

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERIA AGRÍCOLA



**“RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE ARROZ CON SISTEMA DE
RIEGO POR GOTEJO EN LA MOLINA”**

Presentado por:

BACH. LISETTE ALTAMIRANO GUTIERREZ

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

**Lima – Perú
2018**

DEDICATORIA

A mis padres Maximiliana Gutiérrez Paccha y Víctor Altamirano Fernández por darme su apoyo incondicional para seguir adelante y brindarme su cariño, su confianza en cada paso que doy, por el esfuerzo que hacen cada día para encaminar a la familia, a mis hermanos Yenny, Edison, Wilman, Sonia y mis sobrinos Aracely y Alem por estar siempre a mi lado en mis triunfos, alegrías y tristezas.

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme fuerzas, paciencia, salud y permitirme haber cumplido uno de mis objetivos.

Al apoyo por parte del Área Experimental de Riego por brindarme lo necesario para realizar esta investigación, a la Doc. Lía Ramos Fernández por su paciencia y apoyo en todo momento, al Ing. José Bernardino Arapa Quispe por apoyarme para lograr el presente trabajo.

A cada uno de mis compañeros que me apoyaron y encaminaron este trabajo de investigación.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN

ABSTRACT

I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. OBJETIVO PRINCIPAL.....	2
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
II. REVISIÓN DE LITERARIA.....	3
2.1. CULTIVO DE ARROZ	3
2.1.1. FENOLOGÍA	5
2.2. RIEGO EN EL ARROZ.....	7
2.2.1. Alternancia de humedecimiento y secado	10
2.2.2. Riego por goteo en el arroz	12
2.3. SALINIDAD DEL SUELO EN EL CULTIVO DE ARROZ	14
2.4. HUMEDAD DEL SUELO	15
2.5. MEDICION DE LA HUMEDAD DEL SUELO	16
2.5.1. Método gravimétrico.....	17
2.5.2. Por reflectometría en el dominio del tiempo (TDR 300).....	17
2.5.3. Por reflectometría en el dominio de la frecuencia (FDR GS1).....	18
2.5.4. Por resistencia eléctrica	19
III. MATERIALES Y MÉTODOS	21
3.1. ZONA DE ESTUDIO.....	21
3.1.1. CLIMA	23
3.1.2. Agua de riego.....	23
3.1.3. Suelo y características de la parcela.....	24
3.2. MATERIALES, EQUIPOS Y HERRAMIENTAS	25
3.2.1. Material genético.....	25
3.2.2. Insumos, equipos y herramientas computacionales	26

3.3. PROCEDIMIENTO	26
3.3.1. Acondicionamiento del terreno y instalación del sistema de riego	26
3.3.2. Monitoreo de la humedad del suelo	38
3.3.3. Evaluación experimental de los indicadores agronómicos.....	42
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES	44
4.1. MONITOREO DE LA HUMEDAD DEL SUELO	44
4.1.1. EVALUACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.....	48
4.2. LAMINA DE RIEGO Y VOLUMEN DE AGUA ESTIMADA	50
4.2.1. Coeficiente de uniformidad.....	50
4.2.2. Bulbo de humedecimiento.....	52
4.2.3. Evapotranspiración del cultivo	52
4.2.4. Volumen de agua de riego aplicada	54
4.3. INDICADORES AGRONÓMICOS	56
V. CONCLUSIONES.....	64
VI. RECOMENDACIONES.....	65
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66
VIII. ANEXOS.....	72

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Aumento (+) o disminución (-) en el rendimiento del grano, la eficiencia del uso del agua (EUA), la calidad del grano, contenido de arsénico en el grano (As) y la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) en virtud al humedecimiento y secado alternado (AWD) de riego en relación al riego convencional del arroz (unidad: %).	11
Cuadro 2: Los umbrales para el humedecimiento y secado alterno moderado de riego (moderado AWD) en el arroz.	11
Cuadro 3: El rendimiento de grano y el uso eficiente del agua en el arroz en diferentes tratamientos de riego y nitrógeno.	12
Cuadro 4: Características agronómicas del Arroz (<i>Oryza Stiva</i>) variedad IR-43.	25
Cuadro 5: Listado de insumos, Equipos, Materiales y Materiales computacionales utilizadas durante el periodo del cultivo.	26
Cuadro 6: Calendario agrícola durante todo el periodo del cultivo.	36
Cuadro 7: Resultados de la prueba T- Student para cuantificar el grado de dependencia de los valores promedios de la humedad entre el FDR GS1 y TDR 300 respectivamente con relación a la humedad volumétrica reales.	45
Cuadro 8: Cálculo de las láminas bruta por mes y del volumen utilizado durante el desarrollo del cultivo.	50
Cuadro 9: Datos de evaluación de coeficiente de uniformidad, evaluados mensualmente.	51
Cuadro 10: Evaluación del bulbo de humedecimiento durante el proyecto.	52
Cuadro 11: Dato mensual de evapotranspiración de referencia y coeficiente del cultivo durante toda la temporada del cultivo.	54
Cuadro 12: Volúmenes aplicados en el cultivo de arroz en las diferentes regiones del Perú	55
Cuadro 13: Volúmenes aplicados en diferentes países bajo un sistema de riego por goteo en	56
Cuadro 14: Componentes del rendimiento con parámetros de numero de panículas/ planta, numero de granos llenos/ planta y peso de mil granos.	57
Cuadro 15: Efecto de la temperatura sobre el crecimiento y el desarrollo de la planta del arroz.	58
Cuadro 16: Componentes del rendimiento con parámetros de numero de panículas/ planta, numero de granos vanos/ planta y peso de mi nos.	60

Cuadro 17: Comparación de productividades (kg/m ³) en sistema de riego por goteo en diferentes países y riego por inundación en el Perú.	61
---	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Área mundial cosechada de arroz y rendimiento promedio durante el periodo 1961-2009.....	4
Figura 2: Desarrollo fenológico del Arroz (Oriza sativa).	7
Figura 3: Sistema tradicional de riego por inundación en pozas del cultivo de Arroz.....	9
Figura 4: Sistema de riego por goteo del cultivo de Arroz.	10
Figura 5: Contenido de humedad volumétrica del suelo, según la textura del suelo.	16
Figura 6: Ubicación de la parcela experimental (AER).	21
Figura 7: Plano general del Área Demostrativa y Experimental de Riego- UNALM.	22
Figura 8: Distribución de cationes y aniones del agua de riego en un diagrama radial en (meq/l).	24
Figura 9: Distribución de las cintas de riego, tubería y dimensiones de la parcela.....	25
Figura 10: Metodología utilizada para el diseño agronómico.	28
Figura 11: Detalles del cabezal de riego del Área Experimental de Riego(AER).	30
Figura 12: Detalles del arco de riego instalados en el campo del Área Experimental de Riego(AER).....	31
Figura 13: Detalles del Reservorio del Área Experimental de Riego(AER).....	32
Figura 14: Instalación de arcos de riego, tuberías, reservorio y cabezal de riego.....	33
Figura 15: Evaluación de bulbo húmedo.....	34
Figura 16: Representación gráfica y control en campo de la evaluación de coeficiente de uniformidad.	35
Figura 17: Instalación de estación meteorológica en campo experimental del AER.	36
Figura 18: Protección de las temperaturas bajas con plásticos.	36
Figura 19: Esquema de instalación y toma de dato del sensor de humedad: (a)FDR GS1. 39	
Figura 20: Esquema de instalación y toma de datos de los sensores de humedad: (b) TDR 300 y (c)Watermark.....	40
Figura 21: Panel fotográfico de la instalación y colecta de datos en campo de los sensores de humedad del suelo.	41
Figura 22: Actividades realizadas durante la cosecha del cultivo.....	43
Figura 23: Recta de calibración del medidor de la humedad del suelo con TDR 300 (varillas de 20 cm), FDR (GS1 profundidad a 15 y 30 cm) y resistencia eléctrica watermark (Kpa).	44

Figura 24: Monitoreo de la humedad del suelo con 5 sensor FRD GS1 durante todo el periodo del cultivo (29/03/2017- 08/08/2017) a diferentes profundidades, dos a 15 cm y tres a 30 cm.	47
Figura 25: Influencia de la conductividad eléctrica(CE)dS/m, en la etapa de inicio de panícula del cultivo de arroz con respecto al rendimiento.	49
Figura 26: Variación de coeficiente de uniformidad(CU) del gotero TORO NEPTUNO C-1500 con caudal de 1.2 l/h a una presión de trabajo de 1.0-1.1 bar, durante el desarrollo del cultivo. Fecha de siembra de 08/02/17, valorizada según Merriam y Keller (2014).	51
Figura 27: Variabilidad diaria de la T°Max, T°min (C°), Humedad Relativa (%), Velocidad del viento(m/s), Evapotranspiración (mm/día) y Precipitación (mm/día) durante el periodo del desarrollo del estudio, con fecha de siembra: 08 de febrero y cosecha 02 de agosto. ..	53
Figura 28: Lamina aplicada y calculada durante el desarrollo del cultivo mensual (Febrero – Agosto).	55
Figura 29: Promedio de variables de crecimiento evaluado en la etapa final del cultivo. ..	56
Figura 30: Grafica de barras de los indicadores agronómicos (número de panícula /planta, número de grano lleno /panoja, peso de mil granos, rendimiento(Tn/ha) evaluados al finalizar el cultivo.....	57
Figura 31: Diagrama de temperatura máxima, mínima y promedio del clima así como la temperatura críticas y optima del cultivo de arroz, evaluadas durante el desarrollo del cultivo.	59

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: ANÁLISIS DE AGUA.....	72
ANEXO 2: PRIMER ANÁLISIS DE SUELO.	73
ANEXO 3: SEGUNDO ANÁLISIS DE SUELO A MITAD DE TEMPORADA.	74
ANEXO 4: ANÁLISIS DE SUELO DE LAS CONSTANTES HÍDRICAS.....	75
ANEXO 5: GRAFICAS DE BULBO HÚMEDO EN LAS ETAPAS DE INICIO DE PROYECTO, MITAD DE TEMPORADA, FINAL DE TEMPORADA.....	76
ANEXO 6: CÁLCULO DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS DEL CULTIVO EN EL MES DE FEBRERO, CON UNA EVAPOTRANSPIRACIÓN DIARIA DE 5.4 MM/DD.	77
ANEXO 7: GUÍA PARA EL BUEN USO Y MANEJO DE AGROQUÍMICOS (BUMA).	78
ANEXO 8: CALCULO HIDRÁULICO DEL CULTIVO DE ARROZ PARA EL MES MÁS CRÍTICO.	81
ANEXO 9: COSTOS POR DE PRODUCCIÓN DE (TN/ HA) DE ARROZ CON RIEGO POR INUNDACIÓN EN LA REGIÓN LAMBAYEQUE -2015.....	84
ANEXO 10: COSTOS DE PRODUCCIÓN DE(TN/ HA) ARROZ CON RIEGO POR GOTEJO PARA UNA HA EN CONDICIONES DEL ADRD.....	85
ANEXO 11: VISTAS FOTOGRÁFICAS DE PREPARACIÓN DEL TERRENO(ARADO Y NIVELACIÓN DEL TERRENO) Y HABILITACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO(INSTALACIÓN DE CINTAS DE RIEGO Y ACCESORIOS DE RIEGO (VÁLVULAS MARIPOSA DE PVC, CONECTORES, ENLACES Y BIGOTES (TUBO DE POLIETILENO)).	86
ANEXO 12: PRUEBA DE GERMINACIÓN Y DESARROLLO DEL CULTIVO.....	87
ANEXO 13: FERTILIZACIÓN DEL CULTIVO E INSTALACIÓN DE PLÁSTICO TRANSPARENTE EN LAS ÉPOCAS DONDE DESCENDE LAS TEMPERATURAS.	88
ANEXO 14: MEDICIÓN DE TAMAÑO DE RAÍZ AL FINALIZAR EL CULTIVO Y CONTEO DE PANÍCULAS.....	89

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

Acrónimo

ADRD	Área demostrativa de riego y drenaje
ADP	Agua disponible para la planta
AFA	Agua fácilmente aprovechable
ETc	Evapotranspiración del cultivo
FDR	Reflectometría de Dominio de Frecuencia
Kc	Coefficiente del cultivo
GEI	Gases de Efecto Invernadero
EUA	Eficiencia de uso de agua
CRAD	Capacidad de Retención de Agua Disponible
CC	Capacidad de Campo
PMP	Punto de Marchites Permanente
GWPR	Potencial del Calentamiento Global
MINAG	Ministerio de Agricultura y Riego
INIA	Instituto Nacional de Innovación Agraria
CIAT	Centro Internacional de Agricultura Tropical
IRRI	International Rice Research Institute
ENAPREF	Encuesta Nacional de Presupuestos Familiares
TDR	Reflectometría en el Dominio del Tiempo
VWC	Volumétrico de Agua
OGA	Oficina de Gestión Ambiental
GS1	Soil Moisture Sensor Operator's
DICTA	Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria
PGV	Porcentaje de Granos Vanos
DDS	Días Después de la Siembra

RESUMEN

El trabajo de investigación en el rendimiento y manejo de agua en el cultivo de arroz (*oryza sativa* L.) en el cultivar IR-43, se dio bajo condiciones de riego por goteo, se llevó a cabo en el Área Demostrativa de Riego (ADR) de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima – Perú, fue ejecutada durante el periodo del 08 de febrero al 02 de agosto del 2017. El estudio fue realizado para evaluar el rendimiento del cultivo de arroz aplicando el método de riego por goteo y siembra directa. La lámina de riego fue estimada con una evapotranspiración de referencia (ET_o) calculada por el método de Penman Monteith con datos climáticos obtenidos de la estación DAVIS instalada en AER y un K_c teórico para el cultivo; se monitoreó la humedad del suelo con tres sensores de humedad (FDR GS1, TDR 300, WATERMARK) las cuales fueron calibradas con el método gravimétrico en las condiciones del suelo. Se contó con un sistema de riego por goteo instalado en campo la cual se mejoró y se utilizó para la investigación. La información de producción se recopiló en la etapa final del desarrollo del cultivo a los 175 días después de la siembra (DDS) en 12 parcelas a las mismas condiciones de riego por goteo. Esto con el objetivo de realizar el cambio de sistema por inundación a riego por goteo y así disminuir el uso de agua. Se consiguieron resultados finales de un volumen aplicado total de 7438 m³ha⁻¹, teniendo una buena eficiencia en el uso de agua referente a un sistema de riego por inundación donde el volumen promedio aplicado fue de 16000 m³ha⁻¹, la productividad en base a la aplicación del agua riego y condiciones climáticas de la época de siembra fue de 0.13 Kg/m³, en comparación con la productividad en el riego por inundación de (0.46-1) Kg/m³; el promedio de rendimiento en sistema de riego por inundación en este cultivar fue de 12 t/ha y el sistema evaluado con un rendimiento promedio de 1.0 t/ha de arroz cascara, se observa una disminución del 90%, esto debido a la influencia de las condiciones climáticas y al efecto de la conductividad eléctrica del suelo.

Palabras claves: Arroz (*oryza sativa* L.), Riego, Rendimiento, Penman Montid, Sensores de humedad, Volumen, Productividad.

