por ciento, lo que nos permitió tener una alta uniformidad de aplicación de agua.

4.1.4. Determinación del lateral de riego y distanciamiento del cultivo

Con los resultados de la prueba de bulbo húmedo se eligió el gotero autocompensado Katif de 3.75 l h^{-1} , con una presión de trabajo de 0.8 bar. Con el diámetro mojado de 33 cm se eligió el distanciamiento entre los goteros de 25 cm, con lo que se obtuvo una superposición de 36 por ciento, encontrándose dentro del rango recomendado por Abadía (2018) que es de 15 a 80 por ciento, garantizándose el mojado del 100 por ciento del área. La distancia de cada lateral se fijó en 50 cm, con dos hileras de plantas o golpes más cerca del lateral para aprovechar mejor la zona de bulbo húmedo como se muestra en la Figura 14. La disposición de los golpes fue en tres bolillos, con distanciamiento entre ellos de 20 cm y a 10 cm del lateral de riego. Cada golpe estaba constituido por tres plántulas en el momento del trasplante y se tuvo 224 000 golpes por ha, la densidad de siembra se encuentra dentro del rango de 160 000 a 250 000 golpes recomendado por (Bruzzone y Heros, 2011) para cultivo en riego por inundación. Lo que se buscó con este tipo de distribución es disminuir el número de laterales por hectárea para reducir el metraje de mangueras y por lo mismo el coste del sistema de riego.

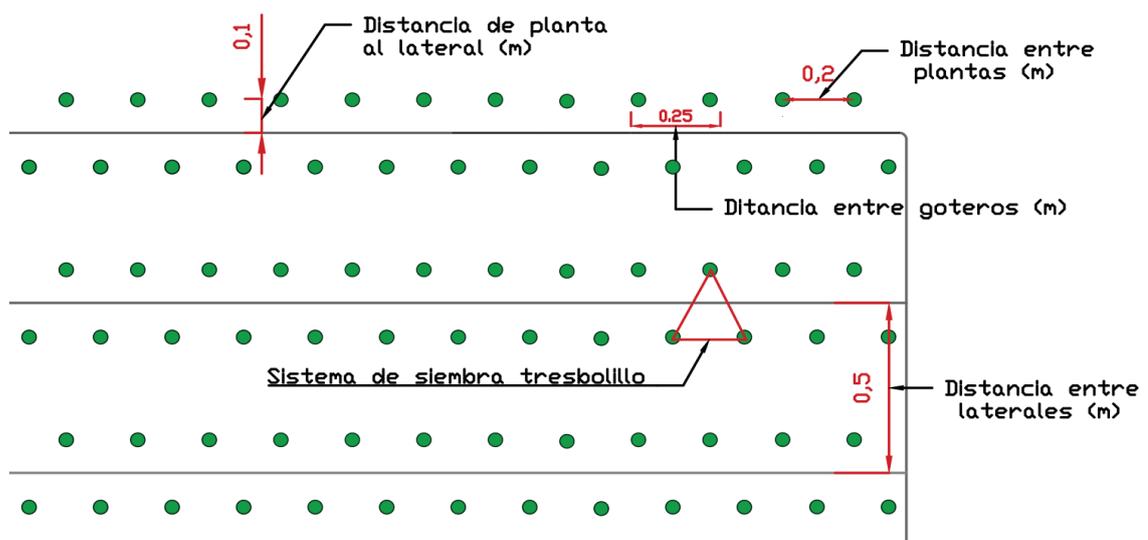


Figura 14: Distribución de laterales y sistema de siembra

FUENTE: Elaboración propia

4.1.5. Volumen de agua aplicada

La programación de riego al inicio del cultivo se realizó como se detalla en la Tabla 8, para una humedad de suelo de capacidad de campo de 35.9 por ciento, el punto óptimo de riego hasta 33 por ciento de humedad que correspondía a una tensión de 5 kPa en el Watermark y una profundidad de raíz de 30 cm. Pero el cultivo de arroz es muy demandante de agua, la disponibilidad de agua en la zona de raíces para el arroz solo tolera un descenso de 0.2 de estado de saturación (Allen *et al.*, 2006) por lo que se tuvo que mantener la humedad sobre de capacidad de campo, demandando más consumo de agua, por lo que la frecuencia de riego se varió a diaria con una duración de 15 minutos, esto ocurrió antes y después del periodo de secas. En el momento de las secas se dejó descender la tensión del suelo a los valores especificados en la Tabla 5, según cada tratamiento y luego se regó hasta llegar a capacidad de campo o hasta que los Watermark marcaban cero.

Tabla 8: Cálculo del tiempo y frecuencia de riego

Detalles	Unidades	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril
N° de días del mes	Días	15	31	28	31	30
Lámina neta	mm	8.70	8.70	8.70	8.70	8.70
Eficiencia (CU)	%	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00
Lámina Bruta	mm	9.16	9.16	9.16	9.16	9.16
Área (parcela)	ha	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Volumen necesario	l	1648.42	1648.42	1648.42	1648.42	1648.42
Caudal de goteros	l h ⁻¹	5875.20	5875.20	5875.20	5875.20	5875.20
Tiempo de riego	min	16.83	16.83	16.83	16.83	16.83
Eto (Penman-Monteith)	mm día ⁻¹	4.59	5.05	5.40	5.20	4.46
Kc (FAO)		1.10	1.13	1.19	1.19	1.11
ETC	mm día ⁻¹	5.05	5.71	6.43	6.19	4.95
Frecuencia de riego (días)	Días	1.72	1.52	1.35	1.41	1.76

FUENTE: Elaboración propia

En la Tabla 9, se presenta la lámina teórica, a partir de los datos de la evapotranspiración de referencia y el Kc (FAO), en el mes que hay mayor requerimiento de agua es marzo y en los meses de diciembre del 2017 y abril del 2018, solo se tuvo en cuenta los días que se regaron. La lámina teórica total es de 6990 m³ ha⁻¹, que es menor en un 24 y 14 por

ciento con respecto al volumen de agua aplicado en los tratamientos T1 y T3 respectivamente. Para poder mantener el cultivo sin estrés en el periodo que no se realizó las secas se utilizó mayor cantidad de agua que la lámina calculada.

Tabla 9: Evapotranspiración del cultivo y lámina teórica mensual durante el periodo de duración del cultivo

Parámetros	Unidades	Meses					Total
		Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	
Eto (Penman-Monteith)	mm día ⁻¹	4.59	5.05	5.4	5.2	4.46	24.7
Kc (FAO)		1.1	1.13	1.19	1.19	1.11	1.14
Etc	mm día ⁻¹	5.05	5.71	6.43	6.19	4.95	28.33
Lamina teórica	m ³ ha ⁻¹	757.5	1770.1	1800.4	1918.9	742.5	6989.4

FUENTE: Elaboración propia

En la Tabla 10 y Anexo 4, se presenta la cantidad de agua aplicada en el riego, el tratamiento que más agua demandó es el T0 donde no se realizó ningún recorte de la misma con 9 189 m³ ha⁻¹. La diferencia que hay entre el tratamiento control (T0), con el más estresado (T3) es de 1 034 m³ ha⁻¹ que representa 11 por ciento menos de agua utilizada. El consumo de agua en las zonas arroceras del Perú es diferente porque influye la duración del cultivo y el tipo de suelo, por ello se tiene rangos de consumo de agua desde 12 000 hasta 20 000 m³ ha⁻¹, en los valles de Chancay-Lambayeque y en la parte alta de Chira-Piura respectivamente (Heros, 2012). El cultivo de arroz por goteo puede reducir el consumo de agua con respecto al riego por inundación desde 23.4 a 54 por ciento, dependiendo de la duración del periodo vegetativo y el tipo de suelo.

Tabla 10: Volumen de agua aplicada

Cantidad de agua aplicada	Tratamientos			
	T0	T1	T2	T3
m ³ ha ⁻¹	9189	8781	8481	8155

FUENTE: Elaboración propia

4.2. Respuesta del cultivo al estrés hídrico

Se obtuvieron valores de temperaturas máximas y mínimas de ($15^{\circ}\text{C} - 24.7^{\circ}\text{C}$), ($18.4^{\circ}\text{C} - 29.10^{\circ}\text{C}$), ($18.2^{\circ}\text{C} - 31.6^{\circ}\text{C}$), ($18.2^{\circ}\text{C} - 29.5^{\circ}\text{C}$) y ($17.3^{\circ}\text{C} - 28.2^{\circ}\text{C}$) para los periodos vegetativos de: emergencia, plántula y macollamiento, iniciación de panícula, antesis y llenado de grano respectivamente. Valores que estuvieron en el rango óptimo propuesto por Sánchez *et al.* (2014) que fueron de ($11.3^{\circ}\text{C} - 10.1^{\circ}\text{C}$), ($16.4^{\circ}\text{C} - 35.3^{\circ}\text{C}$), ($15.8^{\circ}\text{C} - 37^{\circ}\text{C}$), ($16.2^{\circ}\text{C} - 37^{\circ}\text{C}$) y ($20.7^{\circ}\text{C} - 31.3^{\circ}\text{C}$) para los mismos periodos vegetativos antes mencionados. Como se puede notar durante el desarrollo del cultivo siempre se estuvo dentro del rango de temperatura adecuado para el desarrollo del cultivo.

El periodo de duración del cultivo fue de 166 días después de la siembra (DDS), la fecha de trasplante en plántula fue a los 28 DDS. Las fases fenológicas fueron tres: vegetativa, reproductiva y de maduración cada una con diferentes estadios que se aprecian en la Figura 15. La fase vegetativa fue la de mayor duración con 97 días, de los cuales 62 días fue desarrollo del macollamiento. La fase reproductiva tuvo una duración de 30 días y la floración demoró en promedio 14 días para los tratamientos T0, T1 y T2 entre ellos no se observó mayores diferencias, pero sí para el tratamiento T3 que hubo un retraso aproximadamente de cinco días. Los últimos riegos se realizaron en la fase de maduración, específicamente en el estadio de grano ceroso, a los 15 y 8 días antes de la cosecha para todos los tratamientos.

El manejo agronómico se desarrolló como se especificó en la Tabla 6, la adaptación del cultivo al trasplante presentó algunos problemas como amarillamiento ocurrido por una ligera presencia de potasio según las siguientes relaciones: Ca/mg es de 5.37, Mg/K es de 2.63, Ca/K es de 14.42 y (Ca+Mg)/K de 17.1, lo que produjo la inhibición de magnesio (Sánchez, 2012), pero fue corregido con aplicación de sulfato de magnesio por medio de fertirrigación a razón de 150 kg ha^{-1} . Deficiencias de magnesio son observadas en cultivo de arroz conducidos bajo riego por secano (Chaudhary *et al.*, 2003). Se observó quemado de la hoja que según la bibliografía pudo ser escaldadura de la hoja producida por el hongo *Rhynchosporium oryzae* enfermedad común en el arroz de secano en América Central y también en algunas regiones de América del Sur (CIAT, 1987), aplicándose fungicida (Redomil) para su control.



Figura 15: Fases fenológicas del cultivo de arroz variedad IR71706

Dds = Días después de la siembra

Dp = Duración del periodo

FUENTE: Aérea Experimental de Riego (AER)

4.2.1. Rendimiento de arroz cascara

En la Tabla 11 y en la Figura 16, se presentan los valores promedios del rendimiento en t ha⁻¹, la desviación estándar y el coeficiente de variación (CV) varían entre (1.89 - 2.75) t ha⁻¹ y (26.8 – 28.45) por ciento respectivamente, los valores del CV son similares para los cuatro tratamientos. Según el análisis estadístico de la varianza (Anova), se concluye que no existe diferencias significativas entre los tratamientos y entre bloques, porque el valor de P valué es 0.1495 y 0.1645, mayor al 0.05 de nivel de significancia (Anexo 5).

Tabla 11: Rendimiento de arroz cascara bajo riego deficitario por goteo

Tratamiento	Plantas por m ²	Rendimiento (t ha ⁻¹)	Desviación Estándar (t ha ⁻¹)	Coeficiente de Variación (%)	Mínimo	Máximo
T0	20	10.29	2.75	26.78	7.49	13.0
T1	20	9.37	2.62	27.94	7.25	12.3
T2	20	6.77	1.91	28.17	5.23	8.90
T3	21	6.65	1.89	28.45	4.63	8.38

FUENTE: Elaboración propia

El rendimiento máximo y mínimo promedio corresponde a los tratamientos T0 y T3 con valores de 10.29 y 6.65 t ha⁻¹ que representan una diferencia de 35.4 por ciento. También se puede observar que se forman dos grupos: los tratamientos (T0, T1) y (T2, T3) con una diferencia entre ellos del 31.7 por ciento. El rendimiento obtenida en los Tratamientos T0 y T1 superaron al promedio nacional en 43 y 30 por ciento respectivamente. Sin embargo el T0 se encuentra a -5 por ciento del rendimiento máximo nacional en la región Arequipa bajo riego inundado (SIEA, 2018) y supera en un 85 por ciento al rendimiento en secano (solo lluvia). Con respecto a la variedad IR-71706 que registra un rendimiento promedio de 8.63 t ha⁻¹ bajo riego inundado (Heros *et al.* 2017), siendo el T0 y T1 rendimientos superiores en 19 y 8 al promedio del rendimiento de la variedad.

En un estudio similar en India para riego por goteo e inundación se obtuvieron rendimientos de arroz de 9.4 y 7.66 t ha⁻¹ con un consumo de agua de 7900 y 23 474. 8 m³ ha⁻¹ repectivamente, estos datos indican que bajo riego por goteo hay un incremento del rendimiento en 22.5 por ciento y una reducción del consumo de agua en 66.3 por ciento (Soman, 2012). En otro estudio en Bhopal India se evaluó la influencia del distanciamiento de goteros en el rendimiento, obteniendose 7.07 y 6.72 t ha⁻¹ para

distanciamientos de 20 y 40 cm respectivamente, valores superiores al riego inundado que tuvo un rendimiento de 3.14 t ha⁻¹ (Rao *et al.*, 2016). En otro estudio, en Tamil Nadu, India que con 80 cm de distanciamiento de laterales se obtuvo un rendimiento de 4.25 t ha⁻¹ y un aumento de la productividad del agua en un 27.4 por ciento sobre el cultivo de arroz bajo secano (Parthasarathi *et al.*, 2013) en las investigaciones antes mencionadas se confirma que el arroz cultivado con sistema de riego por goteo alcanzó mayores producciones que el cultivo bajo riego inundado.

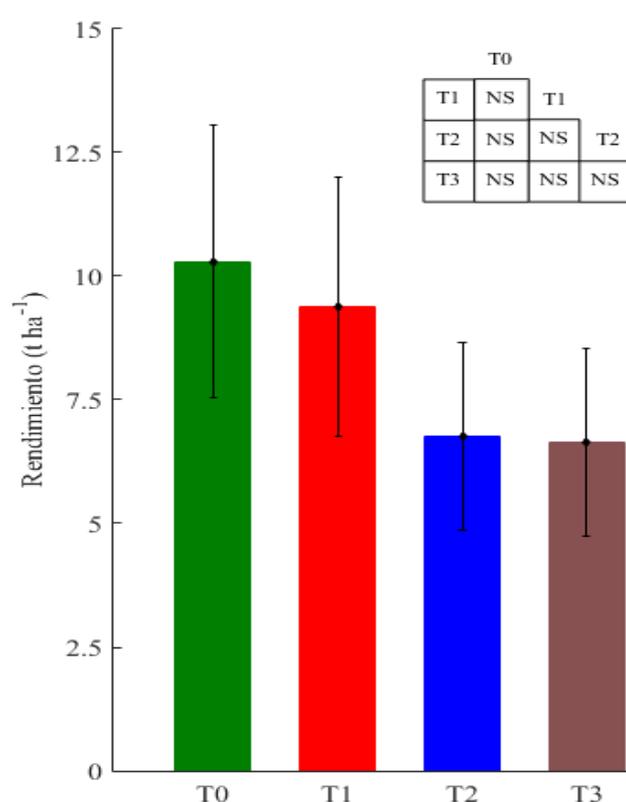


Figura 16: Barras del rendimiento promedio de arroz cascara (t ha⁻¹) y box plot de la desviación estandar

NS: no existe diferencias significativas entre tratamientos

FUENTE: Elaboración propia

En un sistema de producción por secano con riego complementario por goteo y riego complementario por inundación en China en cuatro variedades de arroz (Huhan 3, Jinfeng, Hanyou 73 y Xieyou 702) se obtuvieron rendimientos de [(8.2, 7.4, 7.8, 5.6) y (8.6, 9.6, 8.0, 7.4)] t ha⁻¹ respectivamente, con un consumo de agua de 7650 m³ ha⁻¹ por precipitación para ambos sistemas de riego, más el agua utilizada para el riego por goteo

de 3 000 m³ ha⁻¹ e inundación de 11 250 m³ ha⁻¹ (Adekoya *et al.*, 2014). Cuando la humedad del suelo se redujo a (-10, -15 y -20) kPa para T1, T2 y T3 la reducción de rendimiento fue de 8.9, 34.2 y 35.4 por ciento respectivamente, resultados que siguen la tendencia obtenidos en la India por Kar *et al.* (2018) que logró una reducción del 12 y 35 por ciento con respecto al cultivo sin estrés hídrico (inundado) para valores de -10 y -40 kPa. Kukal *et al.* (2005) menciona que el rendimiento de grano no se afectó para una tensión de succión del suelo de 16 ±2 kPa con una producción de 6.4 t ha⁻¹, pero valores mayores de tensión disminuyen la producción en rangos de 0 a 7 y de 2 a 15 por ciento para tensiones de -20 ±2 kPa y -24 ±2 kPa respectivamente.