ABSTRACT

The research work on the performance and management of water in the cultivation of rice (*Oryza sativa* L.) in the IR-43 crop field, is under the conditions of drip irrigation, is named after the Demonstration Area of Irrigation and Drainage (ADRD) of the National Agrarian University La Molina, Lima - Peru, was executed during the period from February 8 to August 2, 2017. The study was conducted to evaluate the performance of rice cultivation using the method of drip irrigation and direct seeding. The irrigation sheet was estimated with a reference evapotranspiration (ET_o) calculated by the Penman Monteith method with the climate data of the DAVIS station installed in AER and a theoretical K_c for the crop; The soil moisture is checked with three humidity sensors (FDR GS1, TDR 300, WATERMARK), the calibrations with the gravimetric method under soil conditions. There was a drip irrigation system installed in the field which is better and is used for research. Production information is collected in the final stage of development from 175 days after sowing (DDS) in 12 plots to the same drip irrigation conditions. This has the objective of carrying out the change of the flood system, irrigation and water use. Final results of a total applied volume of 7438 m³ha⁻¹ were obtained, taking into account the use of water as a flood irrigation system where the volume was applied of 16000 m³ha⁻¹, the productivity based on the application of water and climatic conditions of the sowing season was 0.13 Kg / m³, compared to the productivity in the flood irrigation of (0.46-1) Kg / m³; the average yield in the irrigation system for flooding in east cultivar was 12 t / ha and the system evaluated with an average yield of 1.0 t / ha of rind rice, a decrease of 90% is observed, this is due to the influence of climatic conditions and the effect of the electrical conductivity of the soil.

Key Words: Rice (*Oryza sativa* L.), Irrigation, Performance, Penman Montid, Moisture Sensors, Volume, Productivity.

I. INTRODUCCIÓN

El arroz (*Oryza sativá L.*) es uno de los cultivos con mayor importancia nacional, ya que desempeña un rol importante en la alimentación debido a su hábito de consumo creciente en la población. Según la Encuesta Nacional de Presupuestos Familiares (ENAPREF,2009) este cereal predomina en la preferencia del consumidor peruano con un promedio per cápita de 47 kilos 400 gramos al año; por ello para cumplir con el principal reto de incrementar la producción de arroz y alimentar a una población en crecimiento bajo una creciente escasez de agua, muchos regímenes de ahorro de agua se han introducido en el riego del arroz. Según (He H.*et al*, 2013) observó bajo diferentes sistemas de riego: inundación convencional, riego no inundado que incorporaba mulching plástico con irrigación por surcos, no mulching con irrigación por surco y riego por goteo, en este último demostró que el riego por goteo tiene una mayor capacidad de ahorro de agua y un menor rendimiento y beneficios económicos. Este método de riego podría mejorar el uso eficiente del agua (EUA) mediante la reducción del agua de riego.

El manejo del agua en el cultivo de arroz en el Perú se da de dos formas: riego por gravedad y secano, el riego por inundación permanente consume mucha agua y tiene como ventaja el control de malezas.

El manejo de riego es muy variable, depende de las condiciones climáticas, tipo de suelo variedad sembrada, sistematización de campo, preparación del suelo y el manejo de la inundación (Heros, A. 2012). Según (Junta de Usuarios de la costa ,2007) establecieron los módulos de riego (valle de Chancay – Lambayeque :12000 m³/ha; Valle de Chira: 20000 m³/ha parte alta y 15000 m³/ha en la parte baja y media; Tumbes se estableció 14000 m³/ha; para Camaná y Majes de 17500 m³/ha). Según (Heros, A. 2012) los rendimientos de las variedades más sembradas en la costa (IR-43: 9-12 t/ha, Tinajones: 9-12 t/ha) selva alta (Capirona:8-9 t/ha, La conquista:9-9.6 t/ha).

Por lo anterior, este proyecto de tesis, busca evaluar el efecto del método de riego por goteo en el cultivo de arroz bajo las condiciones de la Molina en el rendimiento, con la finalidad de reducir el volumen de agua empleado en el cultivo.

1.1. OBJETIVO PRINCIPAL

Evaluar el rendimiento y manejo del agua de riego en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) IR-43 aplicando el método de riego por goteo, en parcelas experimentales del Área Experimental de Riego (AER) de la UNALM.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Habilitar y operar el sistema de riego por goteo existente en el Area Experimental Riego (AER)
- ✓ Monitorear y evaluar el contenido de humedad del suelo empleando tres tipos de sensores de humedad y control de la conductividad eléctrica del suelo en diferentes etapas fenológicas del cultivo.
- ✓ Estimar con el método de Penman Monteith la lámina de agua a aplicar al cultivo con el método de riego por goteo y así mismo determinar el volumen real aplicado con parámetros de humedad obtenido con sensores.
- ✓ Obtener los componentes de rendimiento en la etapa de maduración y cosecha del cultivo.

II. REVISIÓN DE LITERARIA

2.1. CULTIVO DE ARROZ

El arroz cultivado está representado por dos especies principales: (i) *Oryza sativa* L., sembrado en todo el mundo, con sus dos sub-especies ecogeográficas indica, adaptada a los trópicos, y *japonica*, adaptada a las regiones templadas y a las tierras altas tropicales; y (ii) *Oryza glaberrima*, que crece en algunas partes de África occidental. A mediados de los noventa, un nuevo tipo de arroz llamado NERICA (arroz nuevo para África) se desarrolló a partir de cruzamientos entre las especies *O. glaberrima* y *O. sativa*, enfocado específicamente a las tierras altas y áreas secas del África Subsahariana (Jones *et al.*, citado por Steduto *et al.* 2012).

El arroz ocupa el segundo lugar a nivel mundial, después del trigo, en superficie cosechada; pero si se considera su importancia como cultivo alimenticio, proporciona más calorías por hectárea que cualquier otro cultivo de cereales. El arroz constituye el alimento básico de cerca del 50 % de la población mundial. Aunque este cereal se produce y se consume mayormente en Asia, se siembra con fines comerciales en más de 100 países y en todos los continentes excepto la Antártida (Diaz S. *et al.*, 2015).

En todo el mundo, existen cerca de 158 millones de hectáreas de arroz inundado, de las cuales 101 millones de hectáreas corresponden a cosechas de arroz de riego y constituyen el 75 % de la producción mundial de arroz, mientras que los 57 millones de hectáreas restantes corresponden a arroz de secano y contribuyen con el 19 % de la producción mundial de arroz. Unos 11 millones de hectáreas de arroz inundado son proclives a inundaciones incontroladas. Entre ellas se encuentran las zonas de aguas profundas, tierras bajas costeras sumergidas diariamente por la marea, y zonas afectadas por crecidas repentinas de una a dos semanas, en las que el problema a menudo es el exceso de agua, pero no necesariamente la sumersión prolongada. Cerca de 14 millones de hectáreas de arroz de tierras altas normalmente no están equipadas con instalaciones de riego, y

contribuyen con el 6 % de la producción mundial de arroz. (Steduto,2012) como se muestra en la Figura 1.

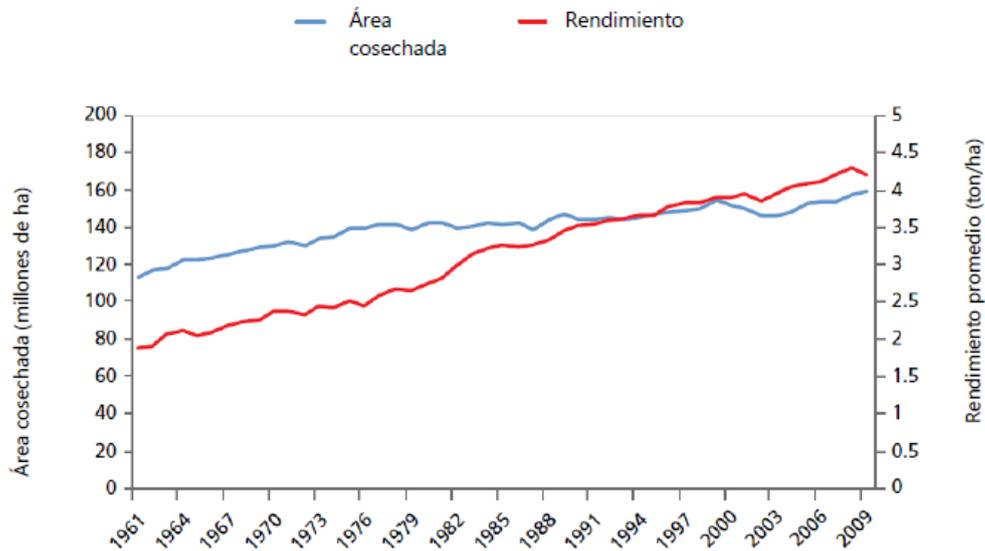


Figura 1: Área mundial cosechada de arroz y rendimiento promedio durante el periodo 1961-2009.

FUENTE: FAO (2012).

En el Perú el cultivo de arroz se desarrolla desde el paralelo 3° a 16° latitud Sur. Geográficamente el Perú está ubicado en la zona tropical, pero los cambios climáticos por efecto de la corriente fría de Humbolt, que corre de Sur a Norte en el océano Pacífico y la cordillera de los Andes al Este con diferentes estratos altitudinales, determinan climas trópicos, subtropical y fríos.

Los diferentes agro-ecosistemas pueden agruparse en agro-ecosistemas de riego y agro-sistemas de secano. El agro-ecosistema con riego comprende los valles arroceros de la costa y las áreas de la selva alta. El agro sistema con riego en la costa se desarrolla en los valles de los departamentos de Tumbes, Piura, Lambayeque, La Libertad, Ancash, Arequipa. El de la selva alta irrigada comprende: Amazonas (Bagua Grande, Bagua Chica) Cajamarca (Jaén, Vella Vista) y San Martín (Alto mayo, Huallaga Central), y el agro-sistema de secano comprende las áreas arroceras de lluvia de: Huánuco, Pasco, Junín, Cuzco, Puno, Loreto, Ucayali, Madre de dios. (Heros, A. 2012).

De acuerdo al Ministerio de Agricultura y Riego (MINAG) (2016) en el periodo enero - mayo del 2016, el subsector agrícola tuvo un crecimiento de 0,4%, básicamente por la mayor producción obtenida de: arroz cáscara; la producción nacional de arroz cáscara en el período enero – mayo del 2016 fue de 1 millón 485 mil toneladas, mayor en 14% en comparación al

año anterior en que se produjo 1 millón 309 mil toneladas debido a la mayor producción obtenida en: La Libertad, Piura y Lambayeque. Así mismo, la producción en el mes de mayo fue de 483 mil toneladas, superior en 4% a lo producido el mismo mes del año anterior (466 mil toneladas) como resultado de la mayor producción obtenida en: Piura, Lambayeque y San Martín.

En lo que concierne las variedades de arroz el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) ha desarrollado variedades estables de alto potencial de rendimiento y de buena calidad de grano, introducidas por el sector público, a través de la misma, con frecuencia en colaboración con centros internacionales de investigación agraria, como el International Rice Research Institute (IRRI) y el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). , la cual ha llevado a tener mayores beneficios a los productores. Si consideramos que los precios internos han fluctuado entre 150 y 360 US\$ / tonelada de arroz cáscara durante los últimos treinta años, podemos estimar que el beneficio conjunto, que los productores de arroz han llegado a obtener desde 1980, oscila entre 141 y 338,5 millones de dólares anuales, gracias al uso de variedades de arroz de mayor potencial de rendimiento y mejor calidad de grano desarrollados por INIA. Si no se hubieran dado estos avances en productividad, es decir si los rendimientos del cultivo hubieran permanecido inalterables durante los últimos treinta años, hubiéramos tenido que dedicar 642 576 has para alcanzar el actual nivel de producción, es decir 316 081 ha adicionales a las sembradas, en promedio en los últimos tres años (INIA, 2017)

Las principales variedades de arroz lanzadas por el INIA fueron: La Esperanza, Mallares, Tinajones, L Conquista, Ecoarroz , Jar i , Pitipo, Bijao, Capirona INIA, Huallaga INIA y la última que fue lanzada en el 2016 fue La Puntilla sumado a ello que tiene un grano largo, delgado y translúcido. Además, esta variedad presenta un mayor rendimiento de arroz pilado entero que las otras variedades locales. Además, presenta un 50% menos de grano quebrado que la variedad comercial de mayor demanda IR 43 (INIA, 2017).

2.1.1. FENOLOGÍA

a. La fase vegetativa:

Por lo general dura de 55 a 60 días en las variedades de período intermedio. Y comprende desde la germinación de la semilla, emergencia, macollamiento, hasta la diferenciación del primordio floral. Esta fase es la que diferencia unas variedades de otras,

según sea la precocidad o tardanza de la misma en alcanzar su respectivo ciclo de cultivo. En la fase vegetativa es cuando se determina en gran parte, el número de espigas por planta o por unidad de superficie, debido principalmente al macollamiento de las plantas, lo cual es uno de los tres componentes del rendimiento de una plantación de arroz.

b. La fase reproductiva:

Incluye el período desde la formación del primordio floral, embuchamiento (14-7 días antes de la emergencia de la panícula), hasta la emergencia de la panícula (floración). Esta fase dura entre 35 y 40 días. Normalmente la duración de la fase reproductiva en las variedades cultivadas, varía muy poco. En esta fase se determina el número de granos por panícula, que es también otro de los 3 componentes de rendimiento en la producción de un cultivo de arroz.

c. La fase de madurez:

Abarca desde la emergencia de la panícula (floración), el llenado y desarrollo de los granos (estado lechoso y pastoso) hasta la cosecha (madurez del grano) y dura de 30 a 40 días. Esta fase también varía muy poco de una variedad a otra. Y se considera que en esta fase se determina el peso del grano a la madurez, por lo que es el tercero de los 3 componentes de rendimiento en una plantación de arroz.

En general el ciclo vegetativo y reproductivo de las variedades de arroz que se cultivan actualmente, varía de 120 a 140 días desde la germinación hasta a la cosecha del grano, aunque actualmente se encuentran variedades de arroz con 105 días a la cosecha con rendimientos aceptables. Cuando las temperaturas son bajas durante la fase vegetativa, el período de desarrollo del cultivo puede alargarse por unos días más hasta 5 meses (150 días) (DICTA. 2003.). Se observa la fenología del arroz en la Figura 2.

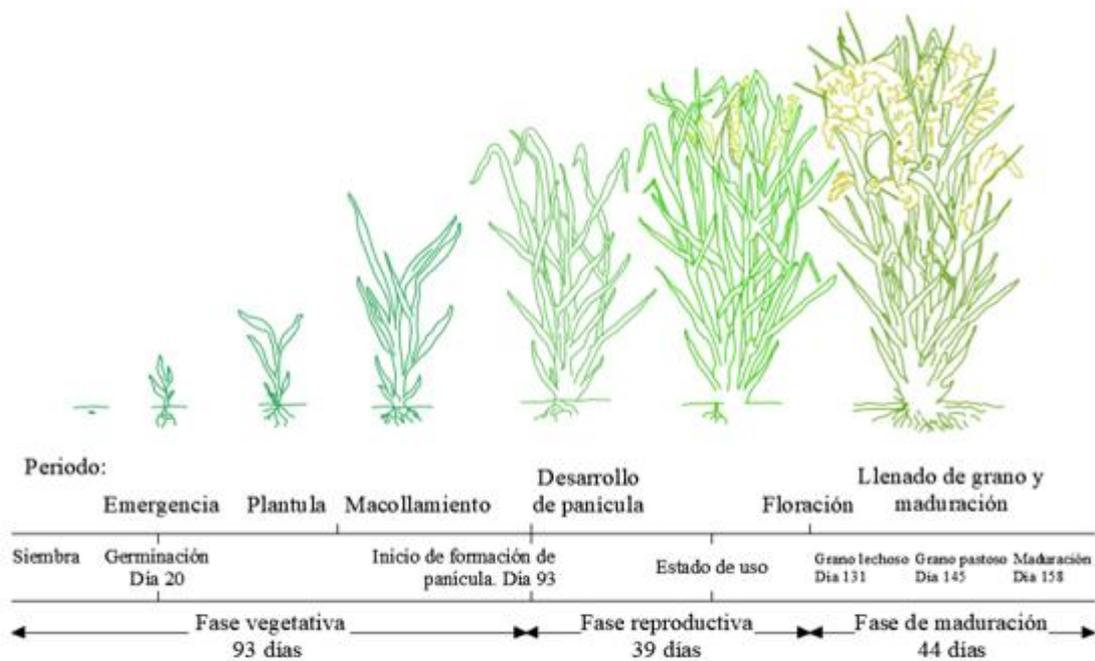


Figura 2: Desarrollo fenológico del Arroz (*Oriza sativa*).