4.2.2. Componentes de rendimiento

a. Número de panículas y macollos por m²

La panícula es un grupo de espiguillas nacidas en el nudo superior del tallo (Heros, 2012), en la Tabla 12 y en la Figura 17, se presentan los valores promedio de panículas por m². La desviación estándar y el coeficiente de variación (CV) varían entre (88.47 a 65.16) número de macollos y (20.18 a 28.62) por ciento, en el caso del CV son similares para los cuatro tratamientos. Según el análisis estadístico de la varianza (Anova), se concluye que no existe diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos y entre bloques, porque el valor de P valúe es 0.1305 y 0.0683, mayor al 0.05 de nivel de significancia (Anexo 6). El número de panículas máximo y mínimo corresponde a los tratamientos T1 y T3 con valores de 391 y 284 panículas que representan una diferencia de 27 por ciento. Al igual que el rendimiento se forman dos grupos los tratamientos (T0, T1) y (T2, T3) con una diferencia entre ellos del 25 por ciento. El déficit hídrico solo aumentó el número de macollos para valores de tensión de -10 kPa (T1) y no en el resto de tratamientos con estrés, evaluados en el momento de la cosecha.

En la Figura 17, también se presentan el número de macollos por m² y el número de macollos efectivos (macollo que logro producir panículas), en ambos casos tampoco hay diferencias significativas entre tratamientos y bloques. El número de macollos tiene similar comportamiento al de número de panículas, solo que el número máximo es para el tratamiento T0. Además, los recortes de agua no afectaron el porcentaje de macollos

fértiles por tratamientos, con valores de 72 por ciento para T0 y T1 y de 65.9 y 68.6 por ciento para T2 y T3 respectivamente, pero si afectaron en el número de macollos por unidad de área para valores de tensión de suelo mayores a -15 kPa. Las reducciones de número de macollos también se observaron en el cultivo de trigo estresado en etapa de macollamiento 66 días después de la siembra (Gupta *et al.*, 2001).

Tabla 12: Promedio del número de panículas por m²

Tratamientos	Plantas por m ²	Número de panículas m ²	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación (%)	Mínimo	Máximo
T0	20	389.67	78.62	20.18	331.0	479.0
T1	20	391.00	88.47	22.63	317.0	489.0
T2	20	300.33	85.97	28.62	220.0	391.0
T3	21	283.67	65.16	22.97	216.0	346.0

FUENTE: Elaboración propia

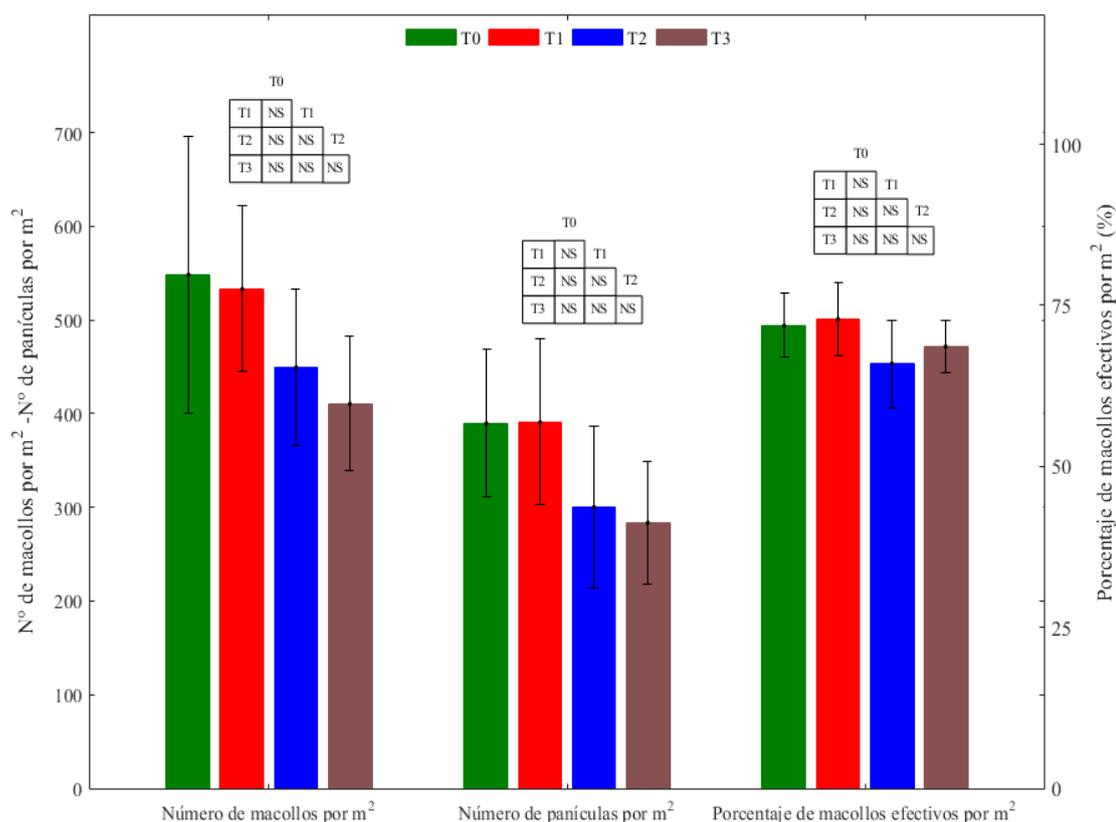


Figura 17: Barras del número promedio de panículas, macollos y macollos efectivos por m² y box plot de la desviación estándar

NS: no existe diferencias significativas entre tratamientos

FUENTE: Elaboración propia

b. Número de granos llenos y vanos por panícula

En la Tabla 13 y en la Figura 18, se presentan los valores promedios del número granos llenos por panícula, la desviación estándar y el coeficiente de variación (CV) varían entre (42.97 a 47.8) número de granos y (37.75 a 40.9) por ciento respectivamente. Los valores de CV son similares para todos los tratamientos, debido que hay una variación pronunciada entre el valor mínimo y máximo los valores son alrededor de 40 por ciento. Según el análisis de la varianza (Anova), se concluye que si existe diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, para un valor de $\mu=0.05$ de nivel de significancia. En el análisis estadístico, el sesgo estandarizado se encuentra fuera del rango de -2 a +2 lo que indica que no es una distribución normal, por ello se realizó la comparación de las medianas para determinar entre que tratamientos son las diferencias (Anexo 11), resultando que las diferencias significativas son entre los tratamientos T0 con T3 y T1 con T3.

Tabla 13: Promedio del número de granos llenos por panícula

Tratamiento	Recuento	Número de granos llenos	Desviación Estándar	Coeficiente de variación (%)	Mín.	Máx.
T0	501	116.33	46.75	40.18	11	291
T1	512	117.54	47.80	40.67	7	251
T2	507	113.81	42.97	37.75	5	325
T3	503	106.34	43.49	40.90	11	235

FUENTE: Elaboración propia

El número de granos llenos máximo y mínimo promedio corresponde a los tratamiento T1 y T3 con valores de 118 y 106 respectivamente que representan una diferencia del 10 por ciento. Las diferencia entre el T0 con el T1 es minima solo de un grano. En el tratamiento T2 tambien se observa una reducción de la cantidad de granos llenos de 3.2 y 3 por ciento con T0 y T1 respectivamente. Las diferencias significativas del T3 con respecto a T0 y T1 y las reducciones del T2, pueden haberse debido a que el periodo de los cortes de agua se realizaron en la fase reproductiva especificamente en primordio floral donde la panícula hace su diferenciación y es mas suceptible al estrés hidrico (CIAT, 1980).

Una panícula está constituida por la suma de granos llenos y vanos. En el tratamiento T2 se encontró la panícula que tiene mayor número de granos con 337. Existe diferencias estadísticamente significativas para el número de granos totales entre los tratamientos T0 con T3 y T1 con T3, igual que en granos llenos. Con respecto al número de granos vanos se presento mayor número en los tratamientos T1 y T3 con 20 y 19 granos respectivamente. El análisis de la varianza (Anova), indica que no existe diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, para un valor de 0.05 de nivel de significancia.

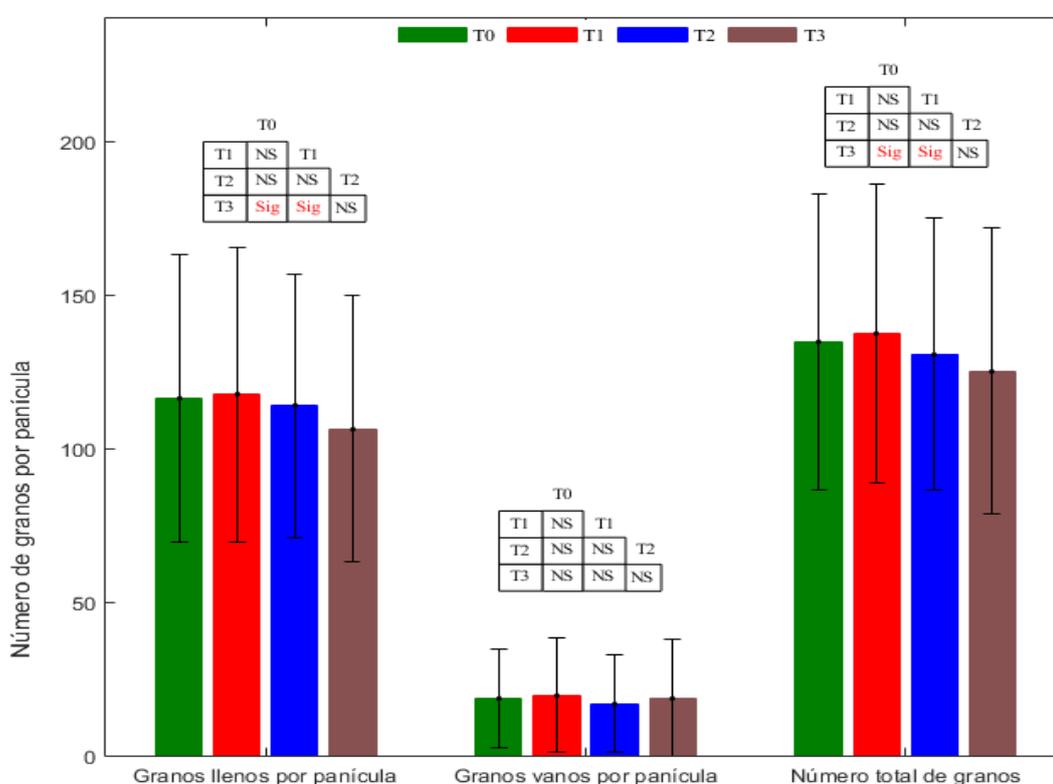


Figura 18: Barras del número promedio de granos llenos, vanos y totales por panícula

NS: no existe diferencias significativas entre tratamientos

Sig: si existe diferencias significativas entre tratamientos

FUENTE: Elaboración propia

El porcentaje de llenado de grano es de 85.5, 84.8, 86.5 y 84.4 por ciento para los tratamientos T0, T1, T2 y T3 respectivamente, el mayor valor promedio es del tratamiento T2, pero son muy similares en los cuatro casos. No existe diferencias significativas entre tratamientos porque el P valúe es mayor al 0.05 de nivel de significancia (Anexo 24).

c. Peso de mil granos llenos

En la Tabla 14 y en la Figura 19, se presentan los valores promedio del peso de mil granos al 14 por ciento de humedad, la desviación estándar y el coeficiente de variación (CV) varían entre (0.79 a 2) g y (3.45 a 8.55) por ciento respectivamente, el valor bajo de CV es por qué hay datos homogéneos en los tratamientos. Según el análisis estadístico de la varianza (Anova), se concluye que no existe diferencias significativas entre tratamientos y entre bloques porque el valor de P valué es 0.53, mayor al 0.05 de nivel de significancia. El peso de mil granos llenos máximos y mínimos corresponde a los tratamientos T2 y T3 que representan una diferencia de siete por ciento. La diferencia entre T0 y T1 es de 0.13 g, estas variaciones mínimas son debido a que los cortes de agua se realizaron en la etapa de macollamiento y primordio floral, no se afectó la formación de grano. Resultados similares fueron encontrados por Parthasarathi *et al.* (2016) en la India con valor promedio de 21.6 g dentro de un rango de (23-20.3) g para riego por goteo.

Tabla 14: Peso de mil granos llenos

Tratamientos	Número de datos	Peso de mil granos (g)	Desviación Estándar	Coeficiente de Variación (%)	Mín.	Máx.
T0	19.67	22.96	1.11	4.83	21.68	23.63
T1	20.33	22.83	0.79	3.45	21.93	23.41
T2	19.67	23.43	2.00	8.55	21.57	25.55
T3	20.67	21.75	1.35	6.20	20.23	22.81

FUENTE: Elaboración propia

Los componentes de rendimiento estuvieron afectados por el estrés hídrico de distintas intensidades debido al momento que se realizó los cortes de agua, el componente que menos se vio afectado fue el peso de mil granos porque existe similitud entre los pesos de los tratamientos. El componente que presenta diferencias significativas es granos llenos por panícula entre los tratamientos T0 con T3 y T1 con T3. En el número de panículas hay reducciones en los tratamientos T2 y T3 que luego se refleja en menor producción de los mismos (Figura 20). Niveles de estrés moderado como tensiones de humedad de suelo de -10 kPa (T1) aumenta el número de panículas por m² y el número de granos. El estrés de agua tiene influencia sobre el crecimiento y los componentes de rendimiento de arroz, mientras más aumente la duración del ciclo de estrés la tasa de mortalidad de macollos aumenta (Zain *et al.*, 2014).