FUENTE: FAO Riego y Drenaje 66, Elaboración propia.

2.2. RIEGO EN EL ARROZ

El arroz es el único cereal que puede soportar la sumersión en agua, lo que ayuda a explicar los vínculos matizados, de largos años, entre el arroz y el agua. A lo largo de cientos de años, las presiones de la selección natural, como la sequía, la sumersión, la inundación y los factores de estrés nutricional y biótico, han originado una gran diversidad de ecosistemas con base en arroz. Las estrategias de adaptación de la planta incluyen la supervivencia en condiciones de sumersión sin sufrir daños, el alargamiento de sus tallos para eludir la deficiencia de oxígeno cuando suben los niveles freáticos y la resistencia a períodos de sequía severa. Los ecólogos han diferenciado cinco categorías de plantas de arroz en relación con el agua: secano de tierras bajas, de aguas profundas, de tierras húmedas costeras, secano de tierras altas y de riego. (FAO, 2004).

El manejo del agua también depende del interés colectivo: deben organizarse calendarios de cultivo y de agua para grandes bloques de campos con el fin de manejar eficientemente el agua y organizar trabajo como la preparación de la tierra, el trasplante y el secado para la cosecha (FAO, 2004).

El manejo del agua en el cultivo de arroz en el Perú se da de dos formas: riego por gravedad y secano, el riego por inundación permanente, ver Figura 3, este sistema consume altos volúmenes de agua y tiene como ventaja el control de malezas, el riego intermitente es la

forma más extensa de regar ya que cuenta con el caudal de los ríos y la administración de juntas de regantes (Heros, 2012) .

Generalmente el arroz de secano, suele ser mucho menos productivo que el arroz cultivado con riego por inundación, especialmente en los años de poca lluvia. Como cualquier cultivo, el arroz tiene etapas durante el ciclo del cultivo que son más sensibles a la falta de humedad en el suelo, principalmente después del trasplante, en el macollamiento, durante la iniciación y desarrollo del primordio floral, en la floración y durante el desarrollo de la panícula, hasta dos semanas antes de la cosecha. O sea que en un cultivo de arroz con riego los factores que primariamente pasan a determinar la productividad son la radiación solar y la temperatura ambiental. El riego para que sea efectivo en la productividad del cultivo, implica no solamente aplicar un suministro adecuado y controlado de agua de buena calidad, sino que también de un desagüe eficiente cuando haya agua en exceso o drenar el terreno para efectuar algunas labores agrícolas como la preparación de tierras o la cosecha de la plantación (DICTA, 2003. p.30).

Otras de las ventajas de un cultivo de arroz bajo riego o inundación, es una mejor disponibilidad de nutrientes, además de que los daños por plagas y enfermedades se reducen significativamente. En algunos casos también se logra un mejor control de algunas malezas como la “caminadora” de la especie *R. cochinchinensis*, las cuales no prosperan en las condiciones anaeróbicas que causa la inundación en el suelo. Por ello en el arroz, el oxígeno que requiere las raíces se da con el transporte de oxígeno desde el follaje a las raíces (DICTA.2003.).

El manejo del riego es muy variable, depende de las condiciones climáticas, tipo de suelo variedad sembrada, sistematización de campo, preparación del suelo y el manejo de la inundación. Según la Junta de Usuarios se estableció los módulos de riego siguientes: en el valle de Chancay – Lambayeque :12000 m³/ha; Valle de Chira: 20000 m³/ha parte alta y 15000 m³/ha en la parte baja y media; Tumbes se estableció 14000 m³/ha; para Camaná y Majes de 17500 m³/ha. Siendo los rendimientos de las variedades más sembradas en la costa el IR-43 de 9 a 12 t/ha, variedad Tinajones de 9 a 12 t/ha y en selva alta la variedad Capirona de 8 a 9 t/ha y La conquista de 9 a 9.6 t/ha. Heros. A. (2012), así como las nuevas variedades liberados por el INIA: “INIA 513-La Puntilla” con rendimientos de 13.5 t/ha de arroz cáscara en Chepén (La Libertad) y 13 t/ha en Fala (Lambayeque) en parcelas experimentales.

En parcelas comerciales se han registrado rendimientos superiores a las 12.7 t/ha de arroz cáscara. (Redagricola,2017).

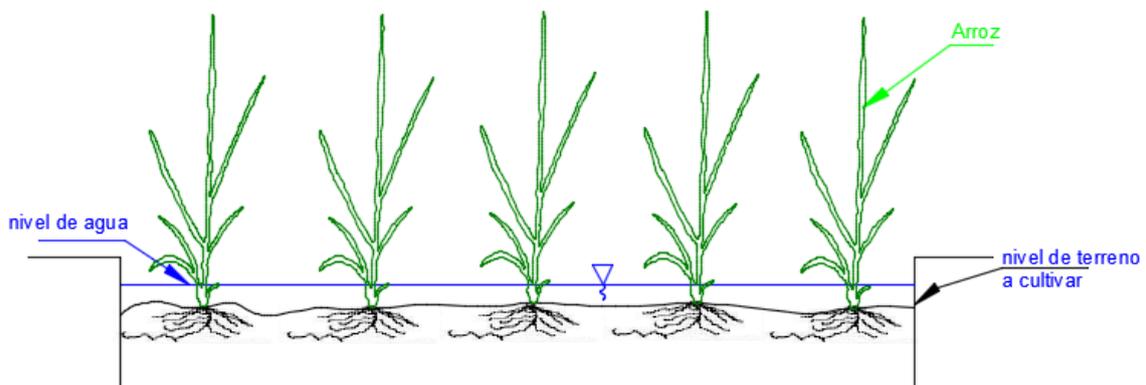


Figura 3: Sistema tradicional de riego por inundación en pozas del cultivo de Arroz.
FUENTE: Elaboración propia.

El manejo del agua en los últimos tiempos se está tomando importancia puesto que este recurso cada año va en disminución y escases por ello la importancia de disminuir el uso de agua en el cultivo de arroz ya que es uno de los cultivos de mayor demanda en uso de agua; para ello se realizaron algunos cambios de sistema de riego ver Figura 4 y diferentes metodologías para disminuir el volumen de agua utilizado en el cultivo de arroz.

Algunas investigaciones realizadas en diferentes países, como es el caso de la India según Ramana, (2013), comparo el riego convencional (inundación) con el riego por goteo para reducir el volumen de agua utilizada, esta propuesta trae consigo recomendaciones agronómicas como un mayor espaciamiento entre plantas de 25 x 25 cm bajo la práctica del sistema intensificado del cultivo de arroz(SICA), se trasplanto plántulas de 8 a 10 días y se seleccionaron cuatro tratamientos en el estudio:

- ✓ Práctica convencional con plántulas de 30 días de crecimiento y trasplante con espaciamientos de 20 x 20 cm y 2-3 plántulas por golpe (T1),
- ✓ Trasplante de 30 días de edad con dos plántulas por golpe a 20 x 20 cm de espacio (T2)
- ✓ Trasplante de 10 días de edad con una plántula por cada golpe a 22 x 22 cm espaciamiento (T3)
- ✓ Trasplante de 10 días de edad con una plántula por golpe con un espaciamiento de 25 x 25 cm (T4).

Los resultados revelaron que el número máximo de plantas / m², el número de panículas, los valores de índice de clorofila en la floración, el rendimiento de grano y la eficiencia máxima

del uso del agua fueron las más altas en el tratamiento (T4) a comparación sobre los otros tratamientos. Donde se obtuvo la mayor productividad de agua de $0.66 \text{ kg} / \text{m}^3$ a comparación con el riego convencional de cultivo de $0.37 \text{ kg} / \text{m}^3$ y la cantidad total aplicada por riego por goteo es de 291.42 mm a diferencia de la práctica convencional se aplicó una cantidad de 553.3 mm, lo que indica ahorro en agua.

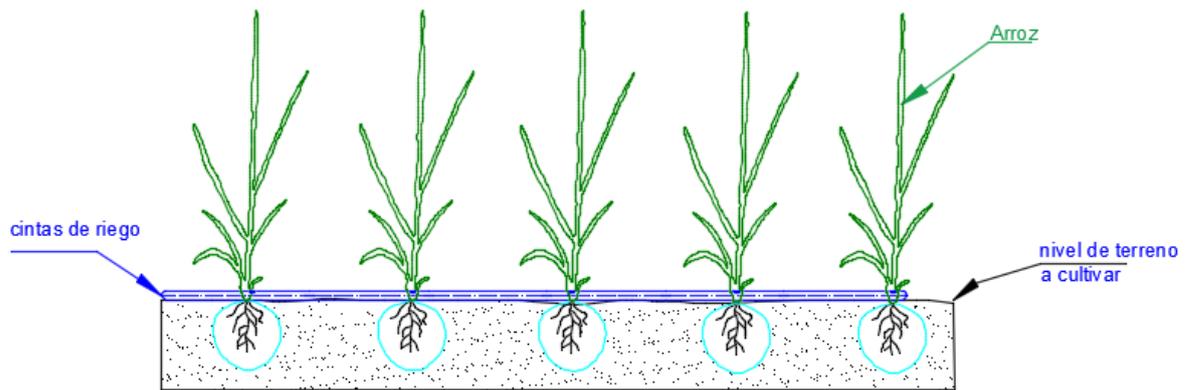


Figura 4:: Sistema de riego por goteo del cultivo de Arroz.
FUENTE: Elaboración propia.

2.2.1. ALTERNANCIA DE HUMEDECIMIENTO Y SECADO

La evaluación de la técnica de alternar inundación y secado para combatir el impacto de los efectos que está generando escases de agua en nuestro país como es el caso del fenómeno del niño se está aplicando este método como el principal para el ahorro de agua, como lo menciona el INIA (2015). Se promueve la tecnología de siembra directa que permite el ahorro de agua en almácigos y en el pago de mano de obra, los cuales suelen duplicar su valor durante la campaña arrocerá”, Además, la técnica también permite reducir hasta un 12% del módulo total de agua, lo cual representa seis mil litros cúbicos de agua por hectárea en vez de diez mil indico (INIA, 2015).

Según (Yang *et al.*, 2016) las preocupaciones planteadas por el arroz pueden ser dirigidas por los cambios en la gestión del agua, en particular de los sistemas anaerobios inundados continuamente para aquellos en los que se introducen periódicamente ciclos aeróbicos durante la estación de crecimiento. Este régimen se refiere a menudo como la humectación y secado alternos. Se propone que la adopción de humedecimiento y secado alternados moderado, que el secado del suelo en el régimen de tracción total se controla adecuadamente, el estado hídrico de la planta no se ve afectada de manera adversa durante el periodo de secado, y una tasa de aplicación de nitrógeno adecuado se utiliza puede dar lugar a un efecto sinérgico sobre el rendimiento del arroz y de alta eficiencia de uso del agua y la eficiencia

del uso del nitrógeno. Sería avanzar en el desarrollo de la agricultura sostenible para difundir la eficacia de humedecimiento y secado alternados moderada, identificar el mecanismo por el cual moderar los aumentos de humedecimiento y secado alternados tanto el rendimiento de grano y el eficiente uso de agua; como se observa en la Cuadro 1, Cuadro 2, Cuadro 3.

Cuadro 1: Aumento (+) o disminución (-) en el rendimiento del grano, la eficiencia del uso del agua (EUA), la calidad del grano, contenido de arsénico en el grano (As) y la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) en virtud al humedecimiento y secado alternado (AWD) de riego en relación al riego convencional del arroz (unidad: %).

Descripción	Moderado AWD	Severa AWD
Producción de grano entero	05.06 a 12.08	-18.5 - -35.3
Agua de riego	-22.4 - -34.6	-38.4 - -49.5
EUA (rendimiento de grano/ agua riego)	27.3 - 55.7	21.6 - 36.7
Contenido de amilosa	-0.4 - 0.7	-0.9 - 1.2
As en grano	-50.3 - -66.5	-54.5 - -70.6
CH4	-51.4 - -72.5	-90.7 - -112.8
N2O	15.5 - 98.6	125 - 167
Potencial de calentamiento global (GWP)	-48.6 - -67.2	-73.1 - -99.5
Índice de gases de efecto invernadero (GWP / rendimiento de grano)	-48.3 - -78.9	-67.5 - -92.7

FUENTE: Yang, J.*et al.* (2016)

Cuadro 2: Los umbrales para el humedecimiento y secado alterno moderado de riego (moderado AWD) en el arroz.

Etapa de crecimiento	Potencial hídrico foliar (MPa)	Potencial hídrico del suelo (kPa)	El nivel del agua por debajo de la superficie del suelo (cm)
Macollaje efectiva (de la recuperación a la edad de la hoja crítico de macollos productivos)	-0.60 - 0.65	-5 -10	8-12
Unión (de la edad de la hoja crítico de macollos productivos al inicio de la panícula)	-0.85 - 0.90	-15 -20	15-25
Diferenciación de panículas (de iniciación de panícula a desarrollo de panícula)	-0.75 - 0.80	-8 -12	10 -15
desarrollo de panícula y la floración (desarrollo de panícula hasta el final de la floración)	-0.75 - 0.80	-8 -12	10-15
A principios y mediados de llenado de grano (7-20) días después de la partida	-0.95 - 1.00	-10 -15	12-18
Llenado del grano tarde (21 días después de la partida a la cosecha final)	-1.05 - 1.10	-15 -20	20-25

FUENTE: Yang, J.*et al.* (2016)

Cuadro 3: El rendimiento de grano y el uso eficiente del agua en el arroz en diferentes tratamientos de riego y nitrógeno.

Irrigación	Dosis de N (kg ha ⁻¹)	Rendimiento de grano (t ha ⁻¹)	EUA (kg m ³ -1)
CI(Riego por goteo)	100	7.79	0.72
	200	9.26	0.85
	300	8.69	0.79
Moderado AWD	100	8.31	0.87
	200	9.81	1.01
	300	9.89	1.02
Severa AWD	100	6.65	0.76
	200	8,02	0.91
	300	8.72	0.99

FUENTE: Yang, *J. et al.* (2016)

2.2.2. RIEGO POR GOTEO EN EL ARROZ

Según Coltro *et al.* (2016), el arroz es el segundo producto más importante en todo el mundo, y los campos de cultivo de arroz significativamente contribuyen al cambio climático ya que son una fuente considerable de metano.

Los resultados mostraron que el nuevo sistema de producción de arroz (arroz de riego irrigado por goteo subsuperficial), entre otras mejoras mitiga significativamente los impactos ambientales, particularmente debido a la reducción de consumo de agua (aproximadamente 2800 m³ /t arroz envasado al por menor), así como el potencial del calentamiento global GWP (aproximadamente 1200 kg CO₂-eq /t Arroz al por menor), además del beneficio de un mayor rendimiento (1150 kg ha⁻¹ de arroz en la granja).

El sistema de riego representó la mayoría de estos beneficios. Se mejoró toda la cadena de producción de arroz, desde la granja hasta el transporte y distribución a las tiendas minoristas. Los resultados indicaron que el riego del sistema inundado al sistema de riego irrigado por goteo subsuperficial fue responsable de la mayoría de los ahorros, es decir, el 50% menos en consumo de agua, un 90% menos de consumo de energía eléctrica, un 30% menos de eutrofización, un 66% menos de acidificación, 66% menor GWP, por no hablar de 15% más alto rendimiento. Las centrales eléctricas basadas en la combustión de la cáscara del arroz representaron 498 MJ de energía eléctrica exportada a la red y 129 kg de sílice producida a partir de cáscara de arroz.

Las tierras agrícolas ocupan el 40% aproximadamente del total de la tierra y las emisiones estimadas de las actividades agrícolas en 2005 fueron de 5.1 e 6.1 Gt CO₂-eq año, corresponde al 10 e 12% del total de las emisiones antropogénicas globales de gases de

efecto invernadero (GEI). El 54% de esta cantidad se debe al metano emisiones de CH₄, 3,3 Gt CO₂-eq año, mientras que el 46% restante es debido a las emisiones de óxido nitroso y N₂O, 2.8 Gt CO₂-eq año. Tomando en cuenta las emisiones antropógenas globales en 2005, la agricultura representa aproximadamente el 60% de N₂O y el 50% de CH₄ de emisiones. Además, un aumento anual de emisiones de aproximadamente 60 Mt CO₂-eq/año se observó en promedio entre 1990 y 2005.

Por lo tanto, la mitigación de las emisiones de GEI en la agricultura es fundamental para reducir su contribución al clima global. Estudios que compararon el potencial de calentamiento global (GWP) de CH₄ y las emisiones de N₂O provenientes del arroz, el trigo y el maíz. Los resultados mostraron que el GWP de las emisiones de CH₄ y N₂O de arroz (3757 kg CO₂-eq/ha temporada) fueron superiores a las emisiones de los otros cereales (1399 kg CO₂-eq/ha - maíz y 662 kg CO₂-eq/ha - trigo). Expresando estos valores por tonelada de grano, el rendimiento GWP de arroz (657 kg CO₂-eq/t) fue de aproximadamente cuatro veces superior al del maíz (185 kg CO₂-eq/t) y trigo (166 kg CO₂-eq/t), lo que sugiere mayores oportunidades para mitigación de los sistemas de producción de arroz.

Algunas otras referencias del cambio de sistema según Haibing He *et al* (2013), indica que se mejoró el potencial de producción, el rendimiento y la eficiencia del uso del agua (EUA) del arroz bajo cobertura plástica con riego por goteo. Donde los experimentos de campo se llevaron a cabo a lo largo de 2 años con dos cultivares de arroz bajo diferentes sistemas de cultivo: inundación convencional, riego no inundado que incorporaba cubierta de plástico con irrigación por surcos, sin cubierta de plástico con irrigación por surcos, riego por goteo. En comparación con el tratamiento con inundación convencional, los rendimientos de grano se redujeron en un 31.76 – 52.19 % bajo el tratamiento riego por goteo, en un 57.16 - 61.02 % bajo el tratamiento riego no inundado que incorporaba cubierta de plástico con irrigación por surcos, en un 74.40 – 75.73 % bajo el tratamiento sin cubierta de plástico con irrigación por surcos. La eficiencia del uso de agua fue el más alto en el tratamiento de riego por goteo, siendo 1.52-2.12 veces mayor que con el tratamiento con inundación convencional, 1.35-1.89 veces mayor que con el tratamiento de riego no inundado que incorporaba cubierta de plástico con irrigación por surcos, y 2.37-3.78 veces mayor que con el tratamiento sin cubierta de plástico con irrigación por surcos. La contribución de rendimiento de los cultivadores fue de 50,65 - 62,47 % para el tratamiento de inundación convencional y de 12,07- 20,62% para los tratamientos de riego no inundados.

Otras nuevas innovaciones como es el caso del Sistema Intensivo del Cultivo del Arroz (SICA) es una tecnología que proporciona beneficios y buena productividad, ya que se basa fundamentalmente en la utilización de menos agua. Es decir, con riegos intermitentes en las fases vegetativas y maduración, e inundación solo en la fase reproductiva, una mayor distancia entre las plantas y solo se emplea una a dos plántulas por golpe, utilizando almácigos no mayores de 15 días, encontrándose el óptimo entre 8 y 12 días. Con el uso de este sistema se ha logrado que las producciones de 2 t/ha alcancen más de 10 t/ha sin utilizar fertilizantes químicos, ni pesticidas, solo rompiendo las reglas convencionales de manejo del arroz (Martin *et al.*, 2010).

Y el Comité Estadounidense-Israelí de Asuntos Públicos (AIPAC) una de las primeras iniciativas de la agricultura sostenible usando la innovación israelí en la tecnología del agua para reducir el consumo de agua del cultivo del arroz comenzará a ser usada en la próxima primavera en California. El proyecto fue anunciado en el Comité Estadounidense-Israelí de Asuntos Públicos (AIPAC) en Washington DC esta semana. Explica Kyriakos Tsakopoulos, presidente, director y CEO de Conaway Preservación Group que será el primer uso de riego por goteo en los EE.UU. para el cultivo de arroz, que posee 6.847 hectáreas en Conaway Ranch en Woodland, California. Trabaja con la Universidad Ben-Gurion del Instituto Zuckerberg de Investigación del Agua y Netafim EE.UU., el principal fabricante de riego por goteo del mundo, los cuales tienen experiencia en el cultivo de arroz en las regiones áridas. Este esfuerzo podría servir como modelo para otras granjas y potencialmente ahorrar cientos de miles de acres-pies de agua en California (Portal chileno del agua 2016).

2.3. SALINIDAD DEL SUELO EN EL CULTIVO DE ARROZ

Según (INTAGRI 2017) no todos los cultivos tendrán la misma respuesta a un mismo nivel de salinidad, algunas especies producen rendimientos aceptables a niveles altos como algunos cultivos son sensibles y tienen rendimientos pobres al incrementar mínimamente de la CE del suelo; la diferencia de estas especies está estrechamente relacionada con la fisiología, y la adaptación osmótica (reducen su potencial osmótica al igual que el agua salina) que tiene sus raíces para mantener el flujo de agua del suelo hacia ellas, la CE umbral del cultivo de arroz es de 3 dS/m.

2.4. HUMEDAD DEL SUELO

El contenido de agua en el suelo debe definirse en términos cuantitativos específicos, con el objetivo de indicar con exactitud la cantidad de agua almacenada en el suelo en un determinado instante de tiempo.

La humedad se expresa en distintas unidades, uno de los más comunes es la humedad volumétrica del suelo, que se refiere a la profundidad de una columna de agua contenida en una determinada profundidad de suelo. Una fracción de suelo consiste en poros, lo cuales pueden contener aire o agua. Tal fracción es denominada porosidad. (Robock *et al.*, 2000).

Es importante conocer que para realizar el riego hay que medir el agua útil del suelo o agua disponible para la planta (ADP), que se define como la diferencia de contenido de humedad entre Capacidad de Campo y el Punto de Marchitez (Buesa, 2013).

Por otro lado, cuando se multiplica el ADP por la profundidad de la zona radicular se obtiene la Capacidad de Retención de Agua Disponible (CRAD), que en el riego implica una “reducción máxima permisible” (RMP) o una fracción del (CRAD) que es el rango operativo ideal de contenido de agua del suelo. (Zotarelli *et al.*, 2013).

La Capacidad de Campo (CC) es el estado donde ya no se permita más agua por drenaje, los microporos retienen el agua contra la fuerza de gravedad y los macroporos están en buena parte ocupados por aire. Esta situación es muy favorable para el desarrollo de los cultivos, debido a que las raíces succionan con facilidad el agua retenida en los microporos, al mismo tiempo que el suelo está suficientemente aireado para permitir la respiración radicular. sin embargo, la CC es un estado definido imprecisamente, porque para llegar a este estado va depender primordialmente de la textura del suelo, Pizarro (1996).

El Punto de Marchitez o Punto de Marchitez Permanente (PMP) se caracteriza porque las plantas absorben el agua con mucha dificultad y experimentan marchitez irreversible. Al igual que la capacidad de campo el punto de marchitez depende más de la textura que de la estructura del suelo, Figura 5. Pizarro (1996).

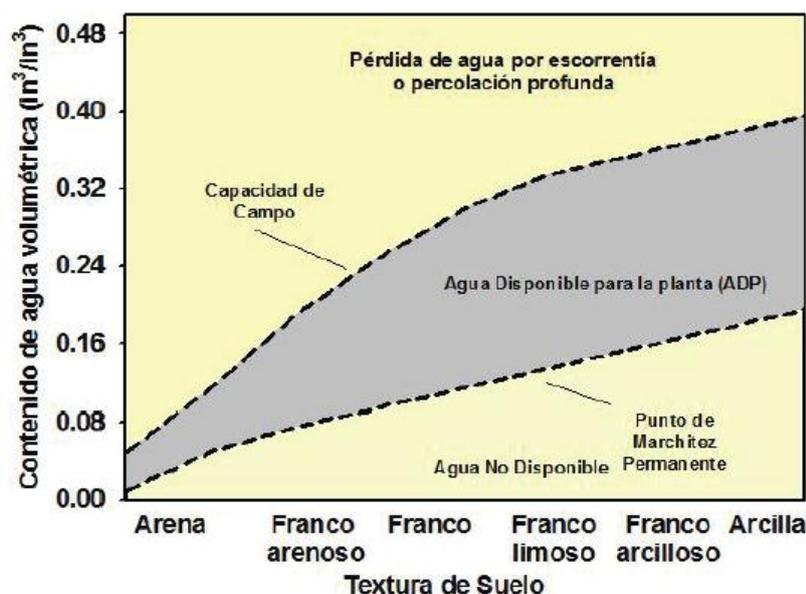


Figura 5: Contenido de humedad volumétrica del suelo, según la textura del suelo.

FUENTE: Zotarelli *et al.* (2013)

El Punto de Saturación que es el que se da después de un riego profundo es donde el agua ha ocupado todos los poros y la cantidad de agua en exceso escurrirá o generará encharcamiento hasta que se elimine hacia las capas más profundas del suelo. Por lo tanto, es bueno el manejo de la humedad del suelo con relación a las pérdidas por escorrentía y percolación, así también la pérdida por transpiración, siendo lo más básico para predecir la influencia que tiene el tiempo y el clima en el riego (Wei, 1995).

Por ello se hizo el control de la humedad del suelo para evaluar el volumen total de agua utilizada en el desarrollo del cultivo.

2.5. MEDICION DE LA HUMEDAD DEL SUELO

A lo largo de los años se han desarrollado métodos directos e indirectos para determinar el contenido de humedad del suelo. La elección de un método en particular depende tanto de la aplicación como de los recursos disponibles. (Robock *et al.*, 2000). Entre los métodos directos están la gravimetría y las placas de Richards, mientras que entre los métodos indirectos están los tensiómetros, los sensores de resistencia eléctrica, las sondas de neutrones y las medidas de la constante dieléctrica del suelo, donde estos últimos incluyen la reflectometría en el dominio de la frecuencia y la reflectometría en el dominio del tiempo. Los métodos directos son muy precisos, pero tienen el inconveniente de que son destructivos, requieren mucha mano de obra y son inservibles para el monitoreo de la humedad del suelo en continuo. Por ello se utilizan para calibrar métodos indirectos (Buesa, 2013).

2.5.1. Método gravimétrico

El método consiste en tomar una muestra de suelo húmedo, pesarlo y secarlo a 105°C hasta peso constante. El contenido del agua se calcula por la diferencia de peso. Este proceso de evaluación de la humedad es el más exacto de todos y, de hecho, se utiliza para calibrar a los demás métodos. Sin embargo, tiene los inconvenientes de la necesidad de mucho tiempo, es caro y destruye la muestra, Pizarro (1996).

2.5.2. Por reflectometría en el dominio del tiempo (TDR 300)

Uno de los métodos que permiten gestionar eficientemente el agua de riego en agricultura y la automatización es dar a las plantas el agua que necesita en cada momento estableciendo un balance hídrico empleando medidas de sensores de humedad del suelo. (Fernández *et al*, 2016).

Este método indirecto consiste en medir la constante dieléctrica del suelo mediante la aplicación de un campo eléctrico que disminuye como consecuencia de su polarización. La tendencia de un material a polarizarse se denomina permisividad dieléctrica (faradios/m), normalmente relativizada respecto de la del vacío y entonces llamada constante dieléctrica (Ka). (Buesa, 2013).

El principio bajo el cual trabaja el TDR 300 involucra la medición del tiempo en que una onda electromagnética a lo largo de una guía. La velocidad de la onda en los suelos depende de la permisibilidad dieléctrica en bruto (ϵ) para el suelo. El hecho de que el agua ($\epsilon = 80$) tiene una constante dieléctrica mayor que la del aire ($\epsilon = 1$) o los sólidos del suelo ($\epsilon = 3-7$) se explota para determinar el contenido volumétrico de agua. El contenido volumétrico de agua medido por el TDR 300 es un promedio a lo largo de la guía. (Medidor de humedad FieldScout, Manual, 2015).

Según Quinones *et al.* (2003) conociendo la distancia recorrida de la onda es $2L$ y la velocidad de propagación de la onda electromagnética (v), K la constante dieléctrica, (c) la velocidad de la luz y (t), el tiempo de ida y vuelta de una onda electromagnética se obtiene:

$$k = \left(\frac{tc}{2L}\right)^2$$

La electrónica en el TDR 300 genera y mide el regreso de una señal de alta energía que viaja hacia abajo y de regreso, por el suelo, a lo largo de una guía compuesta por las dos barras intercambiables de acero inoxidable. El volumen de muestreo es un cilindro elíptico que se

extienda por aproximadamente 3 centímetros hacia fuera de las barras. La información de la señal de alta frecuencia luego se convierte en contenido volumétrico de agua. De cualquier manera, los contenidos de arcilla y alta conductividad eléctrica ($EC > 2$ dS/m) atenuará la señal de alta frecuencia y afectará la lectura que se mostrará en el medidor. Altos contenidos de materia orgánica afectarán de manera similar la lectura de la humedad volumétrica, por lo que se recomienda hacer calibraciones para estos usos específicos. (Medidor de humedad FieldScout, Manual, 2015).

Para una mayor precisión, puede seleccionar hacer una calibración para un suelo o sustrato específico en lugar de utilizar las calibraciones por defecto que contiene el programa del TDR 300 (Estándar o Arcilloso). En estos casos se requiere una medición independiente de humedad será necesaria realizar un muestreo gravimétrico para una adecuada calibración.

2.5.3. Por reflectometría en el dominio de la frecuencia (FDR GS1)

Cada año se dispone de nuevos dispositivos y métodos para los agricultores. Nuevas técnicas para la determinación de humedad en el suelo utilizan instrumentos de medición de reflectómetros que funcionan en el dominio de frecuencia (FDR GS1). (Martin, 2017).

Se compone por tres secciones: unidad controladora, sensor, cable de acceso. Este aparato mide la humedad volumétrica de suelo a distintas profundidades.

Estos dispositivos han funcionado bien, pero tienen sus limitaciones: sus lecturas registran y abarcan solo un pequeño volumen de suelo, el que rodea a las guías o sondas. Los reflectómetros FDR GS1 son sensibles a la salinidad y temperaturas (4% de dependencia térmica), burbujas de aire que se forman entre los tubos de acceso y el suelo. En los suelos donde existe caliche u otras capas endurecidas como arcillas comprimidas, estas sondas pueden ser difíciles de instalar. Este tipo de problemas se complica cuando el suelo está seco. (Martin, 2017).

Éstos miden el contenido volumétrico indirectamente a través de la constante dieléctrica aparente del suelo, pero mediante la medición del tiempo que tarda en cargarse un condensador que utiliza el suelo como dieléctrico. Por ello se denominan también sensores capacitivos. Trabajan a frecuencias de entre 10 y 100 MHz, lo que hace que las medidas sean muy rápidas. (Buesa, 2013).