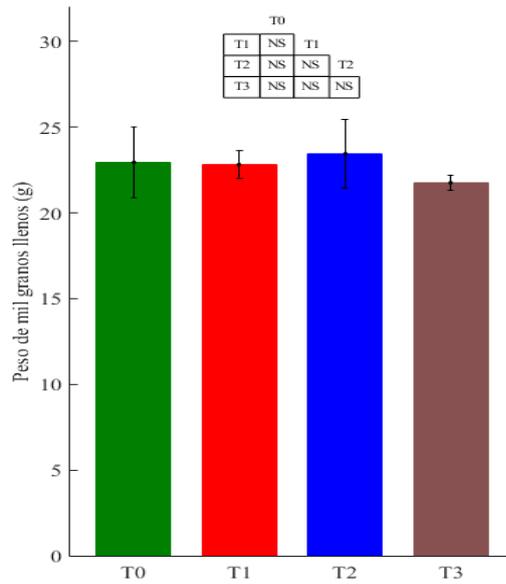


Figura 19: Barras del peso promedio de mil granos llenos (g)

FUENTE: Elaboración propia

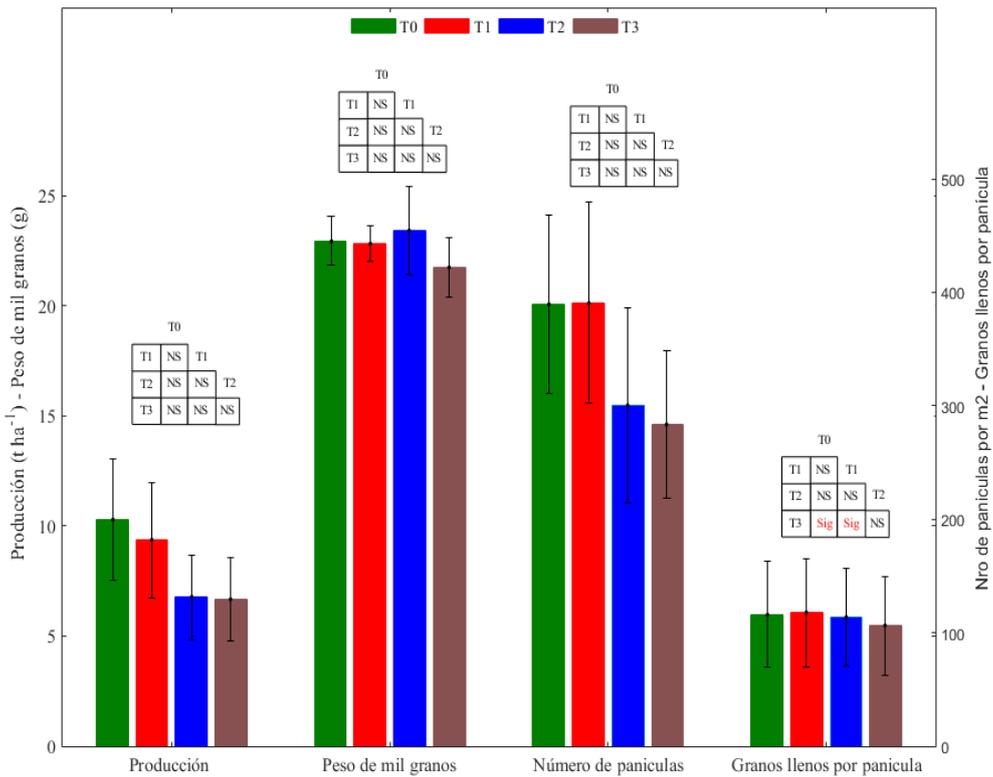


Figura 20: Barras del rendimiento del arroz en cascara y sus componentes

NS: no existe diferencias significativas entre tratamientos

Sig: si existe diferencias significativas entre tratamientos

FUENTE: Elaboración propia

4.2.3. Parámetros biométricos del cultivo

a. Altura de la planta

Una respuesta primaria de las plantas sometidas a estrés por sequía es la detención del crecimiento. La inhibición del crecimiento durante la sequía reduce las demandas metabólicas de la planta y moviliza metabolitos para la síntesis de compuestos protectores necesarios para el ajuste osmótico. La disponibilidad de agua para las células es baja debido a la mala conductancia hidráulica de las raíces a las hojas causada por el cierre de las estomas. Aunque una disminución en la conductancia hidráulica disminuye el suministro de nutrientes al tallo, también previene la embolia en el xilema y podría constituir una respuesta adaptativa (Bhargava y Sawant, 2013). La altura de planta fue una de las variables que se realizó un seguimiento a lo largo del cultivo, la variación temporal se presenta en la Figura 21. Antes del trasplante la altura es igual para todos los tratamientos. Se puede observar que antes de realizar los cortes de agua programados hay una tendencia positiva en todos los tratamientos, a diferencia que en el periodo de secas varía de acuerdo a la cantidad de agua que a cada tratamiento se le aplicó. Mantener la humedad sobre de capacidad de campo (línea de color verde) permitió al cultivo tener un crecimiento constante hasta la etapa de floración, lo cual no ocurre con el resto de tratamientos que durante las secas detuvieron el crecimiento y una vez que se volvió a regar volvieron a tener una tendencia positiva más acentuada del crecimiento, pero no logrando igualar al tratamiento T0 (sin estrés) al momento de la cosecha.

Se analizó estadísticamente la altura de la planta en tres momentos: inicio del periodo de secas, al final del mismo y en la cosecha (75, 107 y 166 dds) (Tabla 15). Al inicio del periodo de secas las alturas son similares en los cuatro tratamientos con una diferencia de 10 por ciento entre los tratamientos T0 y T2, que después del periodo de secas la diferencia se ampliaría a un 16 por ciento. Entre los tratamientos extremos (T0 y T3), pasado el periodo de secas existe una diferencia de 20 por ciento que en el momento de la cosecha se reduciría a un 15 por ciento. Según el análisis estadístico de la varianza (Anova), se concluye que existe diferencias significativas entre los tratamientos, para un 0.05 del nivel de significancia en los tres momentos evaluados. Las diferencias significativas según la prueba de Tukey HSD se observan en la Figura 22.

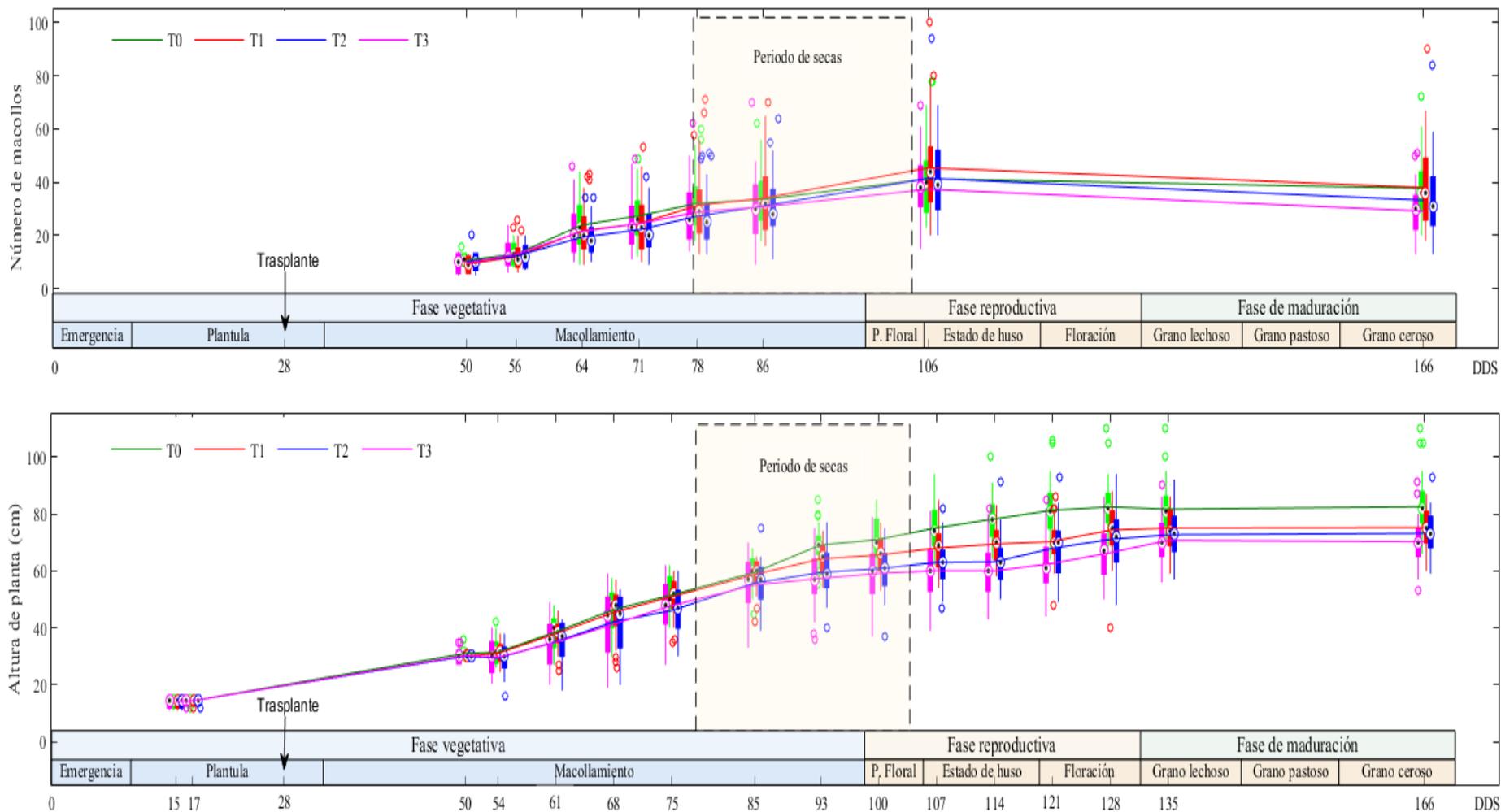


Figura 21: Variación temporal del número de macollos (panel superior) y altura de planta (panel inferior) del cultivo de arroz

FUENTE: Elaboración propia

El efecto del estrés hídrico sobre la altura de la planta también se encontró en una investigación realizada en Sudáfrica, cuando el estrés se hizo en la fase de macollamiento, redujo en 30 y 17.5 por ciento la altura en los años 2013 y 2014 respectivamente, pero el efecto disminuyó en la etapa reproductiva temprana, las reducciones fueron de 20.8 y 14.3 por ciento para los mismos años (Alou *et al.*, 2018). Las reducciones de altura también ocurrieron en riego por goteo comparado con riego inundado independientemente de la variedad del cultivo de arroz (Vanitha y Mohandass, 2014). La baja disponibilidad de agua con frecuencia limita el crecimiento y la productividad de las principales especies de cultivos, incluidos los cereales (Barnabás *et al.*, 2008).

Tabla 15: Promedio de altura y desviación estándar (σ) en tres momentos del cultivo (antes del inicio de secas, después del periodo de secas y en la cosecha)

Tratamientos	Número de plantas	Momento de evaluación					
		Inicio de secas		Final de secas		Cosecha	
		Promedio (cm)	σ	Promedio (cm)	σ	Promedio (cm)	σ
T0	51	51.5	5.8	75.1	6.6	82.2	7.5
T1	51	51.1	5.3	68.0	5.9	75.2	6.6
T2	51	46.1	7.8	63.0	7.8	73.2	6.5
T3	51	47.8	8.8	60.1	9.1	70.3	6.9

FUENTE: Elaboración propia

b. Número de macollos por planta durante el cultivo

Los macollos a diferencia de la altura de la planta pueden aumentar cuando se produce las secas, como se puede ver en las Figuras 21 y 22, lo que se observa en la altura de planta es que a menos humedad del suelo menos altura, en el número de macollos no ocurre lo mismo, por ejemplo el mayor número de macollos es para el tratamiento T1 con tensión del humedad del suelo de -10 kPa, que después del periodo de secas tuvo una diferencia de más 10 por ciento con el T0, aunque al final en la cosecha no existió ninguna diferencia entre ambos. Después del periodo de las secas los tratamientos T0 y T2 tiene similar número de macollos por planta, pero al momento de la cosecha el T2 es inferior en 13 por ciento que T0. Respecto al tratamiento T3 sus valores siempre se mantuvieron por debajo de los otros tres tratamientos a lo largo del cultivo (Tabla 16). Antes de la floración se produce el periodo de máximo macollamiento 106 DDS, que luego de ello hay una disminución del número de macollos característica en el cultivo de arroz (Olmos, 2006).

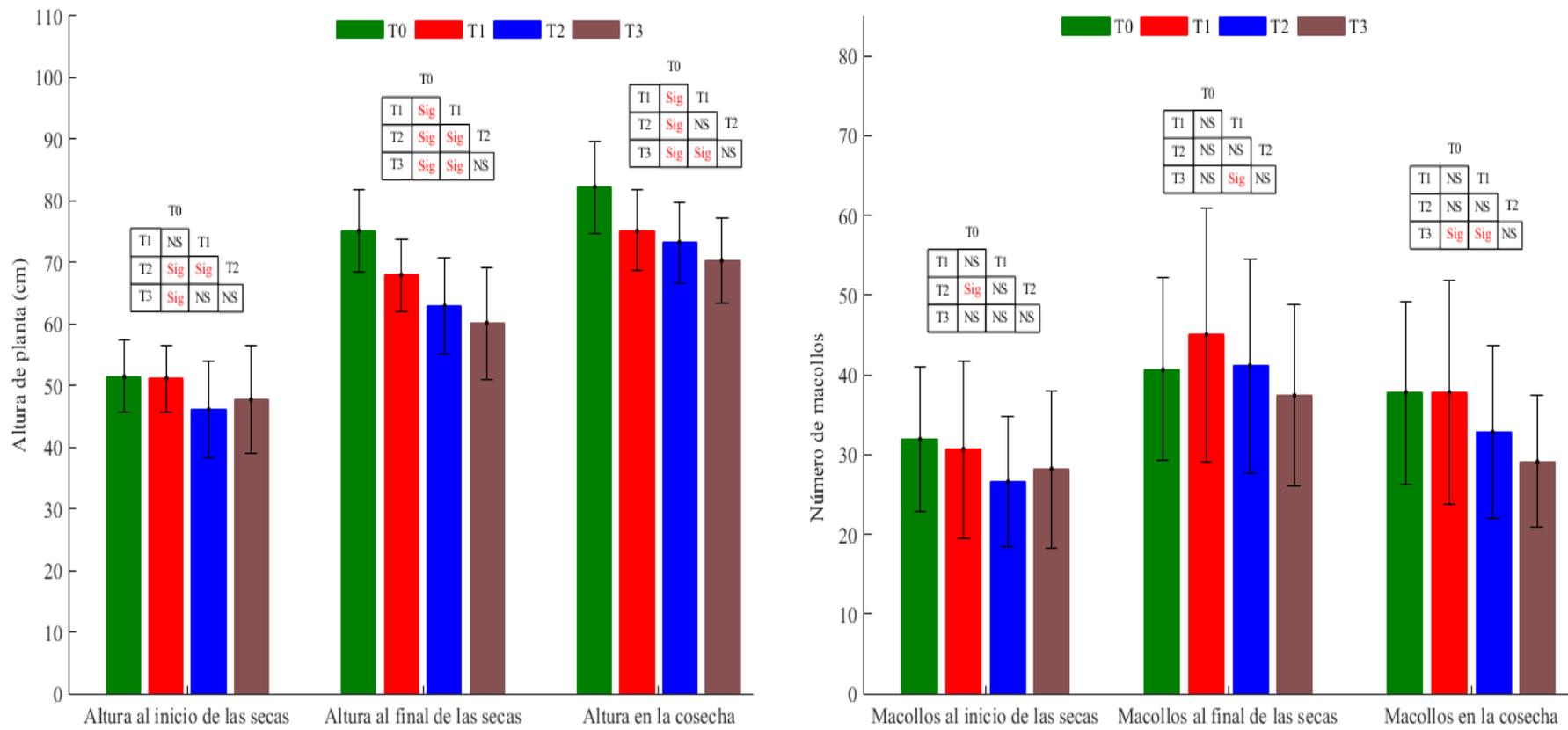


Figura 22: Barras del comportamiento de la altura (cm) (panel izquierdo) y el número de macollos (panel derecho) en tres momentos (antes de secas, después de secas y en la cosecha)

NS: no existe diferencias significativas entre tratamientos

Sig: si existe diferencias significativas entre tratamientos

FUENTE: Elaboración propia

Según el análisis estadístico de la varianza (Anova), se concluye que existe diferencias significativas entre los tratamientos, para un 0.05 de nivel de significancia en los tres momentos evaluados. Las diferencias significativas según la prueba de Tukey HSD son entre el tratamiento T1 con T2, T1 con T3 y T3 con (T0 y T1) en inicio de secas, al final del periodo de secas y en la cosecha respectivamente.

Tabla 16: Promedio y desviación estándar (σ) del número de macollos por planta en tres momentos del cultivo (antes del inicio de secas, después del periodo de secas y en la cosecha)

Tratamientos	Número de plantas	Momento de evaluación					
		Inicio de secas		Final de secas		Cosecha	
		Promedio (u)	σ	Promedio (u)	σ	Promedio (u)	σ
T0	51	31.9	9.0	40.7	11.5	37.7	11.4
T1	51	30.6	11.1	45.0	16.0	37.8	14.1
T2	51	26.6	8.2	41.1	13.4	32.9	10.8
T3	51	28.1	9.9	37.4	11.4	29.1	8.3

FUENTE: Elaboración propia

c. Tamaño de panícula

En la Tabla 17 y en la Figura 23, se presentan los valores promedios del tamaño de panículas. La desviación estándar y el coeficiente de variación (CV) que varían entre (3.19 – 3.33) cm y (15.10 – 15.99) por ciento respectivamente, el valor del CV es similar para los cuatro tratamientos lo que indica homogeneidad en las mediciones con valores de 15.9 por ciento. Según el análisis estadístico de la varianza (Anova), se concluye que, si existe diferencias significativas entre tratamientos, porque el valor de P valúe es menor al 0.05 de nivel de significancia (Anexo 22).