El FDR GS1 determina el contenido volumétrico de agua (VWC) midiendo la constante dieléctrica del medio usando capacitancia y frecuencia tecnología de dominio. La frecuencia de 70 MHz minimiza la salinidad y efectos de textura, lo que hace que el GS1 sea preciso en casi cualquier suelo o tierra medio. Usa un campo electromagnético para medir el dieléctrico permisividad del medio circundante. El sensor suministra una onda oscilante de 70 MHz a las puntas del sensor que carga de acuerdo al dieléctrico del material. La carga almacenada es proporcional al sustrato dieléctrico y al contenido de agua volumétrica del sustrato. los sensores mide la carga y emite un valor en bruto que correlaciona fuertemente a humedad volumétrica. Cuenta con calibraciones genéricas para suelos minerales y medios sin suelo incluidos el diseño de dos patas y la alta frecuencia permiten medir la humedad volumétrica de 0 a 57% (VWC de suelos saturados es generalmente de 40 a 50% dependiendo del tipo de suelo) y permite una precisión medición de todos los suelos y medios sin suelo con una amplia gama de salinidades. (GS1 Soil Moisture Sensor Operator's Manual, 2015).

2.5.4. Por resistencia eléctrica

El sensor de resistencia eléctrica de estado sólido que se utiliza para medir la tensión del agua en el suelo. A medida que la tensión cambia con el contenido de agua, la resistencia también cambia. Esa resistencia se puede medir usando el sensor de marca de agua.

El sensor consiste en un par de electrodos altamente resistentes a la corrosión que están incrustados dentro de una matriz granular. Se aplica una corriente a la marca de agua para obtener un valor de resistencia.

La marca de agua está diseñada para ser un sensor permanente, colocado en el suelo para ser monitoreado y "leído" tantas veces como sea necesario con un dispositivo portátil o estacionario. El yeso instalado internamente proporciona algo de amortiguación para el efecto de los niveles de salinidad que normalmente se encuentran en cultivos y paisajes agrícolas de riego.

El sensor de marca de agua es un dispositivo resistivo que responde a los cambios en la humedad del suelo. Una vez plantado en el suelo, intercambia agua con el suelo circundante manteniéndose en equilibrio con él. El agua del suelo es un conductor eléctrico que proporciona una indicación relativa del estado de humedad del suelo. A medida que el suelo se seca, se elimina el agua del sensor y aumenta la medición de la resistencia. Por el contrario, cuando el suelo se rehumedece, la resistencia disminuye.

El sensor de marca de agua es único ya que toma su medición resistiva dentro de un material de matriz interna definido y consistente, en lugar de utilizar el suelo circundante como medio de medición. Esta característica única permite que el sensor tenga una calibración estable y consistente que no necesita establecerse para cada instalación.

La lectura y relación de ohmio de resistencia a centibares (cb) o kilopascales (kPa) de la tensión del agua del suelo es constante y está integrada en los dispositivos de lectura que se utilizan para interrogar al sensor. El sensor Watermark consiste en electrodos de acero inoxidable incrustados en un material de matriz granular interno definido y consistente que actúa como un suelo en la forma en que mueve el agua. Esta matriz está encerrada en un material hidrófilo que establece una buena conductividad hidráulica con el suelo circundante y se mantiene en su lugar mediante una carcasa perforada de acero inoxidable resistente con tapas de plástico (Catalogo, IRROMETER).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ZONA DE ESTUDIO

El experimento se realizó en el Área Experimental de Riego (AER) perteneciente al Departamento de Recursos Hídricos de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional Agraria la molina (UNALM), ubicada en el valle de Ate Bajo del distrito de la Molina, provincia de Lima y departamento de Lima. Se encuentra situada en las coordenadas latitud sur $12^{\circ}4'41.77''S$, longitud oeste $76^{\circ}56'45.20''O$ y altitud 248 m.s.n.m. de la zona geográfica 18L la cual se puede observar en la Figura 6 .

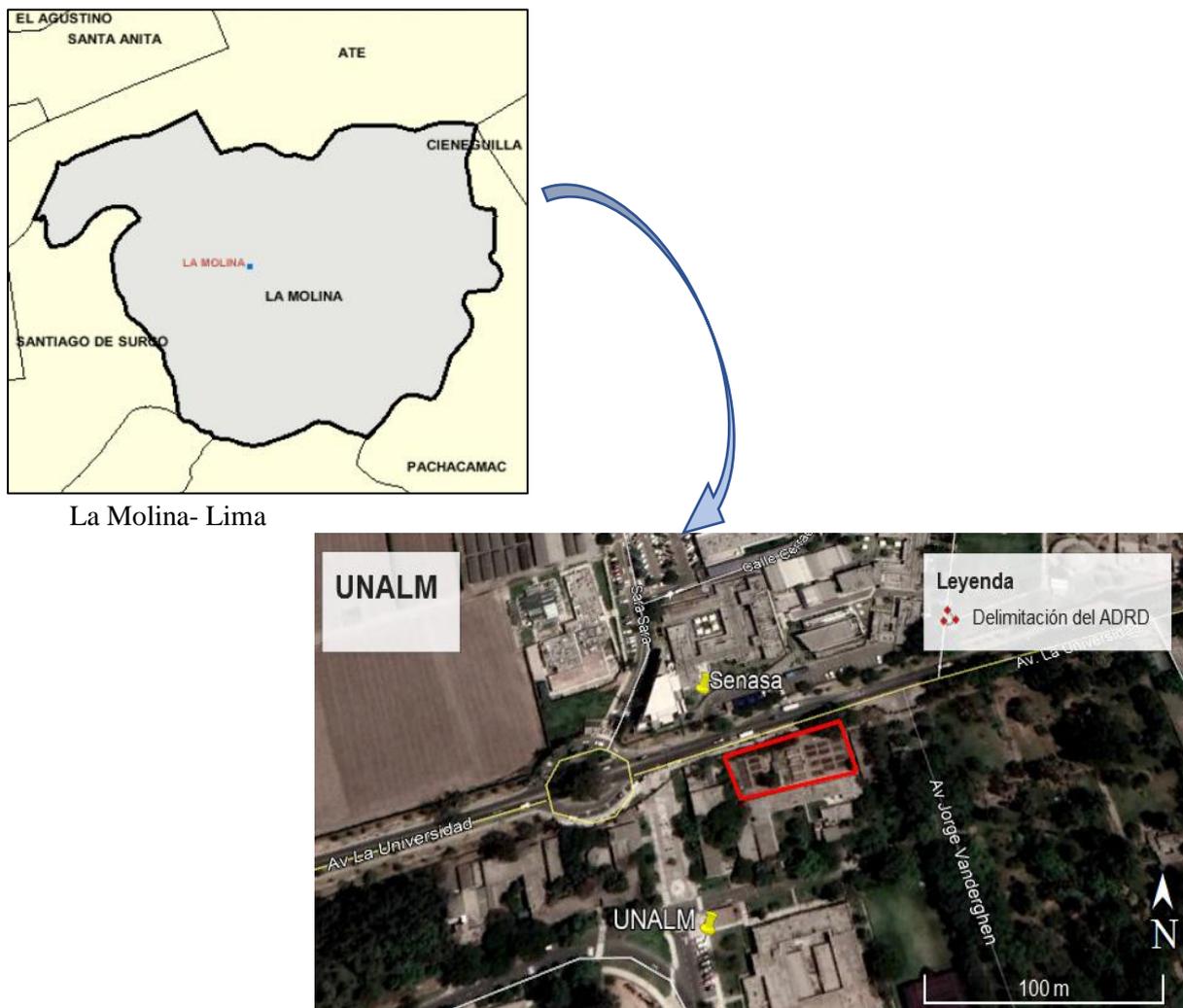


Figura 6: Ubicación de la Área Experimental de Riego (AER).
FUENTE: Google Heart

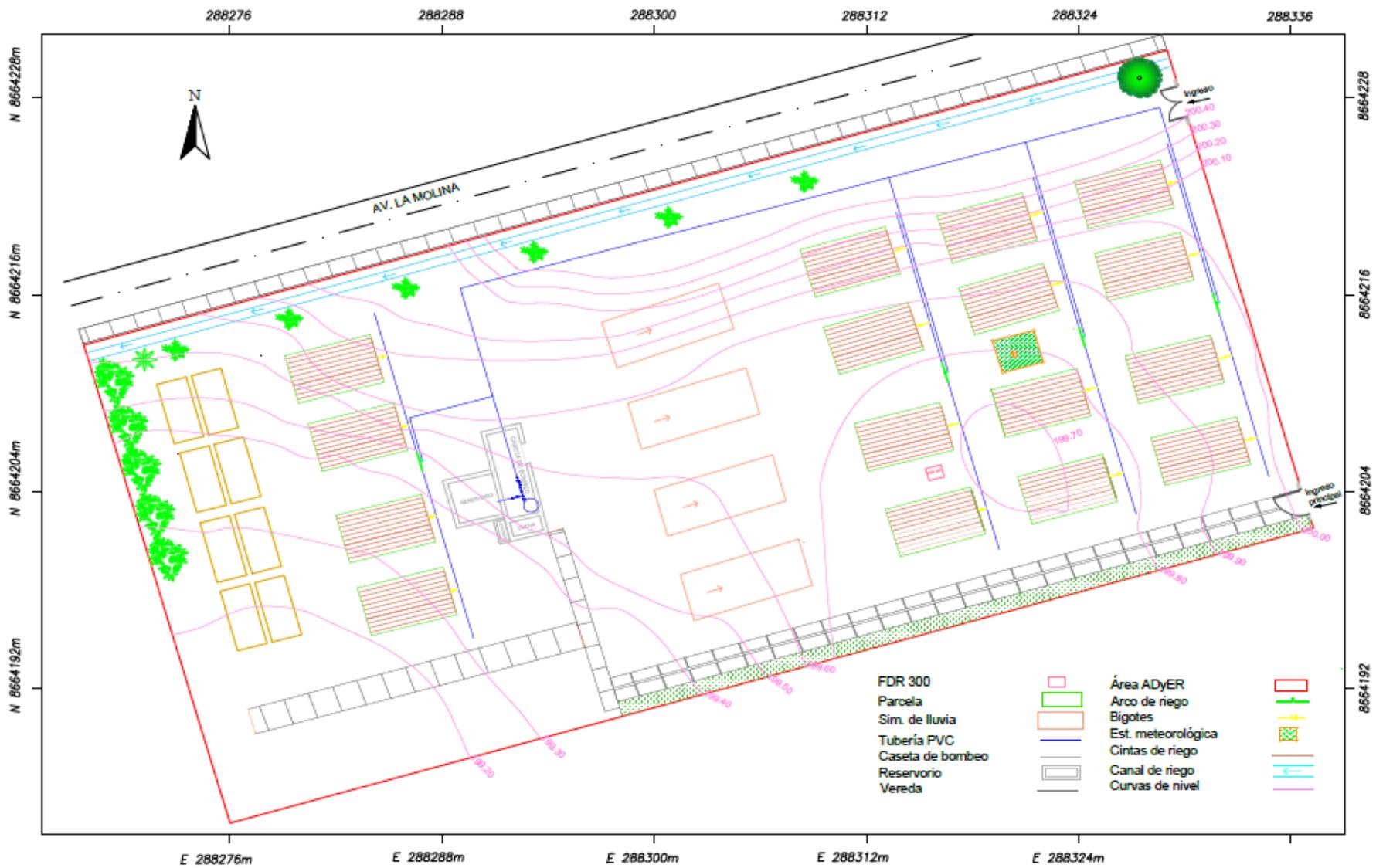


Figura 7: Plano general del Área Experimental de Riego- UNALM.

3.1.1. CLIMA

La información climatológica diaria fue recopilada de la estación meteorológica del Área Demostrativa y Experimental de Riego (latitud sur 12°4'41.77"S, longitud oeste 76°56'45.20"O), a una elevación de (248 m.s.n.m.). De acuerdo a la información climatológica diaria correspondiente al periodo vegetativo del cultivo del (08 de febrero 2017 al 02 de agosto 2017), se tiene la temperatura máxima de 31 (C°) en el mes de marzo y mínima de 14.2 (C°) en el mes de junio y agosto, en cuanto a la velocidad del viento se obtuvo entre el rango de 0.4-2.7 (m s⁻¹), precipitación máxima de 0.8mm y mínima de 0 mm, humedad relativa máxima de 95.1% en el mes de junio y mínima de 65.6 % en el mes de marzo, evapotranspiración de referencia determinada con el método de la FAO-Penman Monteith. teniendo una máxima de 5.43 mm/d en el mes de febrero.

3.1.2. AGUA DE RIEGO

El agua para riego empleada en el estudio fue proveniente del canal de riego de la Universidad Nacional Agraria la Molina. Los Análisis de calidad del agua se realizaron en el Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertirriego del Departamento de Recursos Hídricos de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional Agraria la molina, mostrando una conductividad eléctrica de 0.93 dS/m, pH 7.9 (clasificada como C3-Salinidad entre media y alta) según el mismo Laboratorio. También se contó con agua de cisterna que contaba con una conductividad eléctrica de 0.9 dS/m, pH 7.2, esta era traída del sector de Chosica durante los meses de marzo y abril, por falta de agua en el canal de riego de la universidad a causa del Fenómeno del Niño Costero. Ver ANEXO 1.

Para una mejor evaluación se realizó un análisis de los resultados del laboratorio de los cationes y aniones con el método radial, , según la ECA los estándares de calidad de agua de riego se tiene para cloruro de 5.6 meq/l y calcio de 10 meq/l, en la Figura 8, se observa el análisis realizado que contiene calcio en un 5.47 meq/l y cloruro 4.7 meq/l encontrándose dentro del rango permitido.

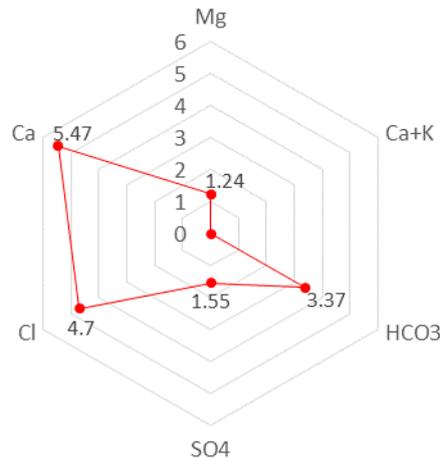


Figura 8: Distribución de cationes y aniones del agua de riego en un diagrama radial en (meq/l).

3.1.3. SUELO Y CARACTERISTICAS DE LA PARCELA

Para la caracterización física - química del suelo, se tomó 12 muestra a una profundidad de 30 cm del área efectiva del terreno para luego homogenizarla y sacar una porción equivalente a un kilo de suelo para el análisis, la cual fue llevada y analizada en el Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertirriego del Departamento de Recursos Hídricos de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional Agraria la Molina, este proceso se realizó en dos fechas, obteniéndose resultados del primer análisis de suelo en el mes de enero, con características de textura franco arenoso y una conductividad eléctrica del suelo 2.63 dS/m para una dilución de 1:1 de sustrato , Ver ANEXO 2 así como para el segundo análisis en el mes de mayo se obtuvo una conductividad eléctrica del suelo 3.53 dS/m para una dilución de 1:1 de sustrato ver ANEXO 3.

El campo experimental estuvo constituido por una superficie de 1950 m² , de las cuales solo fueron utilizables 180 m² divididas en 12 parcelas cada una con un área de 15 m², de 5m por 3m , cada parcela estaba conformada de 10 hileras cada uno con longitudes de 5 metros y espaciamiento entre hileras de 0.25m , el espaciamiento entre plantas de 25 cm, con goteros espaciados cada 30 cm teniendo tres plantas por golpe ,esto se puede observar en la Figura 9.

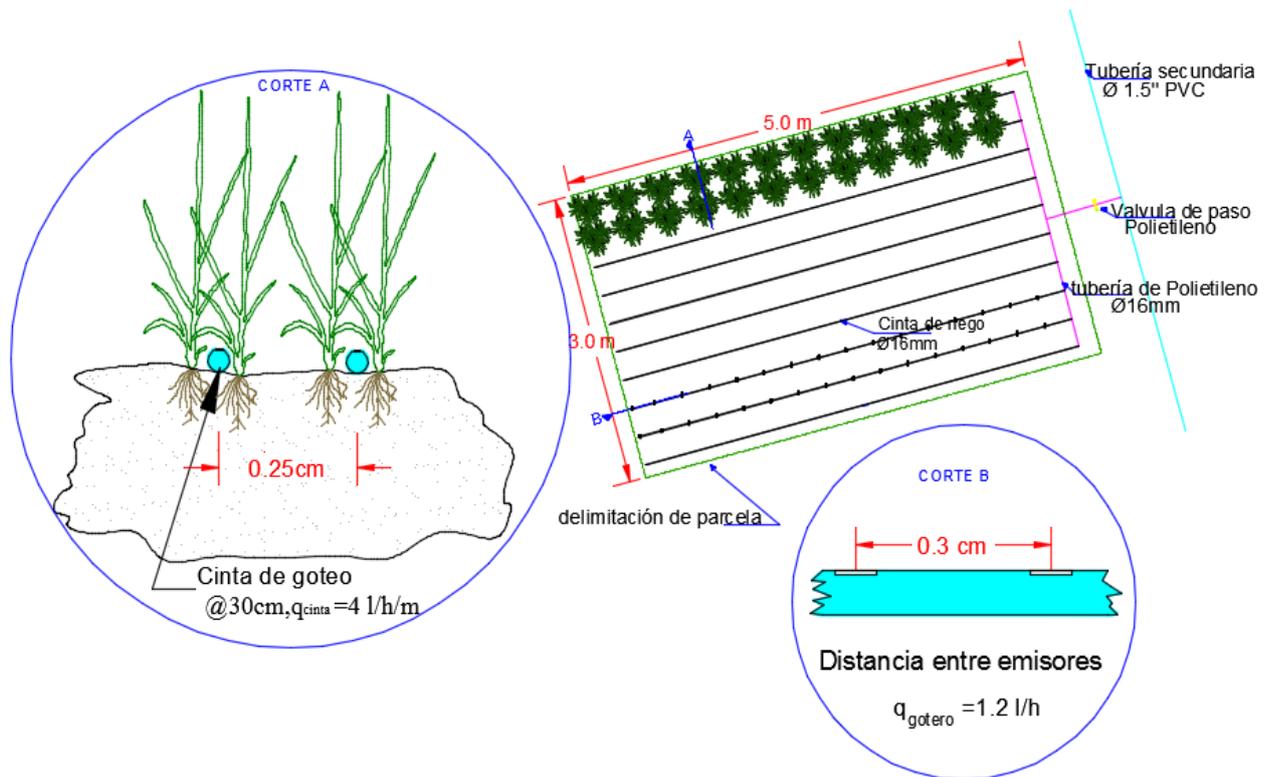


Figura 9: Distribución de las cintas de riego, tubería y dimensiones de la parcela.
FUENTE: Elaboración propia.

3.2. MATERIALES, EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

3.2.1. MATERIAL GENÉTICO

La variedad IR – 43 fue desarrollada y liberada por el International Rice Research Institute (IRRI) en el año 1980 para los países asiáticos. Es la variedad más sembrada en la costa del Perú, es una variedad semi enana con buen potencial de rendimiento, pero muy susceptible a pudriciones de la vaina y el tallo y al quemado. La fase vegetativa de este cultivar es variable de acuerdo a las condiciones climáticas como la luz solar, temperatura, niveles de nitrógeno y métodos de siembra. (Heros,2012). Ver Cuadro 4 .

Cuadro 4: Características agronómicas del Arroz (*Oryza Stiva*) variedad IR-43.

Cultivar	Altura de planta (cm)	Días de maduración total del grano	Rendimiento (t/ha)	Rendimiento molinero(%)	Rendimiento en grano entero(%)
IR – 43	100 – 110	145 – 175	9-12	70-73	60-63

FUENTE: Elaborado con información de Heros, E. (2012).

3.2.2. INSUMOS, EQUIPOS Y HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES

En la Cuadro 5 se muestra la relación de los insumos, herramientas de campo y equipos computacionales las cuales fueron siendo utilizadas de acuerdo a las necesidades en el campo y en gabinete hasta la cosecha del cultivo, así como también para el procesamiento de información y recolección de datos en campo.

Cuadro 5: Listado de insumos, Equipos, Materiales y Materiales computacionales utilizadas durante el periodo del cultivo.

Insumos	Detalle
Semilla de arroz IR-43	Proceso de sembrado
Bolsa de papel	muestreo de humedad gavimétrica
Fertilizantes, insecticidas, abono foliar, fungicidas.	Control de plagas, mejoramiento del cultivo
Herramientas de campo	Detalle
Cinta de riego, regla de 30cm, cinta métrica, pala de mano, pala recta,	Prueba de Bulbo Húmedo
Recipientes, cronometro, probeta, cuaderno de apuntes	Coficiente de Uniformidad
Manómetro, cuaderno de apuntes	Control de presiones
tornillo muestreados, balanza, estufa.	Muestreo para humedad gavimétrica
Balde de 20 litros, cronometro, libreta de campo	Medición de caudal
Pala, pico, lampa, carretilla, baldes.	Labores culturales
Mochila de fumigar	Control de plagas
Equipos	Detalle
TDR 300 manual	Sensor de humedad del suelo
FDR GS1	Sensor de humedad del suelo
Watermark	Medidor de presión del suelo
Balanza	Pesado de muestras
Conductivimetro	control de sales en el suelo
Estación meteorológica	Colecta de datos climatológicos
Herramientas Computacionales	Detalle
Weatherlink	Descarga de información de la estación meteorológica
Data trac 3	Descarga de información del FDR
AutoCAD	Elaboracion de planos
Matlab	Elaboracion de gráficas

FUENTE: Elaboración propia.

3.3. PROCEDIMIENTO

3.3.1. Acondicionamiento del terreno y habilitación del sistema de riego

La preparación del campo experimental del Área Demostrativa y Experimental de Riego se desarrolló de la siguiente manera:

a. Limpieza y lavado de sales del terreno

Se realizó una limpieza general de toda el área de trabajo, comenzando con la poda de árboles y arbustos que se encontraban en los linderos del terreno, también se recolecto todo tipo de residuos tóxicos, residuos de cosecha, residuos urbanos, desmontes, restos de construcciones las cuales fueron retiradas y trasladadas por la Oficina de Gestión Ambiental (OGA) de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

Después de ello se realizó la definición de parcelas en del terreno con dimensiones de 3 m de ancho y 5 m de largo para cada parcela, continuando con las actividades culturales en las parcelas, para mejorar las condiciones físicas del suelo se realizó: labranza, arado, rastrillado, con tres volteos hasta una profundidad de 0.5 m.

Se sacó muestras de suelo para la caracterización físico – químico del suelo, la cuales se llevó al laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertirriego del Departamento de Recursos Hídricos la Facultad de Ingeniería Agrícola. Donde se obtuvo resultados de, pH, concentraciones de cationes y aniones, conductividad eléctrica a inicios de la siembra de 2.63 (dS/m) en una proporción de 1:1 y 5.73(dS/m) en proporción de 1:3 las cuales en base a estos resultados obtenidos del suelo y requerimientos por el cultivo por ello teniendo la necesidad de realiza el lavado del suelo del área demostrativa y experimental de riego con fracción de lavado, ya que según (INTAGRI,2017) la CE máxima para el arroz es de 3 (dS/m), por ello se calculó, la fracción de lavado para sistema de riego por goteo según la siguiente ecuación obtenida de Pérez (2014).

$$FR = CEa / (2maxCEe)$$

Dónde: FR es la fracción de lavado expresada en tanto por uno, CEa es la conductividad eléctrica del agua de riego en dS/m, Máx CEe es la conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo para la cual el descenso de producción es del 100% se expresa en dS/m.

Este proceso de lavado se realizó con la instalación de una bomba en el reservorio y una manguera de polietileno de una pulgada, la cual trasladaba directamente desde está a cada una de las parcelas.

b. Evaluación del sistema de riego por goteo

Se contó con el sistema de riego instalado en campo la cual se tuvo que habilitar para la investigación, el diseño del sistema de riego por goteo comprende de un diseño hidráulico

la cual se puede observar en el ANEXO 8. Se contó con una cinta de riego toro Neptuno con un caudal 4 l/h/m, con un área de humedecimiento de 100%. La perdidas de carga en el sistema desde el cabezal de riego hasta el último arco de riego es de 1mca, así como la carga dinámica en las condición más crítica cuando se apertura los tres arcos de riego las cuales irrigaban las 12 parcelas fue de (14.8 m.c.a). En este caso no se adquirió la bomba ya que se contaba con una bomba salmson ya instalada de 1.5Hp (60Kw) de caudal máximo de 6 m3/h, H max de 50m, así como también cabezal de riego, arcos de riego, tuberías primarias, secundaria y terciarias.

Para la programación de riego se estimó la lámina neta y lámina bruta requerida por el cultivo de arroz las cuales fueron calculadas en el diseño agronómico del cultivo, teniendo siempre en cuenta el tipo de gotero existente, Kc mensual teórico, capacidad de retención del suelo, frecuencia de riego, tiempo de riego, las cuales son las principales para el manejo y control de la lámina de riego que fue aplicada; se puede ver en él ANEXO 6. Para el cálculo de la evapotranspiración de referencia se utilizó la ecuación de Penman-Monteith, ver Figura 10.

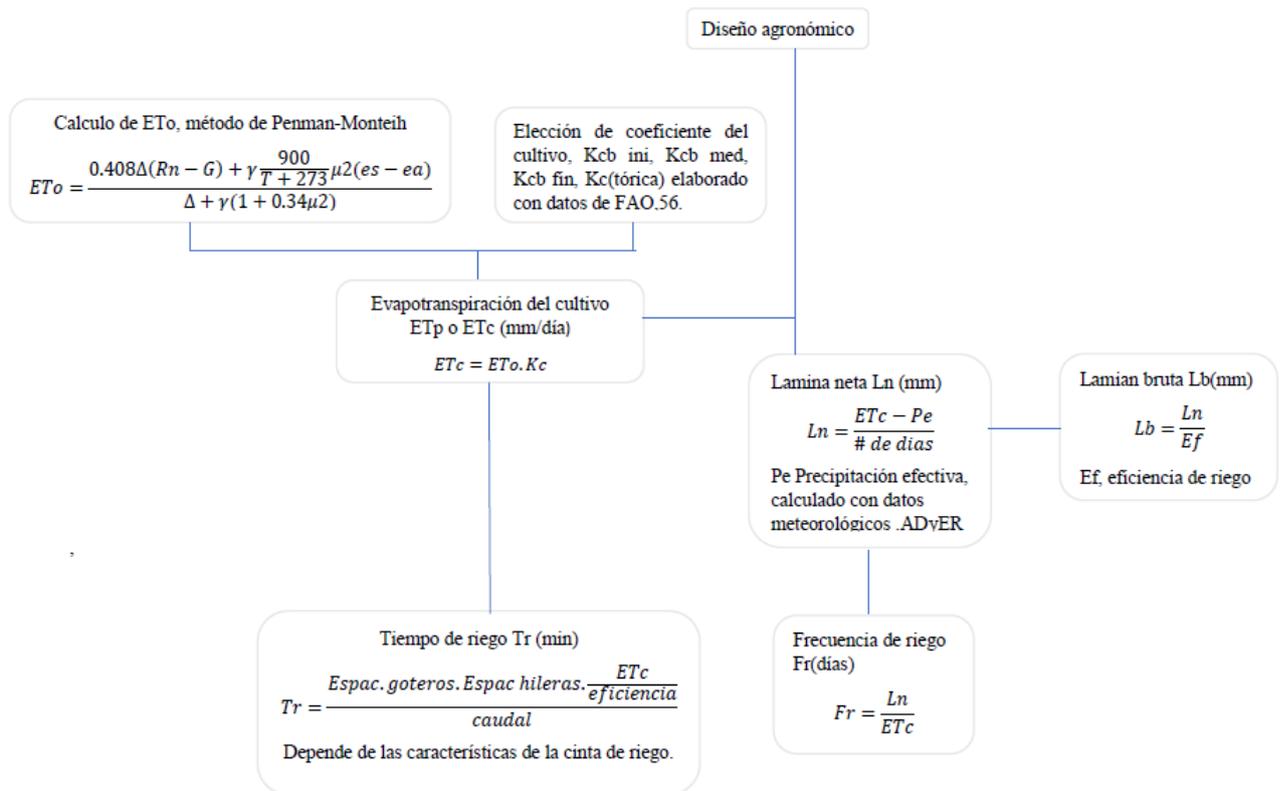


Figura 10: Metodología utilizada para el diseño agronómico.

FUENTE: Elaborado con información de Pizarro (1996), Allen *et al.* (2006) Y FAO (2006)

c. Habilitación y mantenimiento del sistema de riego

El sistema de riego del Área Demostrativa y Experimental de Riego cuenta con un cabezal de riego, arcos de riego, reservorio y red de tuberías primarias, secundarias, terciarias y cintas de riego.

Se realizó el mantenimiento del cabezal de riego y de su accesorio como es el caso del filtro de anillos y la reparación de tablero de riego para la automatización del sistema, cambio de cableado eléctrico que conecta al tablero de riego con los arcos de riego, todo ello por antigüedad para un adecuado manejo y control de tiempo de riego, se observa en la Figura 11.

Instalación de nuevos arcos de riego con electroválvulas, accesorios, puntos para control de presión. Ver Figura 12.

El reservorio de 2 m x 2m x 4m de profundidad con un volumen de almacenamiento de 16 m³, a la cual se le realizó mantenimiento a inicios ya que esta contaba con lodo, se cambió la válvula check, y la impermeabilización y pintado de las paredes, observe en Figura 13.

Cambios de las tuberías principales, secundarias, terciarias, así como la cinta de riego de 30cm de espaciamiento entre goteros, caudal de 4 l/hr/m. de la marca Toro-Neptune, todo esto debido a que se generaba muchas pérdidas de carga por fugas de agua en tuberías. Para mayor detalles y ubicación ver imágenes en la Figura 14.