Tabla 17: Promedio y desviación estándar del tamaño de panículas

Tratamiento	Recuento	Promedio	Mediana	Desviación Estándar	Coeficiente de Variación (%)	Min.	Max.
T0	1241	20.93	21.0	3.33	15.90	7.0	30.5
T1	1456	21.11	21.5	3.19	15.10	11.0	30.0
T2	1180	20.49	21.0	3.28	15.99	10.0	33.0
T3	1129	20.02	20.0	3.19	15.95	10.0	28.5

FUENTE: Elaboración propia

El tamaño máximo y mínimo promedio de las panículas corresponde a los tratamientos T1 y T3 con valores de 21 y 20 cm que representan una diferencia de cinco por ciento. Entre los tratamientos T0 y T1 hay una mínima diferencia de uno por ciento. La comparación para conocer entre que tratamientos existe diferencias significativas se realizó con la mediana por que el sesgo estandarizado no se encuentra entre el rango de +2 a -2, por lo cual los datos no siguen una distribución normal. Existe diferencias significativas en casi todas las comparaciones, solo entre T0 y T1 no existe. Esto ocurre debido a que una parte de la época de secas se realizó en la fase fenológica de primordio floral, donde al arroz es muy susceptible, especialmente para el tamaño de panícula. El estrés en inicio de la formación de la panícula tiene un efecto negativo severo en la longitud de la panícula y en menor medida en la esterilidad de espiguillas (Alou *et al.*, 2018).

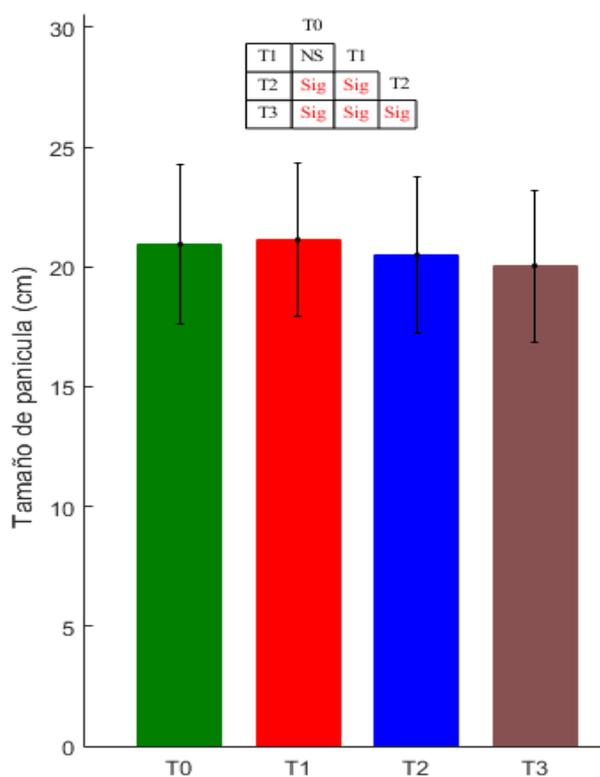


Figura 23: Barras del tamaño promedio de panículas y box plot de la desviación estándar

NS: no existe diferencias significativas entre tratamientos

Sig: si existe diferencias significativas entre tratamientos

FUENTE: Elaboración propia

d. Profundidad de raíz

En la Tabla 18 y Figura 24 se presentan los valores promedios de la profundidad de raíz, la desviación estándar y el coeficiente de variación (CV) que varían entre (1.88 – 2.77) cm y (6.36 – 9.63) por ciento respectivamente, los valores bajos de CV se deben a la poca variabilidad de las mediciones dentro de los tratamientos. Según el análisis estadístico de la varianza (Anova), se concluye que no existe diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, porque el valor de P valué es 0.45, mayor al 0.05 de nivel de significancia.

Tabla 18: Profundidad de la raíz del cultivo de arroz

Tratamientos	Número de datos	Profundidad de raíz (cm)	Desviación Estándar	Coficiente de Variación (%)	Min.	Max.
T0	12	28.92	2.47	8.53	26	34
T1	12	29.58	1.88	6.36	27	34
T2	12	29.5	2.24	7.58	24	33
T3	12	28.75	2.77	9.63	24	36

FUENTE: Elaboración propia

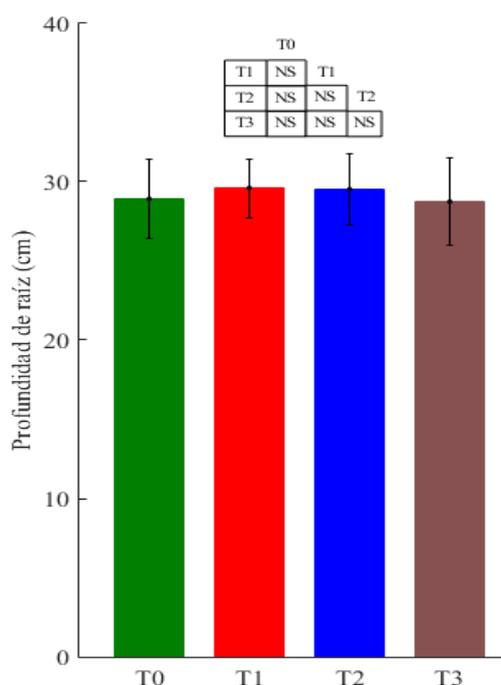


Figura 24: Barras de la profundidad promedio de la raíz (cm) y box plot de la desviación estándar

NS: no existe diferencias significativas entre tratamientos

FUENTE: Elaboración propia

La profundidad máxima y mínima promedio corresponde a los tratamientos T1 y T3 con valores de 29.58 y 28.75 cm que representan una diferencia del cuatro por ciento. Los datos obtenidos son muy similares en los cuatro tratamientos. La mayor variabilidad de datos se observa en las parcelas con mayor estrés (T3) que varía entre 24 a 36 cm. La poca profundidad de raíz puede haberse debido a que la parte más húmeda del suelo se encontraba en la parte superior del suelo, por el riego diario realizado, por lo que la planta no necesitaba aumentar la profundidad de las raíces.

4.2.4. Relación de biomasa e Índice de cosecha (IC)

Se relacionó la biomasa aérea con el peso de la raíz, para analizar si en los tratamientos hubo aumento de la cantidad de raíz en respuesta a la escasez de agua durante el periodo de secas. En la Tabla 19 y en la Figura 25, se presentan los valores promedios hallados, la desviación estándar y el coeficiente de variación (CV) varían entre (8.04 a 3.34) g g⁻¹ y (28.66 a 38.30) por ciento respectivamente. Según el análisis estadístico de la varianza (Anova), se concluye que, si existe diferencias significativas entre los tratamientos, porque el valor de P valué es 0.0038, menor al 0.05 de nivel de significancia (Anexo 27).

Tabla 19: Promedio de la relación de la biomasa aérea con peso de raíz

Tratamiento	Recuento	Promedio (g g ⁻¹)	Desviación Estándar	Coficiente de Variación (%)	Mínimo	Máximo
T0	12	20.97	8.04	38.30	10.06	31.92
T1	12	15.70	4.50	28.66	10.24	25.0
T2	12	16.85	5.85	34.74	8.52	28.31
T3	12	11.87	3.34	28.17	6.65	16.21

FUENTE: Elaboración propia

La comparación con la prueba de Tukey HSD se encontró que las diferencias significativas es entre el tratamiento T0 con T3. La relación máxima y mínima promedio corresponde a los tratamientos T0 y T3 con los valores de 21 y 12 g g⁻¹ que representan una diferencia de 43 por ciento. En un estudio en China se indica que las raíces juegan un papel importante en la resistencia a las tensiones ambientales. Las respuestas específicas y beneficiosas para superar el estrés incluyen reducciones en la longitud específica de la raíz o aumentos en la densidad de la longitud de la raíz a 20–40 cm o en la proporción de raíz a macollos (He *et al.*, 2016). Con los resultados obtenidos en este estudio hay un

aumento de la densidad de longitud de la raíz, pero en una profundidad de 0 – 25 cm. El aumento la masa radicular de la planta coincidió con resultados obtenidos por Ruiz *et al.* (2017) en Cuba.

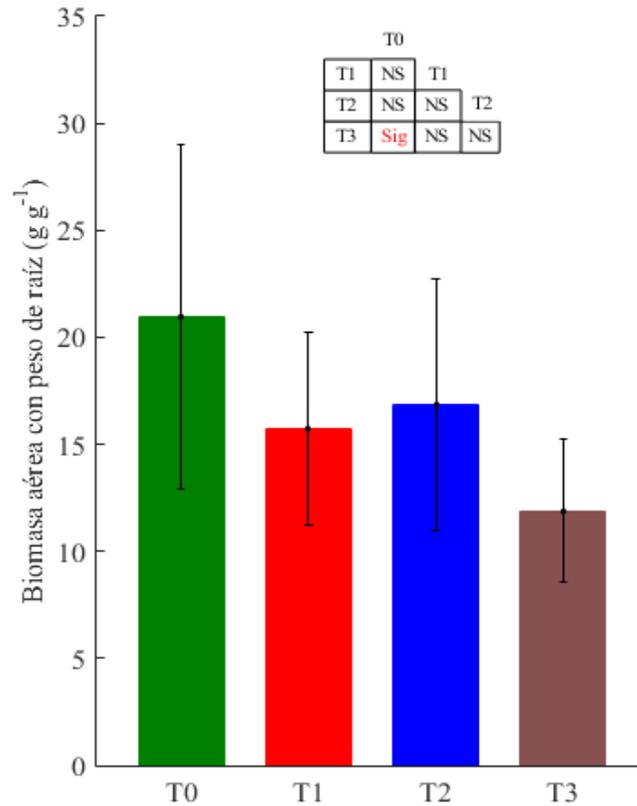


Figura 25: Barras del promedio de la relación de biomasa aérea con peso de raíz y la desviación estándar

NS: no existe diferencias significativas entre tratamientos

Sig: si existe diferencias significativas entre tratamientos

FUENTE: Elaboración propia

En la Figura 26 y en la Tabla 20, se muestra los resultados del índice de cosecha que relaciona el rendimiento económico con el rendimiento biológico (biomasa total), la desviación estándar y el coeficiente de variación (CV) varían entre (3.92 a 8.09) y (8.07 a 20.37) por ciento respectivamente. Según el análisis estadístico de la varianza (Anova), se concluye que, no existe diferencias significativas entre los tratamientos, porque el valor de P valúe es 0.2117, mayor al 0.05 de nivel de significancia (Anexo 29). El índice de cosecha máximo y mínimo promedio corresponde a los tratamientos T0 y T2 con valores

de 50.58 y 39.70 por ciento que representan una diferencia de 21.5 por ciento. La sequía puede reducir la altura media de la planta, el rendimiento total de materia seca y el índice de cosecha en 19, 34 y 15 por ciento respectivamente con respecto a arroz por riego inundado (Torres y Henry, 2018) como ocurre en este estudio, pero las reducciones son con respecto al tratamiento sin estrés (T0).

Tabla 20: Valores promedio y desviación estándar del índice de cosecha

Tratamientos	Promedio IC (%)	Desviación Estándar (%)	Coefficiente de Variación (%)	Mínimo	Máximo
T0	50.58	7.22	14.28	43.49	57.93
T1	48.57	3.92	8.07	44.05	51.03
T2	39.70	8.09	20.37	34.36	49.01
T3	45.22	4.82	10.66	39.67	48.38

FUENTE: Elaboración propia

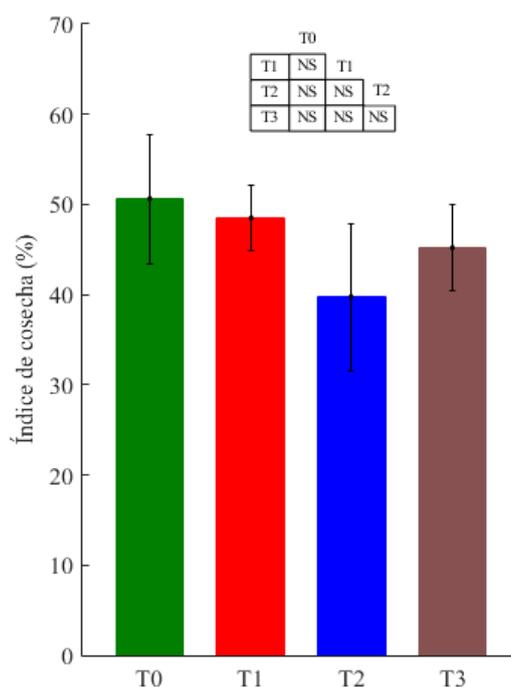


Figura 26: Barras índice de cosecha (%) promedio y box plot de la desviación estándar

NS: no existe diferencias significativas entre tratamientos

FUENTE: Elaboración propia

4.2.5. Calidad molinera

El rendimiento en cáscara no es definitivo para garantizar la calidad y cantidad de grano del arroz. Para poder ser consumido en sus diferentes presentaciones y hacer un producto final es necesario retirar la cáscara y hacer un proceso de pulido, para ello se procedió a realizar la prueba de calidad molinera a todos los tratamientos para garantizar que el cambio de tecnología de riego no debe afectar este proceso. La calificación del arroz molinado en términos de rendimiento en molino y calidad, en gran parte depende por la calidad del arroz con cáscara. El desempeño de éste durante la molienda está influenciado por características del lote de arroz, incluyendo factores genéticos y ambientales, el tipo de molino utilizado y las condiciones de procesamiento (CIAT, 1989).

En la Tabla 21 y en la Figura 27, se presentan los valores promedios de calidad molinera, la desviación estándar varía entre (2.2 a 3.9), (2.2 a 4.8) y (0.5 a 0.9) por ciento, para granos quebrados, granos enteros y rendimiento de molinería respectivamente. Según el análisis estadístico de la varianza (Anova), se concluye que no existe diferencias significativas entre los tratamientos, porque el P valúe es mayor al 0.05 de nivel de significancia (Anexo 30) en las tres evaluaciones.

Tabla 21: Calidad molinera del arroz IR-71706 bajo riego deficitario por goteo

Tratamientos	Número de muestras	Calidad molinera					
		Granos quebrados		Granos enteros		Rend. de molinería	
		Promedio (%)	σ	Promedio (%)	σ	Promedio (%)	σ
T0	3	10.7	2.5	61.5	2.2	72.2	0.6
T1	3	12.5	3.9	58.0	4.8	70.5	0.9
T2	3	14.0	2.6	56.5	3.0	70.5	0.5
T3	3	14.0	2.2	56.7	2.9	70.7	0.8

FUENTE: Elaboración propia

Las secas se realizaron en el periodo de macollamiento e inicio de la fase reproductiva, por lo que no se afectó la formación y llenado de grano debido a ello no hay diferencias significativas. La diferencia entre los valores máximos y mínimos de granos quebrados, granos enteros y rendimiento de molinería fue de 23.6, 8 y 3 por ciento entre los tratamientos (T2, T3) con T0, T0 con (T2, T3) y T0 con (T1, T2) respectivamente. En el Perú para las variedades FEDEARROZ 60, HP 101 – PLAZAS, LA ESPERANZA, MALLARES, TINAJONES e IR – 43 el porcentaje de granos enteros es 62, 62, 70.7, 58,

70.7 y 67 respectivamente (Semillas el Potrero, 2018), el tratamiento T0 tiene valores similares que las dos primeras variedades. En un estudio en Colombia para nueve variedades de arroz (CICA 8, ORYZICA 1, ORYZICA 2, BR-IRGA 409, CR 1113, JUMA 58, IR 36, TIKAL 2 y SINALDA A80) obtuvieron valores de arroz blanco (Rendimiento de molinería) entre un rango de 70 a 74 por ciento con un promedio de 72 por ciento (CIAT, 1989), los resultados obtenidos en el presente estudio se encuentran dentro del rango en todos los tratamientos.

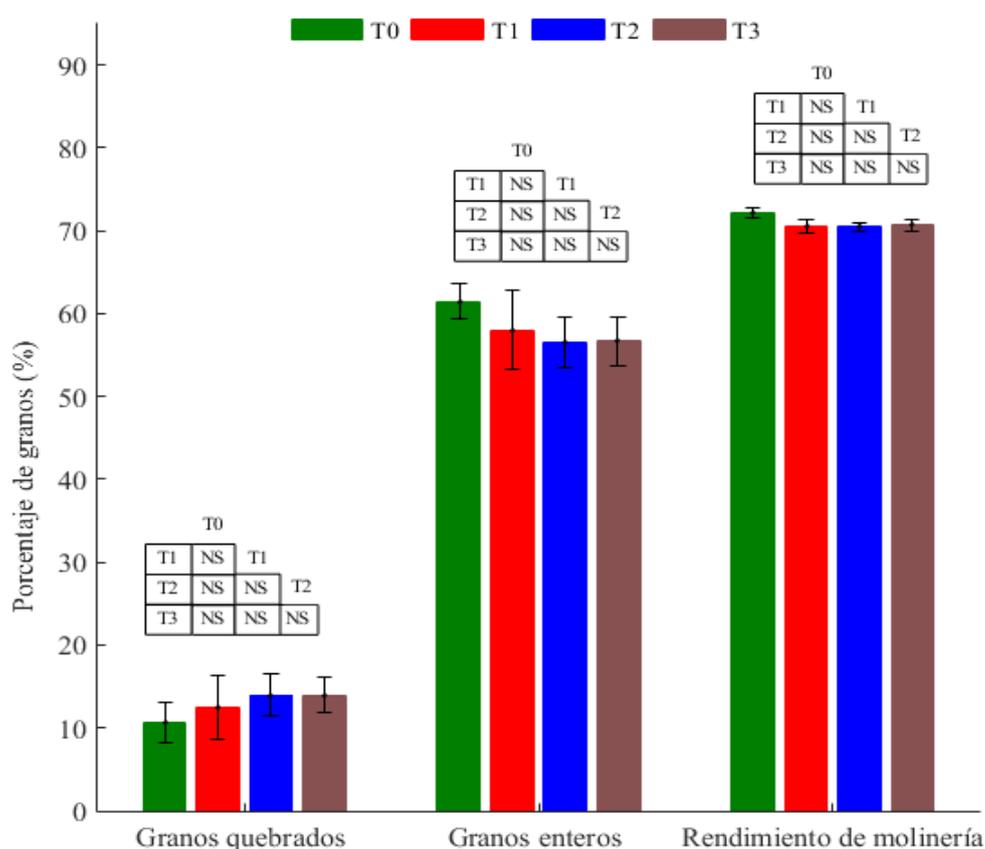


Figura 27: Barras de la calidad molinera promedio y desviación estándar del cultivo de arroz por goteo

NS: no existe diferencias significativas entre tratamientos

FUENTE: Elaboración propia

4.2.6. Productividad del agua

La productividad del agua en arroz bajo riego de inundación, se estima entre 0.13 a 0.33 kg m⁻³ (FAO, 2013). En la Tabla 22 y Figura 28 se presentan los valores promedio de la productividad del agua, la desviación estándar y el coeficiente de variación (CV) que varían entre (0.22 a 0.30) kg m⁻³ (26.79 a 28.45) por ciento respectivamente, los valores son similares que, en el rendimiento, porque la cantidad de agua fue la misma en las tres repeticiones. Según el análisis estadístico de la varianza (Anova), se concluye que, no existe diferencias significativas entre los tratamientos, porque el valor de P valué es 0.2759, mayor al 0.05 de nivel de significancia (Anexo 31).

La productividad del agua máxima y mínima promedio corresponde a los tratamientos T0 y T2 con valores de 1.12 y 0.8 kg m⁻³ que representan una diferencia 29 por ciento. También se puede observar que se forman dos grupos: los tratamientos (T0, T1) y (T2, T3) con una diferencia entre ellos del 26 por ciento. La productividad de agua obtenida en los tratamientos T0, T1, T2 y T3 supera al promedio nacional (inundado) en (52, 50, 32.5 y 34) por ciento respectivamente. Pero si lo comparamos con productividades en cultivo por inundación de las regiones Lambayeque, Arequipa, Tumbes y Piura tendremos que los tratamientos T0 y T1 son superiores en (10, 31, 46 y 58) por ciento y los tratamientos T2 y T3 en (-18, 7, 28 y 44) por ciento respectivamente (Heros, 2012; SEIA, 2018; Altamirano, 2018).

En un estudio en China para riego intermitente se obtuvieron valores entre 0.86 a 1.08 kg m⁻³ que representan una productividad de agua superior entre 18 a 48 por ciento, respecto a arroz bajo riego inundado, con ahorro de agua entre 32 y 44 por ciento (Xiao *et al.*, 2008). En la India se evaluó el cultivo de arroz en inundación y hasta valores de tensiones de suelo de -10 y -40 kPa en humectación y secado, siendo superior la productividad del agua en 9 y 33 por ciento en la tensión de suelo de -40 kPa comparado con el cultivo de -10 kPa e inundación respectivamente (Kar *et al.*, 2018), en otro estudio del mismo país, que se comparó el riego por goteo con el cultivo inundado se logró elevar la productividad del agua en 27.4 por ciento en riego por goteo (Parthasarathi *et al.*, 2016). En India se tuvo productividades de agua en arroz aeróbico de 0.35 – 0.49 kg m⁻³ superior que el regadío convencional (inundado) de 0.32 kg m⁻³ (Rao *et al.*, 2016). En otra investigación

en India a pesar de la reducción de la producción en el cultivo de arroz aeróbico, la productividad de agua puede ser mayor en un 37 a 45 por ciento (30 a 40 kPa) a comparación de un sistema de riego inundado (Kadiyala *et al.*, 2012). En los estudios anteriores se demuestran que con un manejo adecuado del recurso hídrico se puede elevar la productividad del agua en el cultivo de arroz, esto ocurre si comparamos los resultados obtenidos en este estudio con el riego inundado, pero si comparamos entre tratamientos la cantidad de agua aplicada no fue significativamente diferente por el corto periodo de secas y además de la reducción de rendimiento en los tratamientos con estrés.

Tabla 22: Productividad del agua en el cultivo de arroz

Tratamiento	Promedio (kg m ⁻³)	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación (%)	Mínimo	Máximo
T0	1.12	0.30	26.79	0.82	1.41
T1	1.07	0.30	27.94	0.83	1.40
T2	0.80	0.22	28.11	0.62	1.05
T3	0.82	0.23	28.45	0.57	1.03

FUENTE: Elaboración propia

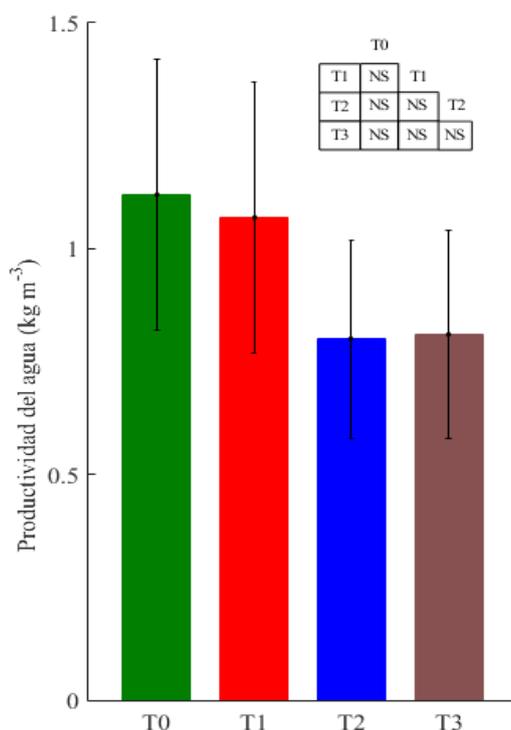


Figura 28: Barras de la productividad promedio del agua en arroz por goteo y box plot de la desviación estándar

NS: no existe diferencias significativas entre tratamientos

FUENTE: Elaboración propia

4.3. Coeficiente de estrés hídrico

El coeficiente de estrés hídrico (K_s) nos indica hasta que humedad el cultivo puede resistir sin poner en peligro la producción. El arroz al ser un cultivo que tiene láminas de agua sobre terreno de 5 a 10 cm, al ser cultivado de forma aeróbica y aunque se mantenga la humedad sobre capacidad de campo puede afectar el rendimiento y sus componentes, pero en los últimos años hay variedades que se adaptan a este nuevo sistema de cultivo con rendimientos similares a los inundados. La disponibilidad de agua en la zona de raíces para el arroz solo tolera un descenso de 0.2 de estado de saturación o del agua disponible total (ADT) (Allen *et al.*, 2006). En esta investigación los umbrales del descenso de la tensión de la humedad del suelo promediaron valores de 10.10 ± 3.3 , 15.24 ± 4.4 y 21.11 ± 4.4 kPa o cbar para los tratamientos T1, T2 y T3 respectivamente, contrariamente al tratamiento control (T0) donde la humedad se mantuvo sobre capacidad de campo con valor promedio de 38 por ciento en volumen medidos en los sensores de Reflectometría de Dominio de Frecuencia (FDR).

El periodo donde se realizó los cortes de agua programados y controlados comprende las fases fenológicas vegetativa (macollamiento) e inicio de la fase reproductiva (primordio floral). La relación del coeficiente de estrés hídrico (K_s) en dicho periodo con el rendimiento obtenido, se presenta en la Figura 29. Se tiene que en el eje “x” el agua disponible total (ADT) de la zona de raíces desde saturación hasta punto de marchites. Por otro lado, el agua fácilmente disponible (AFD) es de 13 mm y se muestra en el punto (-5) al igual que capacidad de campo en el punto cero. El tratamiento T0 que estuvo sobre capacidad de campo es superior al valor de AFD y el coeficiente de estrés hídrico (K_s) para ese punto es uno al considerar que el cultivo para dicha humedad no presenta ningún tipo de estrés generado por déficit de agua.

En la Tabla 23, se presenta una comparación entre el K_s hallado experimentalmente con el calculado por la Ecuación 3, en ambos casos existe estrés en diferentes intensidades. Gráficamente los tratamientos T2 y T3 sus valores son muy similares porque en el rendimiento solo hay una diferencia entre de 0.12 t ha^{-1} , en el caso del K_s calculado la diferencia entre el T1 y T3 es de 22 por ciento. Los valores obtenidos del gráfico y calculados no coinciden entre sí, excepto en el tratamiento T3 que los valores son

similares (0.64 y 0.65), pero en tratamiento T1 hay una diferencia positiva de 11 por ciento y en T2 una diferencia negativa de 11 por ciento entre el graficado y calculado respectivamente.

Tabla 23: Coeficiente de estrés hídrico (Ks) del experimento y calculado por Allen *et al.*, (2006)

Tratamiento	Coeficiente de estrés hídrico	
	Del experimento	Allen <i>et al.</i> (2006)
T0	1.00	1.00
T1	0.91	0.83
T2	0.66	0.74
T3	0.64	0.65

FUENTE: Elaboración propia

El cultivo de arroz expuesto al estrés hídrico presenta respuestas adaptativas a las condiciones del nuevo ambiente, por ejemplo, el aumento de la masa de las raíces con respecto a la masa aérea de la planta, también se pudo observar la disminución del tamaño de la panícula, el número de granos de la panícula, la reducción de la altura de la planta y el rendimiento. También en un estudio en Irán que se compara el déficit hídrico severo de agua (se riega cada dos días) con un riego inundado presenta una disminución significativa en la altura de planta (8 cm), en el número de granos totales por panícula (18 granos), en el número de macollos por planta (2 retoños) y el rendimiento (12 g/planta) (Ahmadikhah y Marufinia, 2016).

Una de las mayores desventajas del arroz aeróbico es la proliferación de malezas, su abundancia y con la rapidez que se desarrollan, si no se realiza un control adecuado puede producir hasta la pérdida total de la cosecha, pero un manejo adecuado puede aumentar el rendimiento de grano en 15 a 31 por ciento mediante la implementación de diferentes prácticas de control de malezas elaborada para manejo de arroz aeróbico. Se descubrió que prácticas como la solarización del suelo, la siembra de cultivares competitivos y resistentes a herbicidas, la aplicación de abono, la fertilización correcta y el cultivo intercalado tienen una importancia particular para el manejo de malezas. Además, el deshierbado manual y el control mecánico fueron más efectivos cuando se combinaron con otros métodos de control de malezas (Jabran y Chauhan, 2015).

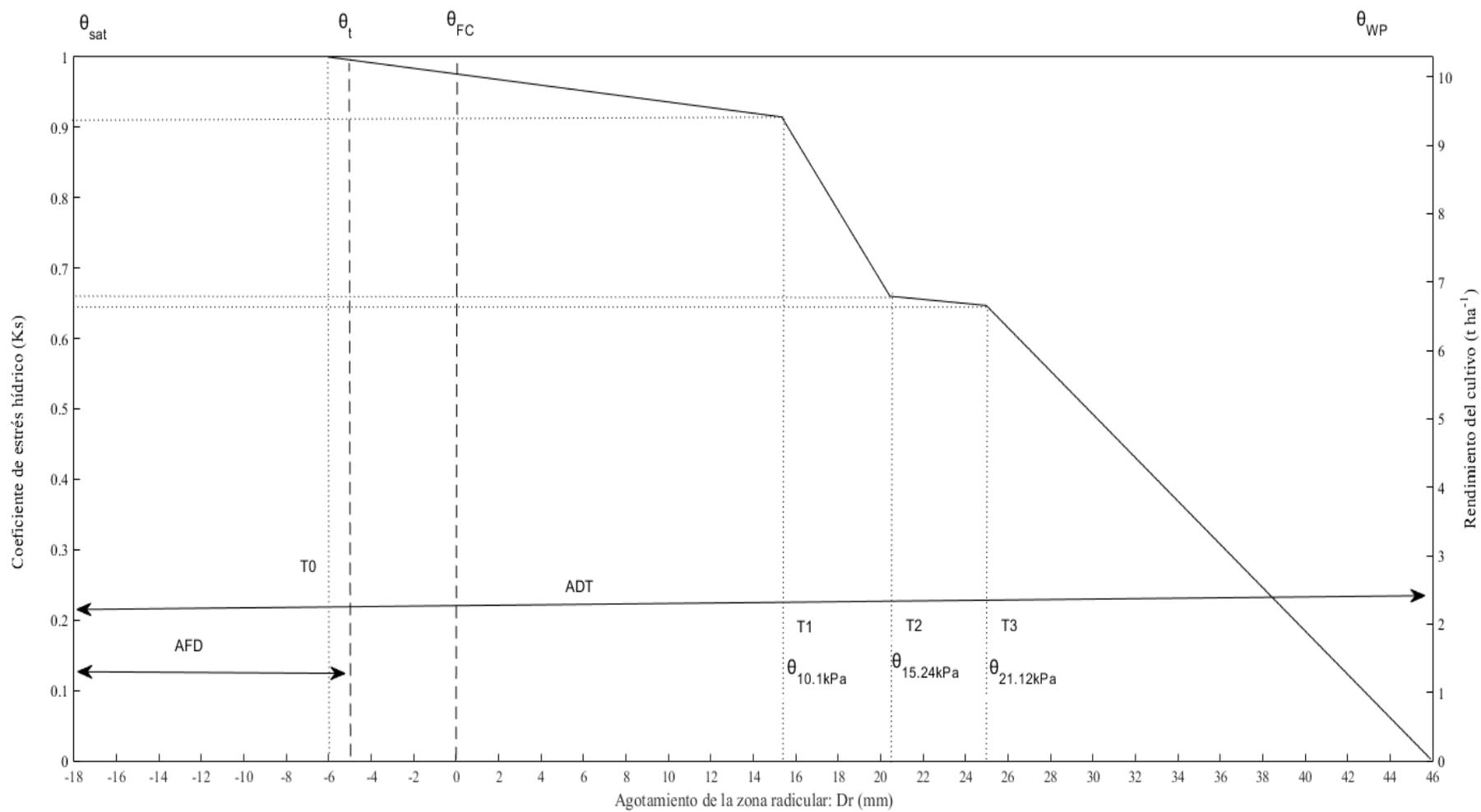


Figura 29: Coeficiente de estrés hídrico (K_s) para el cultivo de arroz bajo riego deficitario por goteo

FUENTE: Elaboración propia

Los sistemas de riego por goteo tienen un elevado costo inicial, una de las preocupaciones es como hacer que el sistema por goteo sea más económico y competitivo. El rebrote es una técnica que se utiliza para elevar la producción en una misma siembra en Cuba, dejando el rebrote después de la cosecha principal se logró alrededor de 250 hijos fértiles por m² y rendimientos desde 2.5 hasta 4.27 t ha⁻¹ (Álvarez *et al.*, 2014). En otro estudio en India se comprobó que el riego por goteo fue efectivo para mejorar el rendimiento de grano y la eficiencia de uso de N del arroz de secano. El rendimiento de grano de arroz se incrementó de 2401 kg ha⁻¹ bajo ninguna aplicación de N a 3,240, 3,915, y 4,040 kg ha⁻¹ con la aplicación de N a razón de 50, 75 y 100 kg ha⁻¹ respectivamente, a través de fertirrigación por goteo. En el mismo estudio se evaluó las separaciones de laterales de goteo, encontrando que la separación de 40 cm era mejor que de 60 cm por mayor rendimiento de grano, aunque no significativa. (Rajwade *et al.*, 2014).