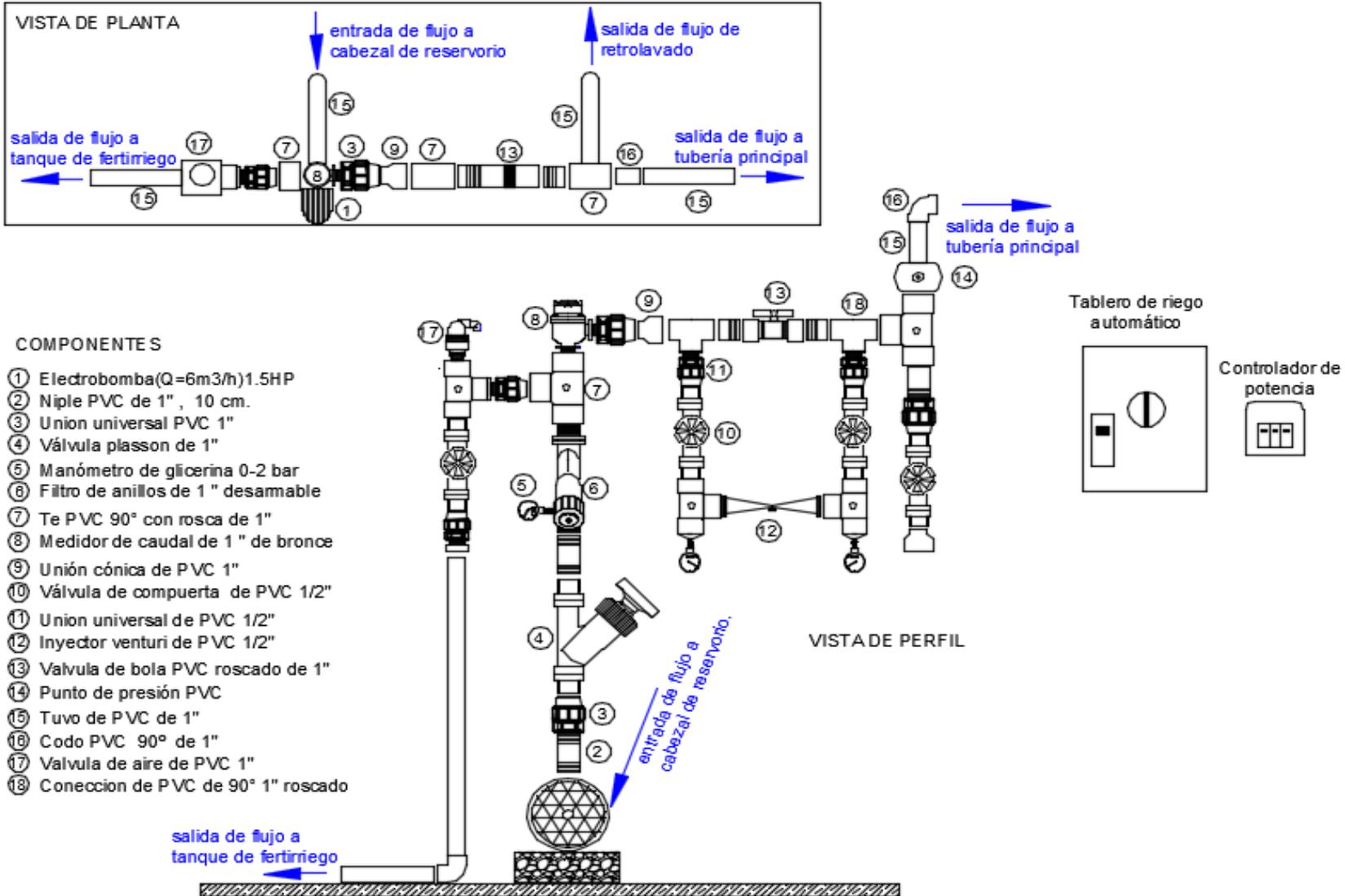


Figura 11: Detalles del cabezal de riego del Área Experimental de Riego (AER).

FUENTE: Elaboración propia

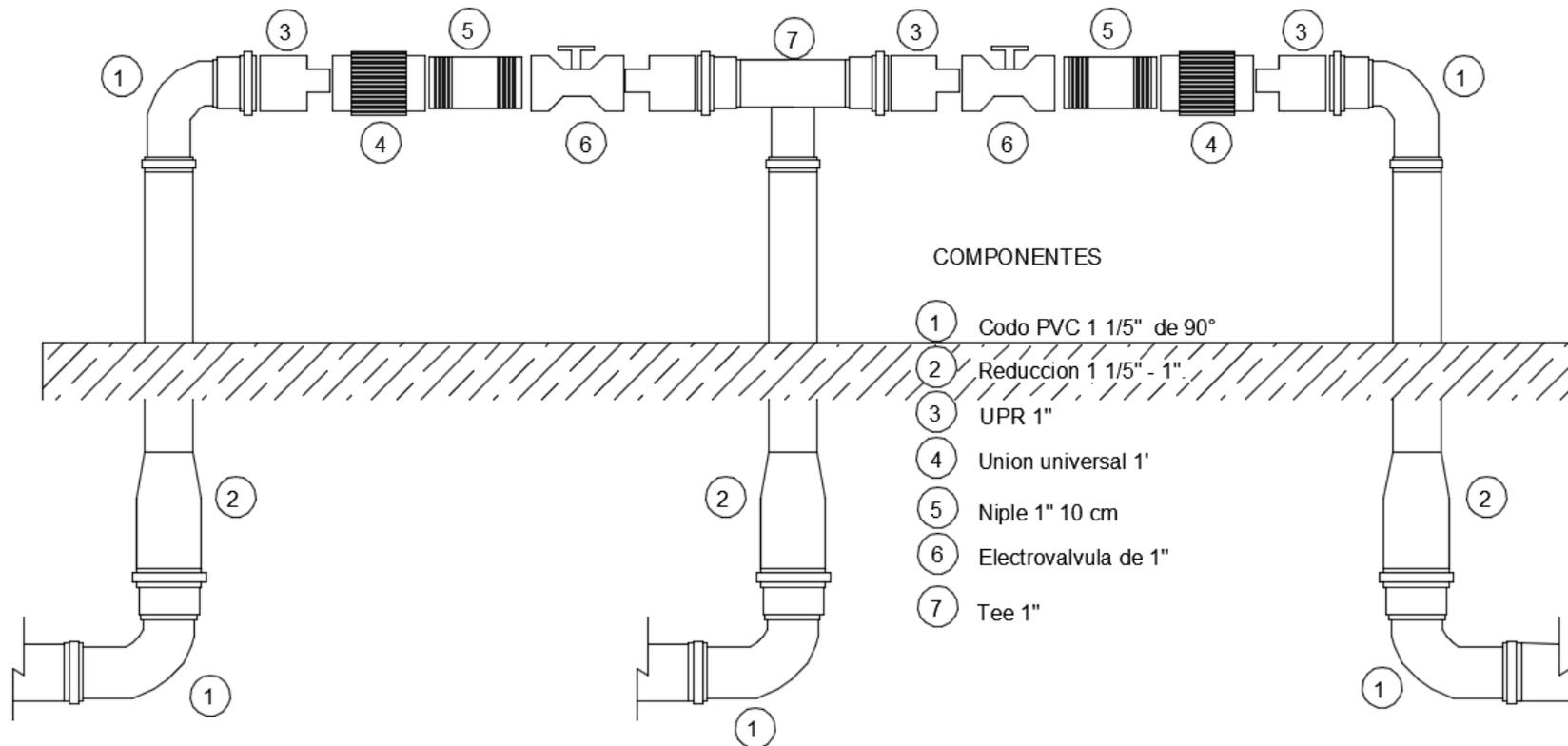


Figura 12: Detalles del arco de riego instalados en el campo del Área Experimental de Riego (AER).

FUENTE: Elaboración propia

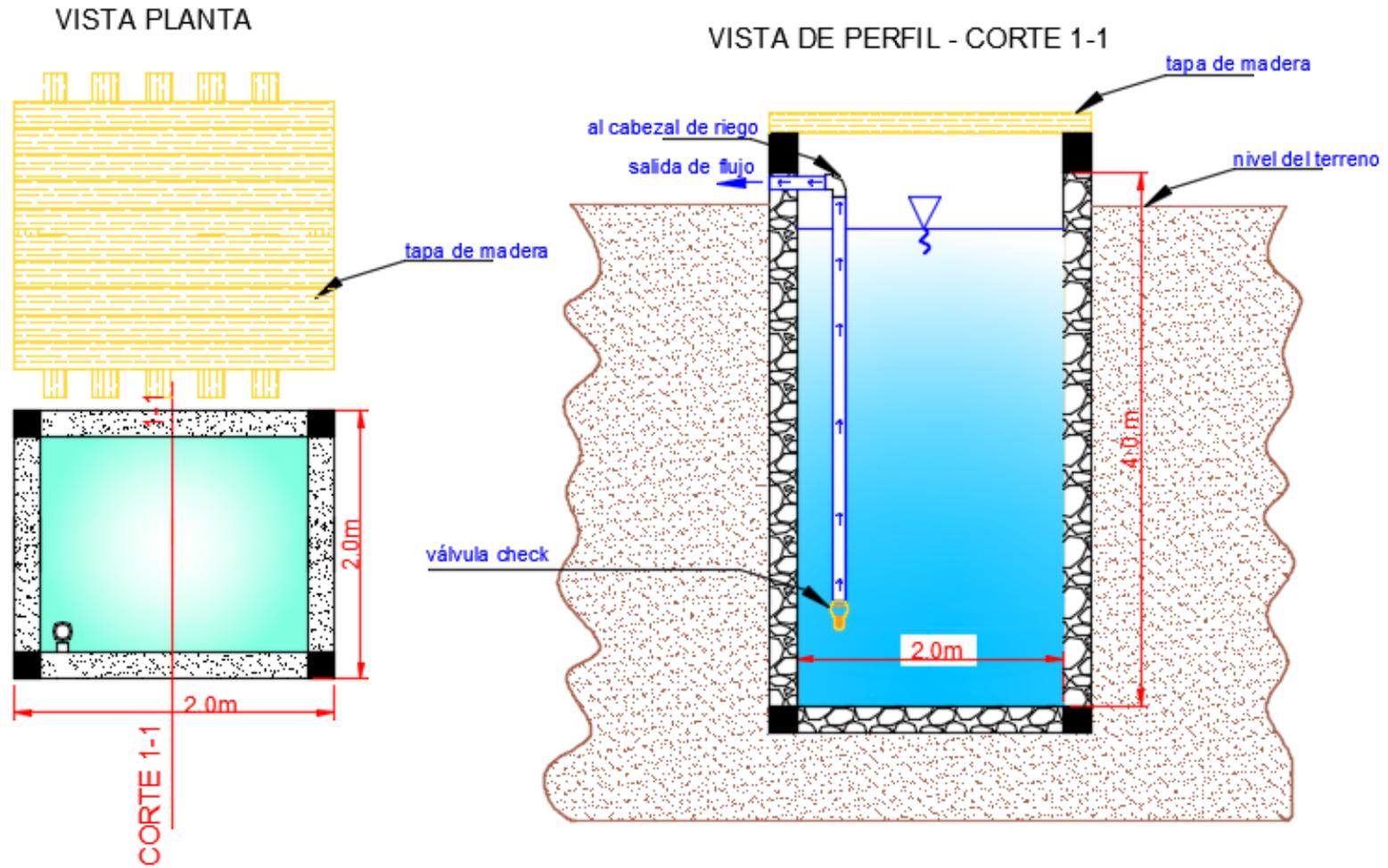


Figura 13: Detalles del Reservorio del Área Experimental de Riego (AER).
Fuente: Elaboración propia.



a) Cabezal de riego existente



b) Arco de riego mejorados en campo



c) Reservorio y cambio de válvula check



d) cambio de la red de distribución



e) Instalación de purgas al finalizar líneas tercerías



f) Cintas de riego instalado en campo

Figura 14: Instalación de arcos de riego, tuberías, reservorio y cabezal de riego.

También se realizó la evaluación de indicadores de eficiencia del sistema de riego como: prueba del bulbo húmedo en tres etapas del cultivo: instalación de las cintas de riego, máximo macollamiento y al finalizar la etapa del cultivo, esto para verificar el buen funcionamiento de los goteros ya que pueden sufrir taponamientos debido a una acumulación de algas o limos, las cuales pueden traer problemas en la aplicación del agua de riego al cultivo, así también para verificar el grado de compactación del suelo siendo un factor de importancia para la filtración. El proceso de evaluación se realizó en condiciones secas en cintas instaladas al costado de los sembrillos de los cultivos, siendo estas escogidas al azar en primera evaluación, en las otras dos se volvía a coger las mismas cintas para las respectivas evaluaciones, los bulbos evaluados eran tres goteros escogidos al azar por cada cinta, prevaleciendo estas hasta el final de temporada. Las tres cintas de riego contaban con tres válvulas para su cierre respectivo en los tiempos de 10, 15, 30 min. como se muestra en la Figura 15.



a) Instalación de cintas de riego al costado de las parcelas



b) Válvulas para el control del caudal en los diferentes tiempos.



c) Medida del diámetro del bulbo húmedo



d) Medida de profundidad del bulbo húmedo

Figura 15: Evaluación de bulbo húmedo.

La evaluación de un sistema de riego permite obtener la uniformidad de aplicación del agua a través del sistema de riego, esta puede ser relacionada con la eficiencia de aplicación, coeficiente de déficit, etc.

Se evaluó el coeficiente de uniformidad (CU) del sistema de riego mensualmente para verificar el buen funcionamiento. En la Figura 16 se visualiza la distribución a seguir para la determinación de CU.



Figura 16: Representación gráfica y control en campo de la evaluación de coeficiente de uniformidad.

FUENTE: INTAGRI(2017).

Con los datos recolectados en campo se calculará el CU y clasificado su eficiencia según:

$$CU = 100 \frac{q_{25\%}}{q_{med}}$$

Donde $Q_{25\%}$ es la medida del 25% de los valores más bajos de los volúmenes recogidos en litros/hora y q_{med} es la media de todos los volúmenes de agua recogidos, en litros/hora.

d. Instalación de estación meteorológica

Se instaló la Estación Meteorológica automatizada Davis Pro en la parte central del campo con coordenadas latitud sur $12^{\circ}4'41.77''S$, longitud oeste $76^{\circ}56'45.20''O$ y altitud 248 m.s.n.m, el cerco con dimensiones de 2m de ancho y 2 m de largo con enmallado de acero y una barra fija de acero en el centro del área mencionada donde se colocaron los equipos de medición de temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, horas de sol y precipitación, estos datos fueron recopilados a diario y almacenados en un stored data instalado en la oficina del AER, descargadas con el programa weatherlink. La estación meteorológica también nos brinda información de evapotranspiración del cultivo de referencia (E_{to}) calculada por el método de Penman modificado.



Cerco perimétrico de la estación meteorológica en campo.



Estación DAVIS Pro

Figura 17: Instalación de estación meteorológica en campo experimental del AER.

e. Conducción del cultivo

Para la siembra de cultivo de arroz la semilla fue proveniente del INIA Vista Florida a la cual se realizó dos muestras para la prueba de germinación, obteniéndose de cada 100 semillas sacadas al azar se observó el porcentaje de germinación en las dos pruebas, teniendo un promedio de germinación de 99%; todo este proceso se llevó a cabo en el laboratorio de Riegos y Drenaje del Departamento de Recursos Hídricos de la Facultad de Ingeniería Agrícola.

Para luego realizar la siembra en seco de forma directa, con una densidad de 80Kg/ha. en 10 hileras de 5 m de largo, espaciamientos entre hileras 0.25m. Un resumen de las actividades realizadas se indica en la Cuadro 6. En la Figura 18 se observa la instalación de plástico transparente para la protección de las bajas temperaturas en las épocas más frías.



Figura 18: protección de las temperaturas bajas con plásticos.

Cuadro 6: Calendario agrícola durante todo el periodo del cultivo.