El suelo, llevado a alta humedad resultó en un mayor número de macollos por planta (nueve macollos/planta), comparado con el suelo llevado a media humedad (siete macollas/planta). Similarmente, plantas desarrolladas en alta humedad fueron en promedio, más altas que las plantas que crecieron a media humedad en Honduras (Argeta, 2017). El estudio anterior coincide con otro realizado en Malasia donde un tratamiento se mantuvo en saturación de suelo y no en inundación, donde se logró una producción de 10.41 t ha⁻¹, peso de mil granos de 23.51 gramos y porcentaje de llenado de grano de 90.18 por ciento (Zain *et al.*, 2014).

V. CONCLUSIONES

1. La humedad volumétrica del suelo se mantuvo sobre capacidad de campo a lo largo del desarrollo del cultivo, a excepción del periodo de secas (77 – 105 DDS). Para mantener esta humedad se utilizaron volúmenes de agua de 9189, 8781, 8481 y 8155 m³ ha⁻¹, con tensiones del suelo de 0, -10, -15 y -21 kPa respectivamente, teniendo una reducción del 11 por ciento entre los tratamientos T0 y T3.
2. El cultivo de arroz variedad IR-71706 obtuvo un rendimiento, número de panículas por m², número de granos llenos por panícula de (10.29 ±2.75, 9.37 ±2.62, 6.77 ±2.12, 6.65 ±2.79) t ha⁻¹, (390, 391, 300 y 284) y (116, 118, 114 y 106) para tensiones del suelo de 0, -10, -15 y -21 Kpa para T0, T1, T2 y T3 respectivamente, presentando diferencias significativas entre los tratamientos T0 y T1 con T3 para número de granos llenos. Con respecto al peso de mil granos y profundidad de raíz no hubo diferencias significativas entre los tratamientos. La altura de planta en el momento de la cosecha fue de 82.2 ±7.5, 75.2 ±6.6, 73.2 ±6.5 y 70.3 ±6.9 cm, con diferencias significativas excepto entre los tratamientos T1 y T2 con T3; el número máximos de macollos fue de 38 en los tratamientos a 0 y -10 kPa de tensión del suelo.
3. La productividad del agua fue de 1.12, 1.07, 0.8 y 0.81 kg m⁻³ con tensión del suelo de 0, -10, -15 y -21 Kpa para T0, T1, T2 y T3 respectivamente, sin diferencias significativas porque el genotipo utilizado es resistente al estrés hídrico. El índice de cosecha fue de (50.58 ±7.22, 48.57 ±3.92, 39.7 ±8.09 y 45.22 ±4.82) por ciento por tratamiento, siendo el tratamiento más bajo el de -15 kPa con un 22 por ciento de reducción con respecto al tratamiento sin estrés.
4. El coeficiente de estrés hidrico (Ks) según los diferentes niveles de déficit de agua en el suelo y rendimiento del cultivo, tuvo un valor de 1 (Ks=1) para humedad de suelo sobre capacidad de campo y valores de 0.9, 0.69 y 0.65 en estrés hídrico con tensión del suelo de -10, -15 y -21 Kpa respectivamente.

VI. RECOMENDACIONES

1. Incorporar para la estimación del umbral de estrés hídrico en el cultivo de arroz la medición de la conductancia estomática y la fotosíntesis.
2. Evaluar la influencia de la compactación del suelo en la medición de la humedad volumétrica por sensores (FDR y watermark)
3. Desarrollar tecnologías intermedias de riego para reducir los altos costos iniciales del sistema de riego por goteo.
4. Realizar una valoración nutricional del arroz cultivado por goteo para determinar si existe mayor aporte de nutrientes que el cultivado tradicionalmente por inundación y desarrollar investigaciones de nuevas variedades resistentes a estrés hídrico para riego por goteo.
5. Que el agricultor use este tipo de tecnología para reducir el consumo de agua. Previa evaluación económica.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Abadía, R. 2018. Curso internacional de modernización de regadíos: ahorro y eficiencia energética: instalaciones de riego a presión en parcela: riego localizado. Lima, Perú. UNALM. 66 p.
- Adekoya, MA; Liu, Z; Vered, E; Zhou, L; Kong, D; Qin, J. 2014. Agronomic and ecological evaluation on growing water-saving and drought-resistant rice (*Oryza Sativa L.*) Through drip irrigation. *Journal of Agricultural Science* 6(5):110-119 p.
- Ahmadikhah, A; Marufinia, A. 2016. Effect of reduced plant height on drought tolerance in rice. *3 Biotech* 6(2).
- Allen, R; Pereira, L; Raes, D; Smith, M. 2006. Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma, Italia. 298 p. Consultado 20 jul. 2017. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-x0490s.pdf>
- Alou, IN; Steyn, JM; Annandale, JG; Van der Laan, M. 2018. Growth, phenological, and yield response of upland rice (*Oryza sativa L.* cv. Nerica 4) to water stress during different growth stages. *Agricultural Water Management* 198:39-52 p.
- Altamirano, L. 2018. Rendimiento del cultivo de arroz con sistema de riego por goteo en la Molina. Tesis Ing Agrícola. Lima, Perú. UNALM. 92 p.
- Álvarez, RC; Solís, SHD; Álvarez, GE; Morejón, R; Polón, R. 2014. Evaluación de cultivares de arroz (*Oryza Sativa L.*) para la práctica de cultivo de rebrote en las condiciones de Cuba. *Cultivos Tropicales* 35(4): 85-91 p.
- Argeta, CE. 2017. Efecto de la humedad de suelo en arroz (*Oryza sativa L.*) bajo el sistema de riego por goteo, a dos densidades de siembra. Tesis Ing. Agrónomo. Zamorano, Honduras. Escuela Agrícola Panamericana. 21 p.

- Baethgen, WE; Martino, DL. 2014. Cambio Climático, Gases de Efecto Invernadero e Implicancias en los Sectores Agropecuario y Forestal del Uruguay (en Línea). Discover the world's research. Consultado 22 ago. 2017. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/260399867_Cambio_Climatico_Gases_de_Efecto_Invernadero_e_Implicancias_en_los_Sectores_Agropecuario_y_Forestal_del_Uruguay.
- Barnabás, B; Jäger, K; Fehér, A. 2008. The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. *Plant, Cell and Environment* 31(1):11-38 p.
- Bhargava, S; Sawant, K. 2013. Drought stress adaptation: metabolic adjustment and regulation of gene expression. *Plant Breeding* 132(1):21-32.
- Blanco, O. 2014. Agronomía del cultivo del arroz en riego por aspersión: variedades, riego, fertilización y control de malas hierbas. Tesis Dr. Lleida-España. Universitat de Lleida. 94 p.
- Bouman, AM. 2012. Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua: Respuesta del rendimiento de los cultivos herbáceos al agua: Arroz. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma, Italia. 109 – 116 p. Consultado 20 jul. 2017. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i2800s.pdf>
- Brown, JW; Hayward, HE; Richards, A; Bernstein, L; Hatcher, JT; Reeve, RC; Richards, LA. 1954. Diagnosis and Improvement of saline and alkali soils. United States Department of Agriculture. Agriculture Handbook No. 60. 79 – 82p.
- Bruzzone, C; Heros, E. 2011. Guía técnica curso – taller manejo integrado en producción y sanidad de arroz; jornada de capacitación UNALM – Agrobanco. Lima, Perú. 40p.
- Chaudhary, RC; Nanda, JS; Tran, DV. 2003. Guía para identificar las limitaciones de campo en la producción de arroz. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma, Italia. Consultado 22 ago. 2017. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/006/y2778s/y2778s04.htm>.
- Cheaney, RL; Jennings, PR. 1975. Problemas en cultivos de arroz en América Latina. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia. 46 – 47p.

- CIAT (Centro Tropical de Agricultura Tropical, CO). 1980. Evaluación de la calidad culinaria y molinera del arroz. Serie 04SR – 07.01. 50 – 60 p.
- CIAT (Centro Tropical de Agricultura Tropical, CO). 1980. Crecimiento y etapas del desarrollo de la planta de arroz. Guía de estudio. Serie 04SR – 05.04. 32 p.
- Echeverría, OA. 2015. Efecto de tres sistemas de riego y dos variedades en el rendimiento de arroz (*Oryza sativa*) bajo dos métodos de siembra. Tesis Ing. Agro. Zamorano, Honduras. Escuela Agrícola Panamericana. 23 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas Para la Agricultura, IT). 2003. Descubrir el Potencial del Agua para la Agricultura: Por qué la productividad del agua es importante para el desafío global del agua. Roma – Italia. Consultado 20 oct. 2018. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/006/y4525s/y4525s06.htm>.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 2011. Ahorrar para crecer: Guía para los responsables de las políticas de intensificación sostenible de la producción agrícola en pequeña escala. Roma - Italia. Consultado 24 de nov. 2018. 1-116 p. Disponible en <http://www.fao.org/3/a-i2215s.pdf>.
- Fernandez, R; Yruela, MC. Milla, M; Garcia, JP; Oyonarte, NA; Ávila, R; Gavilán, P. 2010. Manual de riego para agricultores: Riego Localizado. Junta de Andalucía. Sevilla, España. 155 p. Módulo 4.
- Gupta, N; Gupta, S; Kumar, A. 2001. Effect of water stress on physiological attributes and their relationship with growth and yield of wheat cultivars at different stages. *Journal of Agronomy and Crop* 186: 55-62 p.
- He, HB; Yang, R; Wu, LQ; Jia, B; Ma, FY. 2016. The growth characteristics and yield potential of rice (*Oryza sativa*) under non-flooded irrigation in arid region. *Annals of Applied Biology* 168(3):337-356 p.
- Heros, AE. 2012. Manual Técnico de Manejo Integrado del arroz. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 33 – 34 p.

- Heros, E; Gómez, L; Sosa, G. 2017. Utilización de los índices de selección en la identificación de genotipos de arroz (*Oryza sativa* L.) tolerantes a sequía. *Producción Agropecuaria y Desarrollo Sostenible* 2(0). 11-31 p.
- INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática, PE). 2013. Resultados definitivos IV censo agropecuario 2012. Lima, Perú. 62 p.
- INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática, PE). 2017. Encuesta nacional de presupuestos familiares (en línea). Lima, Perú. Consultado el 18 ago. 2017. Disponible en <https://www.inei.gob.pe/>.
- IRRI (Instituto Internacional de Investigación del Arroz). 2018. IRRI water science. (en línea). Filipinas. Consultado el 5 de julio 2018. Disponible en <http://irri.org/our-work/research/rice-and-the-environment/irri-water-science>.
- Izarra, WJ; López, FM. 2011. Manual de observaciones fenológicas. SENAMHI. Lima, Perú. 99 p.
- Jabran, K; Chauhan, BS. 2015. Weed management in aerobic rice systems. *Crop Protection* 78:151-163 p.
- Kadiyala, MDM; Mylavarapu, RS; Li, YC; Reddy, GB; Reddy, MD. 2012. Impact of aerobic rice cultivation on growth, yield, and water productivity of rice–maize rotation in semiarid tropics. *Agronomy Journal* 104(6):1757.
- Kar, I; Sudhir-Yadav; Mishra, A; Behera, B; Khanda, C; Kumar, V; Kumar, A. 2018. Productivity trade-off with different water regimes and genotypes of rice under non-puddled conditions in Eastern India. *Field Crops Research* 222(Oct):218-229.
- Kukal, SS; Hira, GS; Sidhu, AS. 2005. Soil matric potential-based irrigation scheduling to rice (*Oryza sativa*). *Irrigation Science* 23(4):153-159 p.
- Kumar, A; Nayak, AK; Pani, DR; Das, BS. 2017. Physiological and morphological responses of four different rice cultivars to soil water potential based deficit irrigation management strategies (en línea). *Field Crops Research* 205:78-94 p.
- Kumar, R; Rana, NS; Saharawat, YS; Mishra, A; Kumar, V; Gathala, MK; Kumar, R; Dwivedi, A. 2017. Improvement in water productivity without yield penalty of direct seeded rice

- under micro irrigation systems and tillage options in indo-genetic plain of India. *Int. J. Pure App. Biosci* 5(1). 147-155 p.
- Lagos, LO; Lama, W; Hirzel, J; Souto, C; Lillo, M. 2017. Evaluación de riego deficitario controlado sobre la producción de kiwi (*Actinidia deliciosa*). *Agrociencia* 51(4):359-372 p.
- MINSA (Ministerio de Salud - Dirección General de Salud Ambiental, PE). 2011. Plan de Implementación de la Estrategia de Riego con Secas Intermitentes en el Cultivo de Arroz para el Control Vectorial de la Malaria en Regiones Priorizadas del Perú (en línea):35 p. Consultado el 10 de jul del 2018. Disponible en <http://www.minsa.gob.pe/bvsminsa.asp>.
- Miranda, C. 2009. Tecnología de manejo del arroz. INIA. Estación Experimental Agraria Santa Ana. Revisión e impresión UEA-EEA Santa Ana-INIA.Tingo María, Perú. 03-04 p.
- Mori, A. 2015. Efecto de cinco láminas de riego en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd), mediante el riego por goteo. Tesis Ing Agrícola. Lima-Perú. UNALM. 92 p.
- Olmos, S. 2006. Apunte de morfología, fenología, ecofisiología y mejoramiento genético en arroz. Cátedra de Cultivos II Facultad de Ciencias Agrarias, UNNE. Corrientes, Argentina. 13 p.
- Paredes, M. Becerra, V. 2015. Producción de arroz: buenas prácticas agrícolas (BPA). Instituto de investigaciones agropecuarias. Santiago, Chile. Gráfica andes impresores. 100 p. Boletín INIA N° 306.
- Parthasarathi, T; Vanitha, K; Lakshamanakumar, P; Kalaiyarasi, D. 2012. Aerobic rice-mitigating water stress for the future climate change. *International journal of Agronomy and Plant Production* 3(7):241-254 p.
- Parthasarathi, T; Mohandass, S; Senthilvel, S. 2013. Effect of drip irrigation syatems on yield of aerobic rice. *Environment & Ecology* 31 (4A) :1826-1829 p.
- Parthasarathi, T; Vanitha, K; Mohandass, S; Vered, E; Meenakshi, V; Selvakumar, D; Surendran, A; Lazarovitch, N. 2016. Effect of Drip Irrigation on Growth, Physiology, Yield and Water Use of Rice (en línea). *Journal of Agricultural Science* 9(1):154 p.
- Pizarro, F. 1996. Riegos localizados de altas frecuencias (RALF) goteo, microaspersión, exudación. Ediciones Mundi-Prensa. España. 183-210 p. Tercera Edición.

- Prasad, R. 2011. Aerobic rice Systems. *Advances in Agronomy*, vol.111: 207-247 p.
- Qun, Z; Cheng-xin, J; Zhi-qin, W; Hao, Z; Jian-chang, L; Jian-chang, Y; Jian-hua, Z. 2017. Grain yield and water use efficiency of super rice under soil water deficit and alternate wetting and drying irrigation. *Journal of Integrative Agriculture*. *Journal of Integrative Agriculture* 16(5): 1028–1043 p.
- Rajwade, YA; Swain, DK; Tiwari, KN. 2014. Subsurface drip irrigation for wet season rice production under climate variability in india *Agriculture: Towards a New Paradigm of Sustainability* ISBN: 978-93-83083-64-0. 293-300 p.
- Rao, VP; Devi, MU; Kumar, KA. 2016. Evaluation of drip irrigation and fertigation levels in aerobic rice for higher water productivity. *Chiang Mai, Thailand*:6-8p.
- Roel, A. 1999. Riego en arroz: manejo eficiente de la inundación. Unidad de difusión e información tecnológica del INIA. Montevideo, Uruguay. 16 p.
- Ruiz, M; Muñoz, Y; Dell'Ámico, JM; Cabrera, JA; Aroca, R; Ruiz, JM. 2017. Respuesta de la planta de arroz (*Oryza sativa* L.) a la suspensión de la lámina de agua en tres momentos de su desarrollo. parte 1. *Cultivos Tropicales* 38(2):61-69 p.
- SAG (Secretaria de agricultura y ganadería, HN); DICTA (Dirección de ciencia y tecnología agropecuaria, HN). 2003. Manual técnico para el cultivo de arroz (*Oryza Sativa* L.). Conagua, Honduras. 59 p.
- Sánchez, B; Rasmussen, A; Porter, JR. 2014. Temperatures and the growth and development of maize and rice: A review. *Global Change Biology* 20(2): 408-417 p.
- Sánchez, GP. 2012. Consideraciones generales para interpretación de análisis de suelos. 19 p.
- Semillas el Potrero. 2018. Catálogo de productos de Semilla el Potrero (en línea). Perú. Consultado el 7 de nov. 2018. Disponible en <https://www.molicom.com.pe/semillas/web/secciones/productos.php>.
- SIEA (Sistema integrado de estadísticas agrarias, PE). MINAGRI (Ministerio de agricultura y riego, PE). 2018. Tabla de Excel Anuario de producción agrícola 2017. Lima, Perú. Consultado 19 ago. 2018. Disponible en <http://siea.minag.gob.pe/siea/?q=anuario-estadistico-de-produccion-agricola-2017>.

- Soman, P. 2012. Drip irrigation and fertigation technology for rice cultivation. Asian Irrigation Forum 2012.
- Studeto, P; Hsiao, T; Fereres, E; Raes D. 2012. Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua: Respuesta del rendimiento de los cultivos herbáceos al agua: el modelo de simulación AquaCrop. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 15-52 p.
- Torres, R.O; Henry, A. 2018. Yield stability of selected rice breeding lines and donors across conditions of mild to moderately severe drought stress. Field Crops Research 220: 37-45 p.
- Vanitha, K; Mohandass, S. 2014. Effect of humic acid on plant growth characters and grain yield of drip fertigated aerobic rice (*Oryza Sativa* L.). The bioscan 9(1):45-50.
- Viruez, J; Taboada, R. 2013. Producción de arroz en Bolivia: conocimiento técnico para un manejo eficiente y rentable. Centro de Investigación Agrícola Tropical. Santa cruz de la sierra, Bolivia. 113 p.
- Xiao, X; Zhao, YW; Hu, F. 2008. Comparison of the function of different water-saving rice cultivation systems in the seasonal-drought hilly region of southern China. Journal of Sustainable Agriculture 32(3):463-482 p.
- Zhang, X. Bai, R. Chen, L; Wei, G; Wei, C. 2016. Effect of salinity and soil temperature on the growth and physiology of drip-irrigated rice seedlings. Archives of Agronomy and Soil Science 63(4): 513-524 p.
- Zain, NAM; Ismail, MR; Puteh, A; Mahmood, M; Islam, MR. 2014. Impact of cyclic water stress on growth, physiological responses and yield of rice (*Oryza Sativa* L.) grown in tropical environment. Ciência Rural 44(12):2136-2141 p.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1: Análisis de agua: a) Reservoirio AER; b) Reservoirio UNALM

a) Análisis de agua reservoirio AER

	UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO Av. La Molina s/n. Telefax: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe	
		Nº 008372
ANALISIS DE AGUA - RUTINA		
SOLICITANTE	: DRA. LIA RAMOS FERNANDEZ	
PROCEDENCIA	: Lima - ADYAER (Area Demostrativa y Area Experimental de Riego)	
RESPONSABLE ANALISIS	: Ing. Nore Arévalo Flores	
FECHA DE ANALISIS	: La Molina, 27 de Noviembre de 2017	
Nº LABORATORIO	8372	
Nº DE CAMPO	M-1	
CE dS/m	0.63	
pH	7.40	
Calcio meq/l	4.60	
Magnesio meq/l	0.65	
Sodio meq/l	0.91	
Potasio meq/l	0.10	
SUMA DE CATIONES	6.25	
Cloruro meq/l	0.98	
Sulfato meq/l	2.70	
Bicarbonato meq/l	2.80	
Nitratos meq/l	0.00	
Carbonatos meq/l	0.00	
SUMA DE ANIONES	6.49	
SAR	0.56	
CLASIFICACION	C2-S1	
Boro ppm	0.02	
Dureza total mgCaCO₃/L	156.81	
Alcalinidad total mgCaCO₃/L	140.19	
Sólidos suspendidos mg/L	6.00	
Turbidez mg/L	10.20	
LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO Ing. Msc. Teresa Velásquez Bejarano JEFE DE LABORATORIO		
		

b) Análisis de agua reservorio UNALM (campo ferial)



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
 DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
 LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
 Av. La Molina s/n Teléfono: 614 7800 Anexo 226 Lima Email: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 009022

ANÁLISIS DE AGUA - RUTINA

SOLICITANTE : GERARDO FRISANCHO LARICO
PROYECTO : " EFECTO DEL MANEJO DEL RIEGO BAJO INUNDACIÓN Y SECAS EN LA EMISIÓN DE GASES DE INVERNADERO DEL ARROZ EN EL ADRYD"
PROCEDENCIA : Reservorio - Campo Ferial
RESPONSABLE ANÁLISIS : Ing. Nore Arévalo Flores
FECHA DE ANÁLISIS : La Molina, 31 de octubre de 2018

Nº LABORATORIO	9022
Nº DE CAMPO	Agua
CE mmhos/cm	0.62
pH	8.16
Calcio meq/l	4.53
Magnesio meq/l	0.66
Sodio meq/l	0.83
Potasio meq/l	0.13
SUMA DE CATIONES	6.14
Cloruro meq/l	0.92
Sulfato meq/l	3.38
Bicarbonato meq/l	1.73
Nitratos meq/l	0.01
Carbonatos meq/l	0.00
SUMA DE ANIONES	6.04
SAR	0.51
CLASIFICACION	C2-S1
Boro mg/L	0.11

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO	
Ing. Msc. Miguel A. Sanchez Delgado	
JEFE DE LABORATORIO	



ANEXO 2: Análisis de suelo



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH

LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO

Av. La Molina s/n Teléfono: 614 7800 Anexo 226 Lima Email: las-fia@lamolina.edu.pe

Análisis de Suelo - Salinidad y Sodicidad



SOLICITANTE : DRA. LIA RAMOS FERNANDEZ
PROCEDENCIA : Lima - ADYAER (Area Demostrativa y Area Experimental de Riego)
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 27 de Noviembre de 2017

Número de muestra		CE dS / m Relación 1:1	Análisis Mecánico				pH Relación 1:1	MO %	P ppm	K ₂ O ppm	CaCO ₃ %	Cambiables					
Lab.	Campo		Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura						CTC TOTAL	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Al ³⁺ +H ⁺
												Cmol (+) / Kg					
13412	M-1	1.81	62.56	22.00	15.44	Franco arenoso	7.67	2.75	50.85	368.00	1.09	10.94	8.65	1.61	0.08	0.60	-

MUESTRA		Saturación %	pH Suelo : Agua 1:3	C.E. dS/m 1:3	CATIONES SOLUBLES (meq/l)				SUMA	Cl ⁻	ANIONES SOLUBLES (meq/l)				SUMA	Yeso Soluble %	Boro Soluble ppm
Lab	Campo				Ca ⁺⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺			SO ₄ ⁼⁼	CO ₃ ⁼⁼	HCO ₃ ⁺	NO ₃			
13412	M-1	44.50	7.41	2.86	17.55	5.50	1.54	3.91	28.50	16.92	6.52	0.00	5.15	0.06	28.65	0.07	0.16

Parametros Hidricos	
Cc (%)	15.03
Pm (%)	7.83

goteo.

LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO
 Ing. Msc. Teresa Velásquez Bejarano
 JEFE DE LABORATORIO



ANEXO 3: Análisis de los parámetros hídricos del suelo



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : ING. LIA RAMOS FERNÁNDEZ
PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ LA MOLINA
REFERENCIA : H.R. 58706
BOLETA : 351
FECHA : 02/06/2017

Lab	Número Muestra	C.C.	P.M.
	Claves	%	%
4029		23.34	13.08



[Signature]
Dr. Sady García Bendezú
Jefe del Laboratorio

ANEXO 4: Tiempo de riego y lámina diaria aplicada

Fecha	Tiempo de riego (min)				Caudal (l min ⁻¹)	Agua regada (l día ⁻¹)				Lámina (mm día ⁻¹)			
	T0	T1	T2	T3		T0	T1	T2	T3	T0	T1	T2	T3
13/12/2017	25	25	25	25	0.068	204	204	204	204	13.6	13.6	13.6	13.6
14/12/2017	20	20	20	20	0.068	163.2	163.2	163.2	163.2	10.88	10.88	10.88	10.88
15/12/2017	15	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
16/12/2017	15	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
17/12/2017	15	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
18/12/2017	15	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
19/12/2017	15	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
20/12/2017	15	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
21/12/2017	15	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
22/12/2017	15	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
23/12/2017	15	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
24/12/2017	15	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
26/12/2017	20	20	20	20	0.068	163.2	163.2	163.2	163.2	10.88	10.88	10.88	10.88
27/12/2017	15	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
28/12/2017	15	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
29/12/2017	15	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
30/12/2017	15	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
31/12/2017	15	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
1/01/2018	15	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
2/01/2018	15	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
3/01/2018	15	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
5/01/2018	15	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
6/01/2018	15	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
8/01/2018	20	20	20	20	0.068	163.2	163.2	163.2	163.2	10.88	10.88	10.88	10.88
9/01/2018	15	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
10/01/2018	15	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
11/01/2018	15	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
12/01/2018	15	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
13/01/2018	15	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
14/01/2018	15	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
15/01/2018	15	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
16/01/2018	15	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
17/01/2018	15	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
18/01/2018	15	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
19/01/2018	15	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
20/01/2018	15	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
21/01/2018	15	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
22/01/2018	15	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
23/01/2018	15	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
24/01/2018	15	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
25/01/2018	15	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
26/01/2018	15	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
27/01/2018	15	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
28/01/2018	15	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
29/01/2018	15	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
30/01/2018	15	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
31/01/2018	15	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
1/02/2018	20	20	20	20	0.068	163.2	163.2	163.2	163.2	10.88	10.88	10.88	10.88
2/02/2018	15				0.068	122.4				8.16			
3/02/2018	20				0.068	163.2				10.88			
4/02/2018		10			0.068		81.6				5.44		
5/02/2018		20			0.068		163.2				10.88		
6/02/2018	20		20		0.068	163.2		163.2		10.88		10.88	
7/02/2018		20		20	0.068		163.2		163.2		10.88		10.88
8/02/2018	20	20			0.068	163.2	163.2			10.88	10.88		
10/02/2018	10		15	15	0.068	81.6		122.4	122.4	5.44		8.16	8.16
12/02/2018	15	20	20		0.068	122.4	163.2	163.2		8.16	10.88	10.88	
13/02/2018	15				0.068	122.4				8.16			

14/02/2018	15		20	0.068	122.4			163.2	8.16			10.88
Continuación												
15/02/2018	15	20		0.068	122.4	163.2			8.16	10.88		
16/02/2018			20	0.068			163.2					10.88
17/02/2018	20			0.068	163.2				10.88			
18/02/2018												
19/02/2018	20	20		0.068	163.2	163.2			10.88	10.88		
20/02/2018	15		20	0.068	122.4		163.2	163.2	8.16		10.88	10.88
21/02/2018	15	20		0.068	122.4	163.2			8.16	10.88		
22/02/2018	15		20	0.068	122.4		163.2		8.16			10.88
23/02/2018	15	20		0.068	122.4	163.2		163.2	8.16	10.88		10.88
24/02/2018	20	20	20	0.068	163.2	163.2	163.2		10.88	10.88	10.88	
25/02/2018												
26/02/2018	20	20	20	0.068	163.2	163.2	163.2	163.2	10.88	10.88	10.88	10.88
27/02/2018	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4		8.16	8.16	8.16	
28/02/2018	20	20	20	0.068	163.2	163.2	163.2	122.4	10.88	10.88	10.88	8.16
2/03/2018	20	20	20	0.068	163.2	163.2	163.2	163.2	10.88	10.88	10.88	10.88
3/03/2018	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
5/03/2018	20	20	20	0.068	163.2	163.2	163.2	163.2	10.88	10.88	10.88	10.88
6/03/2018	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
7/03/2018	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
8/03/2018	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
9/03/2018	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
10/03/2018	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
11/03/2018	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
13/03/2018	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
14/03/2018	10	10	10	0.068	81.6	81.6	81.6	81.6	5.44	5.44	5.44	5.44
15/03/2018	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
16/03/2018	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
17/03/2018	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
18/03/2018	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
20/03/2018	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
21/03/2018	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
22/03/2018	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
23/03/2018	10	10	10	0.068	81.6	81.6	81.6	81.6	5.44	5.44	5.44	5.44
24/03/2018	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
25/03/2018	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
26/03/2018	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
27/03/2018	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
28/03/2018	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
29/03/2018	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
30/03/2018	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
31/03/2018	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
1/04/2018	10	10	10	0.068	81.6	81.6	81.6	81.6	5.44	5.44	5.44	5.44
2/04/2018	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
3/04/2018	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
4/04/2018	10	10	10	0.068	81.6	81.6	81.6	81.6	5.44	5.44	5.44	5.44
5/04/2018	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
6/04/2018	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
7/04/2018	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
8/04/2018	9	9	9	0.068	73.44	73.44	73.44	73.44	4.896	4.896	4.896	4.896
9/04/2018	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
10/04/2018	15	15	15	0.068	122.4	122.4	122.4	122.4	8.16	8.16	8.16	8.16
11/04/2018	10	10	10	0.068	81.6	81.6	81.6	81.6	5.44	5.44	5.44	5.44
12/04/2018	10	10	10	0.068	81.6	81.6	81.6	81.6	5.44	5.44	5.44	5.44
13/04/2018	10	10	10	0.068	81.6	81.6	81.6	81.6	5.44	5.44	5.44	5.44
14/04/2018	10	10	10	0.068	81.6	81.6	81.6	81.6	5.44	5.44	5.44	5.44
21/04/2018	20	20	20	0.068	163.2	163.2	163.2	163.2	10.88	10.88	10.88	10.88
23/04/2018	20	20	20	0.068	163.2	163.2	163.2	163.2	10.88	10.88	10.88	10.88
Total por tratamiento					13782	13170	12721	12232	918.82	878.02	848.1	815.46
Volumen total (m³ ha⁻¹)					9188.2	8780.2	8481	8154.6	9188.2	8780.2	8481	8154.6

FUENTE: Elaboración propia

ANEXO 5: Análisis de la varianza para el rendimiento del arroz t ha⁻¹

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamiento	30.5869	3	10.1956	2.58	0.1495
B:Bloque	19.5904	2	9.79521	2.47	0.1645
RESIDUOS	23.7488	6	3.95813		
TOTAL (CORREGIDO)	73.9261	11			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

FUENTE: Elaborado con el programa estadístico STATGRAPHICS 18

ANEXO 6: Análisis de la varianza para el número de panojas por m²

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamiento	29427.7	3	9809.22	2.81	0.1305
B:Bloque	30324.7	2	15162.3	4.34	0.0683
RESIDUOS	20967.3	6	3494.56		
TOTAL (CORREGIDO)	80719.7	11			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

FUENTE: Elaborado con el programa estadístico STATGRAPHICS 18

ANEXO 7: Resumen estadístico para el número de macollos por m²

Tratamiento	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación (%)	Mínimo	Máximo
T0	3	548.0	147.5	26.91	429.0	713.0
T1	3	533.7	88.7	16.62	442.0	619.0
T2	3	450.0	83.6	18.59	373.0	539.0
T3	3	410.7	71.7	17.45	334.0	476.0

FUENTE: Elaborado con el programa estadístico STATGRAPHICS 18

ANEXO 8: Análisis de la varianza para el número de macollos por m²

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamiento	39259.6	3	13086.5	2.00	0.2150
B:Bloque	44310.2	2	22155.1	3.39	0.1034
RESIDUOS	39185.2	6	6530.86		
TOTAL (CORREGIDO)	122755.	11			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

FUENTE: Elaborado con el programa estadístico STATGRAPHICS 18

ANEXO 9: Resumen estadístico para macollos efectivos por m²

Tratamiento	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coficiente de Variación (%)	Mínimo	Máximo
T0	3	72.0	5.0	6.95	67.18	77.15
T1	3	72.9	5.6	7.70	67.96	79.00
T2	3	65.9	6.8	10.29	58.98	72.54
T3	3	68.6	4.0	5.85	64.67	72.69

FUENTE: Elaborado con el programa estadístico STATGRAPHICS 18

ANEXO 10: Análisis de la varianza para macollos efectivos por m²

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamiento	92.1515	3	30.7172	1.03	0.4431
B:Bloque	58.5863	2	29.2931	0.98	0.4271
RESIDUOS	178.661	6	29.7769		
TOTAL (CORREGIDO)	329.399	11			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

FUENTE: Elaborado con el programa estadístico STATGRAPHICS 18

ANEXO 11: Análisis de la varianza para el número de granos llenos

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamiento	38669.4	3	12889.8	6.31	0.0003
B:Bloque	24348.8	2	12174.4	5.96	0.0026
RESIDUOS	4.11962E6	2017	2042.45		
TOTAL (CORREGIDO)	4.1822E6	2022			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

FUENTE: Elaborado con el programa estadístico STATGRAPHICS 18

ANEXO 12: Resumen estadístico para el número de granos vacíos

Tratamiento	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coficiente de Variación (%)	Mínimo	Máximo
T0	501	18.5	16.1	86.99	0	104.0
T1	512	19.7	18.6	94.34	0	132.0
T2	507	16.9	15.7	92.60	0	122.0
T3	503	18.79	19.1	101.51	0	137.0

FUENTE: Elaborado con el programa estadístico STATGRAPHICS 18

ANEXO 13: Análisis de la varianza para el número de granos vacíos

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamiento	2017.51	3	672.502	2.27	0.0785
B:Bloque	15414.2	2	7707.12	26.03	0.0000
RESIDUOS	597307.	2017	296.137		
TOTAL (CORREGIDO)	614751.	2022			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

FUENTE: Elaborado con el programa estadístico STATGRAPHICS 18

ANEXO 14: Resumen estadístico para el número de granos totales

Tratamiento	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación (%)	Mínimo	Máximo
T0	501	134.8	48.2	35.76	32.0	308.0
T1	512	137.2	48.8	35.58	24.0	277.0
T2	507	130.7	44.0	33.65	32.0	337.0
T3	503	125.1	44.3	35.40	24.0	254.0

FUENTE: Elaborado con el programa estadístico STATGRAPHICS 18

ANEXO 15: Análisis de la varianza para el número de granos totales

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamiento	42769.1	3	14256.4	6.67	0.0002
B:Bloque	34220.5	2	17110.3	8.01	0.0003
RESIDUOS	4.31024E6	2017	2136.96		
TOTAL (CORREGIDO)	4.38706E6	2022			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

FUENTE: Elaborado con el programa estadístico STATGRAPHICS 18

ANEXO 16: Prueba de Kruskal-Wallis para Nro. de granos llenos y totales por panícula para intervalos de confianza de 95 por ciento

Contraste	Número de granos llenos			Número de granos totales por panícula		
	Sig.	Diferencia	+/- Límites	Sig.	Diferencia	+/- Límites
T0 - T1		-22.3825	96.8459		-35.7368	96.8459
T0 - T2		18.6024	97.0818		40.9713	97.0818
T0 - T3	*	115.248	97.2735	*	106.319	97.2735
T1 - T2		40.9849	96.5559		76.7081	96.5559
T1 - T3	*	137.631	96.7486	*	142.056	96.7486
T2 - T3		96.6457	96.9847		65.3474	96.9847

* indica una diferencia significativa.

FUENTE: Elaborado con el programa estadístico STATGRAPHICS 18

ANEXO 17: Análisis de la varianza para el peso de mil granos llenos (gr)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamiento	4.5424	3	1.51413	0.52	0.6813
B:Bloque	0.70685	2	0.353425	0.12	0.8869
RESIDUOS	17.3184	6	2.88639		
TOTAL (CORREGIDO)	22.5676	11			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

FUENTE: Elaborado con el programa estadístico STATGRAPHICS 18

ANEXO 18: Análisis de la varianza de la altura de planta en tres momentos del cultivo:

a) Inicio de secas; b) final de secas; c) En la cosecha

a) Inicio de secas

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamiento	1047.02	3	349.007	7.95	0.0002
B:Bloque	1321.92	2	660.961	15.06	0.0000
RESIDUOS	8687.22	198	43.8748		
TOTAL (CORREGIDO)	11056.2	203			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

FUENTE: Elaborado con el programa estadístico STATGRAPHICS 18

b) Final de las secas

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamiento	6623.73	3	2207.91	45.55	0.0000
B:Bloque	1561.09	2	780.544	16.10	0.0000
RESIDUOS	9598.01	198	48.4748		
TOTAL (CORREGIDO)	17782.8	203			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

FUENTE: Elaborado con el programa estadístico STATGRAPHICS 18

c) En la cosecha

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamiento	3924.33	3	1308.11	29.92	0.0000
B:Bloque	803.569	2	401.784	9.19	0.0002
RESIDUOS	8657.73	198	43.7259		
TOTAL (CORREGIDO)	13385.6	203			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

FUENTE: Elaborado con el programa estadístico STATGRAPHICS 18

ANEXO 19: Prueba de Tukey HSD para la altura de planta en tres momentos del cultivo: a) Inicio de secas; b) final de secas; c) En la cosecha

Contraste	Inicio de secas			Final de secas			Cosecha		
	Sig.	Diferencia	± Límites	Sig.	Diferencia	± Límites	Sig.	Diferencia	± Límites
T0 - T1		0.43	3.6294	*	7.12	3.57229	*	7.00	3.52868
T0 - T2	*	5.43	3.6294	*	12.14	3.57229	*	8.98	3.52868
T0 - T3	*	3.71	3.6294	*	15.02	3.57229	*	11.90	3.52868
T1 - T2	*	5.00	3.6294	*	5.02	3.57229		1.98	3.52868
T1 - T3		3.27	3.6294	*	7.90	3.57229	*	4.90	3.52868
T2 - T3		-1.73	3.6294		2.88	3.57229		2.92	3.52868

* indica una diferencia significativa.

FUENTE: Elaborado con el programa estadístico STATGRAPHICS 18

ANEXO 20: Análisis de la varianza para el número de macollos por planta en tres momentos del cultivo: a) Inicio de secas; b) final de secas; c) En la cosecha

a) Inicio de secas

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamiento	882.054	3	294.018	3.71	0.0126
B:Bloque	2795.68	2	1397.84	17.62	0.0000
RESIDUOS	15705.8	198	79.3223		
TOTAL (CORREGIDO)	19383.5	203			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

FUENTE: Elaborado con el programa estadístico STATGRAPHICS 18

b) Final de secas

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamiento	1490.92	3	496.974	3.19	0.0247
B:Bloque	4054.3	2	2027.15	13.02	0.0000
RESIDUOS	30816.3	198	155.638		
TOTAL (CORREGIDO)	36361.5	203			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

FUENTE: Elaborado con el programa estadístico STATGRAPHICS 18

c) En la cosecha

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamiento	2678.22	3	892.739	8.18	0.0000
B:Bloque	4143.65	2	2071.82	18.99	0.0000
RESIDUOS	21602.3	198	109.103		
TOTAL (CORREGIDO)	28424.2	203			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

FUENTE: Elaborado con el programa estadístico STATGRAPHICS 18

ANEXO 21: Prueba de Tukey HSD para el número de macollos por planta en tres momentos del cultivo: a) Inicio de secas; b) final de secas; c) En la cosecha

Contraste	Inicio de secas			Final de secas			Cosecha		
	Sig.	Diferencia	± Límites	Sig.	Diferencia	± Límites	Sig.	Diferencia	± Límites
T0 - T1		1.24	4.93446		-4.27	6.77433		-0.10	5.82091
T0 - T2	*	5.31	4.93446		-0.37	6.77433		4.82	5.82091
T0 - T3		3.75	4.93446		3.35	6.77433	*	8.57	5.82091
T1 - T2		4.08	4.93446		3.90	6.77433		4.92	5.82091
T1 - T3		2.51	4.93446	*	7.63	6.77433	*	8.67	5.82091
T2 - T3		-1.57	4.93446		3.73	6.77433		3.75	5.82091

* indica una diferencia significativa.

FUENTE: Elaborado con el programa estadístico STATGRAPHICS 18

ANEXO 22: Análisis de la varianza para el tamaño de panícula (cm)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamiento	833.371	3	277.79	26.59	0.0000
B:Bloque	270.783	2	135.392	12.96	0.0000
RESIDUOS	51959.5	4974	10.4462		
TOTAL (CORREGIDO)	53103.3	4979			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

FUENTE: Elaborado con el programa estadístico STATGRAPHICS 18

ANEXO 23: Prueba de Kruskal-Wallis para el tamaño de panícula (cm) con intervalos de confianza del 95 por ciento

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
T0 - T1		-76.2576	146.89
T0 - T2	*	195.265	154.291
T0 - T3	*	412.684	156.504
T1 - T2	*	271.523	148.853
T1 - T3	*	488.942	151.145
T2 - T3	*	217.419	158.348

* indica una diferencia significativa.

FUENTE: Elaborado con el programa estadístico STATGRAPHICS 18

ANEXO 24: Resumen estadístico para el porcentaje de llenado (%)

Tratamiento	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación (%)	Mínimo	Máximo
T0	501	85.50	11.91	13.93	28.95	100.0
T1	512	84.79	13.47	15.88	7.41	100.0
T2	507	86.47	11.58	13.39	5.21	100.0
T3	503	84.39	14.11	16.72	15.93	100.0

FUENTE: Elaborado con el programa estadístico STATGRAPHICS 18

ANEXO 25: Análisis de la varianza para el porcentaje de llenado (%)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamiento	1261.3	3	420.434	2.61	0.0500
B:Bloque	6576.87	2	3288.43	20.41	0.0000
RESIDUOS	324935.	2017	161.098		
TOTAL (CORREGIDO)	332765.	2022			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

FUENTE: Elaborado con el programa estadístico STATGRAPHICS 18

ANEXO 26: Análisis de la varianza para la profundidad de la raíz (cm)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamiento	6.22917	3	2.07639	0.36	0.7811
B:Bloque	3.875	2	1.9375	0.34	0.7156
RESIDUOS	241.208	42	5.74306		
TOTAL (CORREGIDO)	251.313	47			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

FUENTE: Elaborado con el programa estadístico STATGRAPHICS 18

ANEXO 27: Análisis de la varianza para la relación de biomasa aérea con peso de raíz

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	505.254	3	168.418	5.17	0.0038
Intra grupos	1433.09	44	32.5703		
Total (Corr.)	1938.35	47			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

FUENTE: Elaborado con el programa estadístico STATGRAPHICS 18

ANEXO 28: Prueba de Tukey HSD para relación de biomasa aérea con peso de raíz

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
T0 - T1		5.26689	6.22135
T0 - T2		4.11847	6.22135
T0 - T3	*	9.1022	6.22135
T1 - T2		-1.14842	6.22135
T1 - T3		3.83531	6.22135
T2 - T3		4.98373	6.22135

* indica una diferencia significativa.

FUENTE: Elaborado con el programa estadístico STATGRAPHICS 18

ANEXO 29: Análisis de la varianza para el índice de cosecha (%)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamiento	203.565	3	67.8551	2.03	0.2117
B:Bloque	111.516	2	55.7582	1.67	0.2658
RESIDUOS	200.847	6	33.4745		
TOTAL (CORREGIDO)	515.929	11			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

FUENTE: Elaborado con el programa estadístico STATGRAPHICS 18

ANEXO 30: Análisis de la varianza para calidad molinera: a) Granos quebrados (%); b) Granos enteros (%); c) Rendimiento de molinería (%).

a) Granos quebrados (%)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamientos	22.5625	3	7.52083	0.81	0.5324
B:Bloque	10.0417	2	5.02083	0.54	0.6078
RESIDUOS	55.625	6	9.27083		
TOTAL (CORREGIDO)	88.2292	11			

b) Granos enteros (%)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamientos	48.5	3	16.1667	1.18	0.3916
B:Bloque	8.79167	2	4.39583	0.32	0.7364
RESIDUOS	81.875	6	13.6458		
TOTAL (CORREGIDO)	139.167	11			

c) Rendimiento de molinería (%)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamientos	5.89583	3	1.96528	3.11	0.1101
B:Bloque	0.0416667	2	0.0208333	0.03	0.9677
RESIDUOS	3.79167	6	0.631944		
TOTAL (CORREGIDO)	9.72917	11			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

FUENTE: Elaborado con el programa estadístico STATGRAPHICS 18

ANEXO 31: Análisis de la varianza para la productividad del agua (kg m⁻³)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamiento	0.2504	3	0.0840076	1.65	0.2759
B:Bloque	0.2602	2	0.130103	2.55	0.1580
RESIDUOS	0.3062	6	0.0510361		
TOTAL (CORREGIDO)	0.8184	11			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

FUENTE: Elaborado con el programa estadístico STATGRAPHICS 18

ANEXO 32: Panel fotográfico de acondicionamiento del campo, instalación del sistema de riego y almacigo de arroz.



a) Marcado de parcelas experimentales



b) Prueba de bulbo húmedo



c) Instalación de laterales de riego



d) Germinación de las semillas de arroz



e) Plántulas de arroz en el almacigo



f) Prueba de coeficiente de uniformidad

FUENTE: Elaboración propia

ANEXO 33: Panel fotográfico del cultivo de arroz desde trasplante hasta macollamiento



a) Almacigo listo para el trasplante



b) Medición de altura de plántula



c) Trasplante del cultivo de arroz



d) Cultivo totalmente trasplantado



e) Inicio de la etapa de macollamiento



f) Cultivo de arroz en macollamiento

FUENTE: Elaboración propia

ANEXO 34: Panel fotográfico del cultivo de arroz desde la fase reproductiva hasta maduración



a) Cultivo de arroz en punto de algodón



b) Cultivo de arroz antes de floración



c) El cultivo de arroz en floración



d) Panícula en maduración



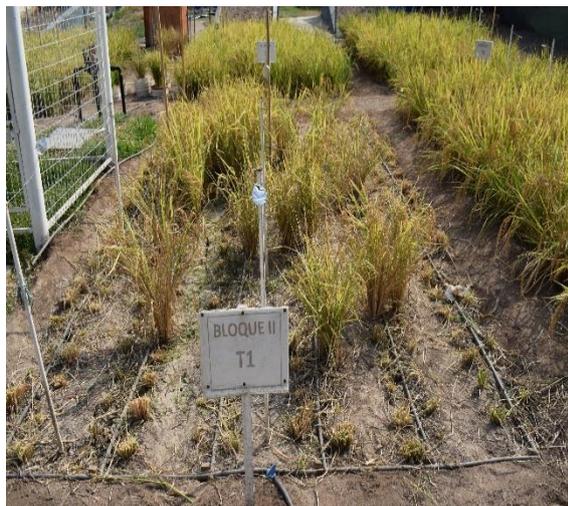
e) Vista de todas las parcelas experimentales en la etapa de maduración

FUENTE: Elaboración propia

ANEXO 35: Panel fotográfico de la cosecha del arroz IR71706 y evaluaciones realizadas



a) Grano seco listo para cosechar



b) Cosecha de arroz



c) Medición de altura de planta



d) Corte y embolsado de panículas



e) Medición de la longitud de la panícula



f) Panículas, granos con cascara y grano blanco

FUENTE: Elaboración propia