Día	Mes	Año	DDS	Actividades
20	Ene	2017	-20	Riego intenso
31	Ene	2017	-5	Arado del terreno
5	Feb	2017	-3	Rastriado y nivelacion del terreno manualmente
8	Feb	2017	1	Siembra en seco
8	Feb	2017	1	Inicio de riego establecido con el cronograma de riego
10	Feb	2017	2	Inicio de emergencia de la plantula
13	Feb	2017	6	Inicio de plantula (5 hojas verdaderas)
15	Feb	2017	7	Colocación de sensores de humedad Watermark
17	Feb	2017	9	Inicio de medición de humedad con TDR
24	Feb	2017	17	Evaluación del bulbo húmedo(inicio de temporada)
24	Feb	2017	17	Evaluación del coeficiente de uniformidad
6	Mar	2017	27	Inicio de macollamiento, aplicación de fertilizantes (Urea, Fosfato Di amonio, Sulfato de potasio)(60-60-60)
13	Mar	2017	34	Instalación de la estación meteorológica
15	Mar	2017	36	Cambio de tuberías principales y secundarias
17	Mar	2017	38	Mejoramiento de arcos de riego
21	Mar	2017	41	Evaluación de la conductividad eléctrica
29	Mar	2017	49	Instalación de FDR (Reflectometria en el dominio de frecuencia) en campo.
27	Mar	2017	47	Evaluación de coeficiente de uniformidad
31	Mar	2017	51	Muestreo de suelo(método del cilindro) para el cálculo de densidad aparente
4	Abr	2017	55	Evaluación de coeficiente de uniformidad
4	Abr	2017	55	Evaluación de la conductividad eléctrica
5	May	2017	86	Inicio de punto de algodón
9	May	2017	90	Evaluación de coeficiente de uniformidad
12	May	2017	93	Observación de la primera panícula en campo
12	May	2017	93	Aplicación de abono foliar, siempre haciendo el buen uso y manejo de agroquímicos (BUMA)
15	May	2017	96	Aplicación de abono foliar siempre haciendo (BUMA)
15	May	2017	96	Evaluación de la conductividad eléctrica
25	May	2017	106	Proteccionde parcelas con plástico transparente para cubrir en las bajas temperaturas
26	May	2017	107	Aplicación de agroquímicos (protix,agry ben duo,benlate,siliconAG) , siempre haciendo el (BUMA) para el control de insecto del gusano cogollero
29	May	2017	110	Desarrollo de la panicula
3	Jun	2017	115	Instalación de plástico azul en los bordes de cada parcela
7	Jun	2017	119	Inicio de floración, aplicación de fertilizantes (Urea, Fosfato Di amonio, Sulfato de potasio) (60-0-0)
12	Jun	2017	124	Aplicación de Azoo Duo , con buen uso y manejo de agroquímicos (BUMA)
16	Jun	2017	128	Conteo de numero de macollos y altura de planta
19	Jun	2017	131	Inicio de grano lechoso
20	Jun	2017	132	Evaluación de bulbo húmedo (mitad de temporada)
22	Jun	2017	134	Evaluación de coeficiente de uniformidad
3	Jul	2017	145	Inicio de grano pastoso
6	Jul	2017	148	Evaluación de la conductividad eléctrica
14	Jul	2017	156	Corte de riego
16	Jul	2017	158	Inicio de maduracion
31	Jul	2017	173	Evaluación de coeficiente de uniformidad
1	Ago	2017	174	Evaluación de porcentaje de humedad de grano
2	Ago	2017	175	Cosecha del cultivo.
10	Ago	2017	183	Evaluación de coeficiente de uniformidad

FUENTE: Elaboración propia.

3.3.2. MONITOREO DE LA HUMEDAD DEL SUELO

Para el monitoreo del contenido de humedad del suelo se contó con tres sensores instaladas en campo como el FDR GS1 (GS1 Decagon, con instalación de software Data Trac 3), TDR 300 y watermark, luego de su instalación en campo se realizó la calibración de los tres sensores de humedad, cada uno de estos fueron calibrados gravimétricamente, todo este proceso de calibración se realizó en las primeras etapas del cultivo, del primer sensor mencionado anteriormente se instalaron cinco con distintas profundidades, 3 de ellos a una profundidad de 30 cm. en tres parcelas y 2 a una profundidad de 15 cm. así como también la instalación de la caja protectora del stored data, programada para lecturas cada hora en campo. El TDR 300 portátil cuenta con varillas de 20cm, 12cm, 7.5cm, 3.5cm. las cuales pueden ser utilizadas de acuerdo al crecimiento de las raíces, estas se pueden trasladar por el terreno para tomar medidas en diferentes puntos, para la toma de datos de este equipo solo se introduce las varillas de acero perpendicular al terreno y teniendo presente que no quede en contacto con el aire ya que este afectaría a la lectura. También se instalaron 4 sensores de humedad Watermark a una profundidad de 15 cm y 30 cm, la instalación se realiza en suelo saturado y con la ayuda de un tubo de PVC de 3/4", primero se sacó un poco de suelo con el tornillo muestreador para luego introducir el watermark perpendicular al suelo con la ayuda de un tubo de PVC, siempre tratando de no dejar espacios vacíos donde pueda circular el aire lo que distorsionaría una lectura adecuada, para mayor información de instalación ver Figura 1918 y Figura 2019.

Para el análisis la prueba estadística T-Student con respecto a los datos brindados por los tres sensores de humedad del suelo se trabajó con un nivel de significancia del 5% e hipótesis nula que indica que las variables son independientes y distribuidas normalmente. Los intervalos de confianza de las correlaciones de Pearson (r) es un índice de dependencia lineal entre dos variables sus valores adimensionales varían de menos uno a uno, Hirsh, *et al* (1992).

$$T_c = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad r = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y}$$

Dónde: T_c es el estadístico t-Student . H_0 es rechazada si $|T_c| > T_{1-\alpha/2}$, donde $T_{1-\alpha/2}$ es un punto de la distribución t-Student con $n-2$ grados de libertad y probabilidad de excedencia de $\alpha/2$, r es el coeficiente de correlación de Pearson; σ_{xy} , covarianza de 'x, y', y $\sigma_x \sigma_y$, desviación estándar de 'x' y 'y'

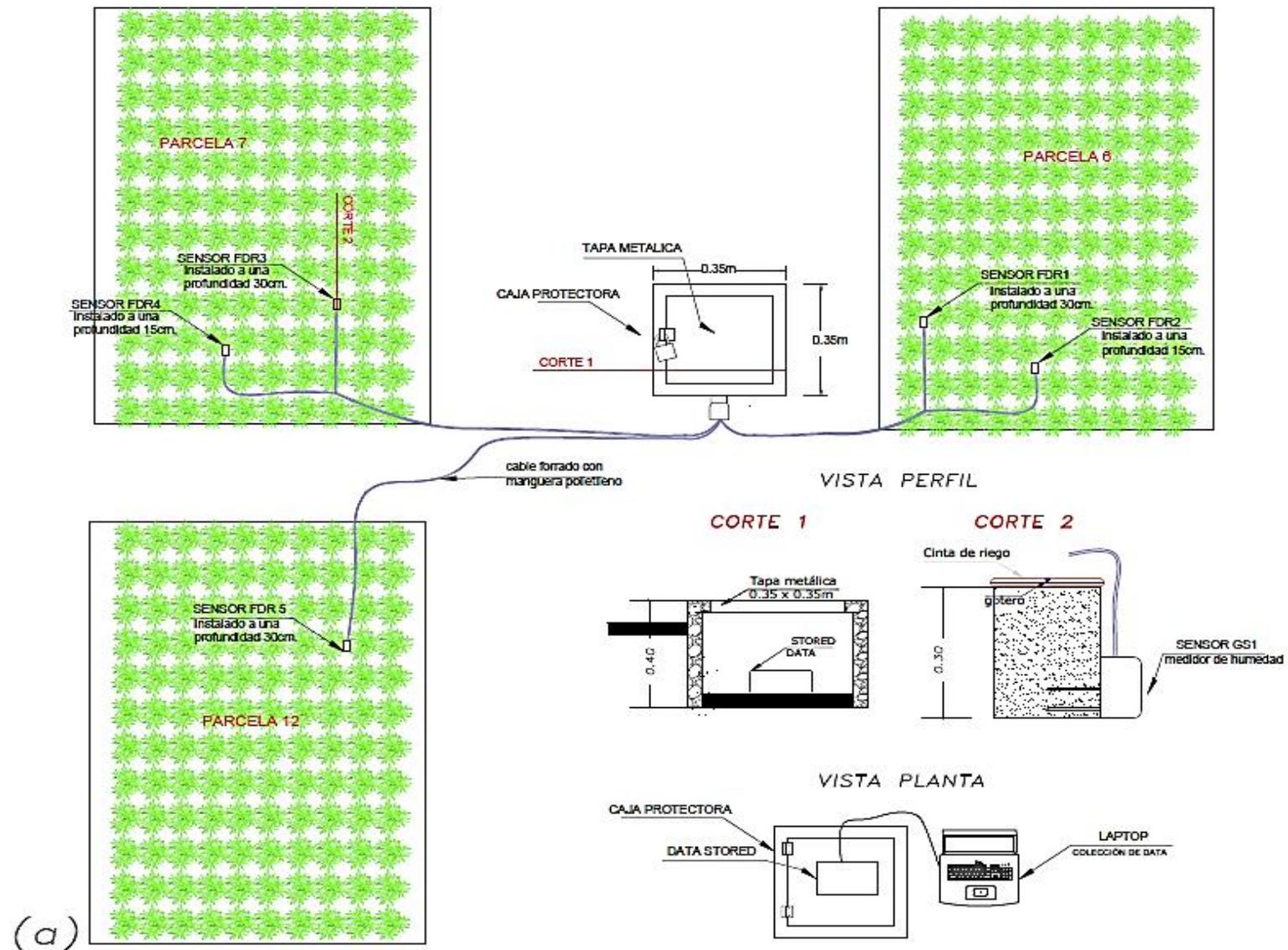


Figura 19:Esquema de instalación y toma de dato del sensor de humedad: (a)FDR GS1.

FUENTE: Elaboración propia.

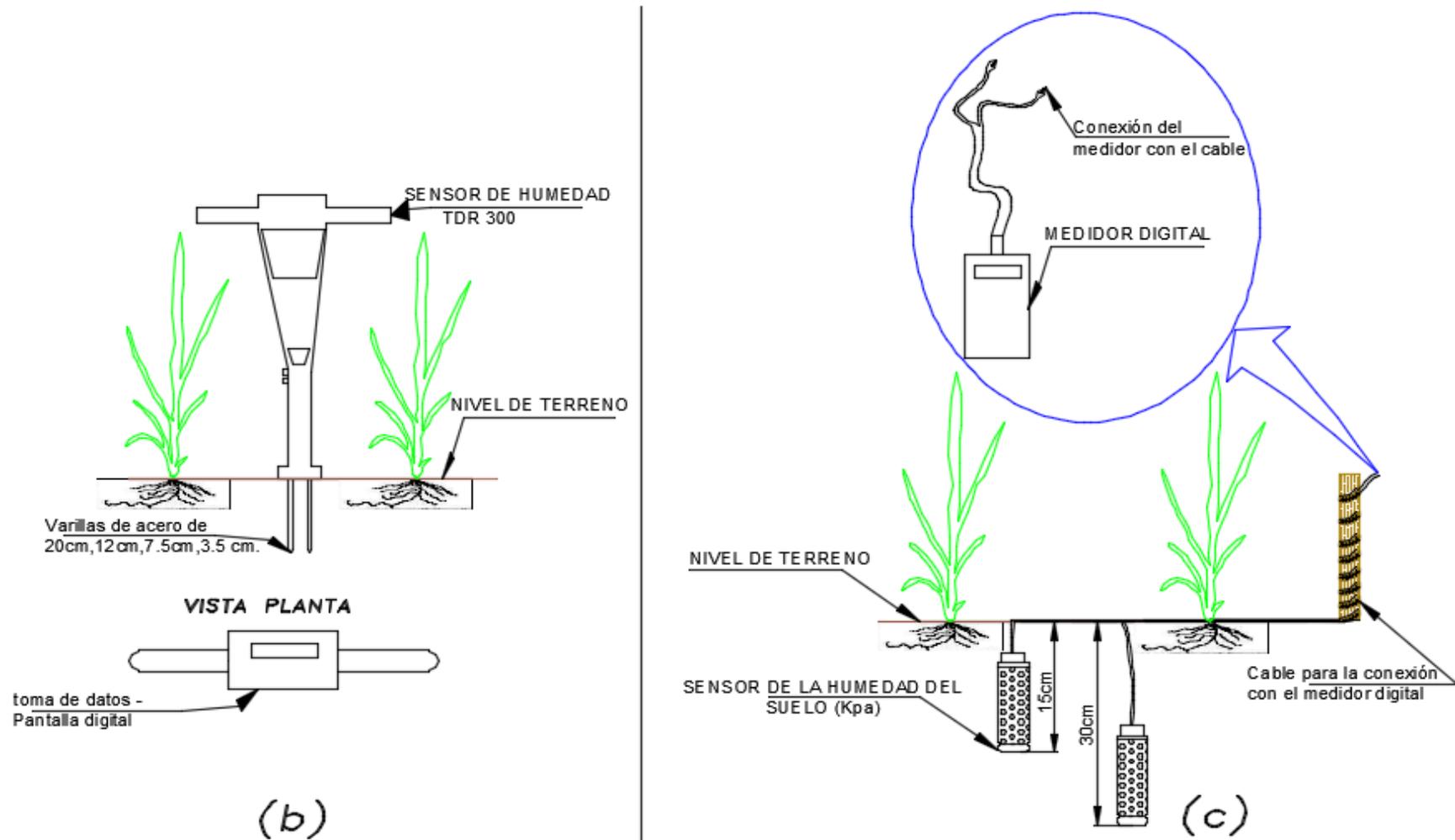


Figura 20:Esquema de instalación y toma de datos de los sensores de humedad: (b) TDR 300 y (c)Watermark.

FUENTE: Elaboración propia



a) Sensores de humedad GS1 del FDR GS1.



b) Instalación de data stored del FDR GS1 en campo.



c) Varillas de medición del TDR 300.



d) Toma de datos con TDR 300.



e) Saturación de watermark por 24 horas, antes de instalación en campo



f) Instalación de watermark en campo

Figura 21: Panel fotográfico de la instalación y colecta de datos en campo de los sensores de humedad del suelo.

3.3.3. Evaluación experimental de los indicadores agronómicos.

La estimación de los componentes del rendimiento (Kg/ha) se evaluaron en la etapa de maduración y cosecha del cultivo según los detalles que se indican:

a. Altura de planta

Estas fueron medidas desde la superficie del suelo hasta el ápice de la panícula, se escogieron tres plantas al azar de cada parcela; las medidas se realizaron en la etapa de maduración del cultivo.

b. Macollos por planta

Esta evaluación se realizó a los 86 días después de la siembra (DDS) en la etapa máxima de macollamiento, para la verificación del número máximo de macollos, en tres plantas siendo estas las mismas que se evaluaron la altura.

c. Numero de panículas por planta

Se realizó en la etapa de cosecha, estas también fueron evaluadas en las mismas plantas donde se contabilizo el número de macollos.

d. Número de granos llenos por panícula, granos vanos

Esta evaluación se realizó en una panícula tomada al azar entre las plantas evaluadas teniendo así un máximo de granos llenos y enteros y granos vanos.

e. Peso de mil granos llenos

Esto se realizó en el laboratorio debido a que se llevó a estufa solo granos enteros por 24 horas a 30 °C, hasta obtener peso constante y pesarla en una balanza analítica.

f. Rendimiento en grano

El rendimiento en grano se determinó por planta ($\#panícula/planta * \#granos/panícula * peso$ de mil granos) por el número total de plantas por parcela, para luego llevarlas a hectáreas. El peso se ajustó al porcentaje de humedad de cosecha (14%).



a) Segado de arroz para evaluación



b) Conteo de panículas por planta



c) Conteo de números de granos llenos y vanos por panícula



d) Peso de mil granos

Figura 22:Actividades realizadas durante la cosecha del cultivo.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. MONITOREO DE LA HUMEDAD DEL SUELO

Para comenzar con el monitoreo del contenido de humedad del suelo se realizó una calibración a los tres tipos de sensores instalados en campo, donde se relacionó el contenido de humedad volumétrica del suelo y la humedad volumétrica registrada por el TDR 300 y FDR GS1, a diferencia del watermark este tuvo una correlación de resistencia en kilopascales (Kpa), las cuales se observan en la Figura 232. La característica del suelo es un franco arenoso de las parcelas experimentales del Área Demostrativa y Experimental de Riego de la Universidad Nacional Agraria la Molina.

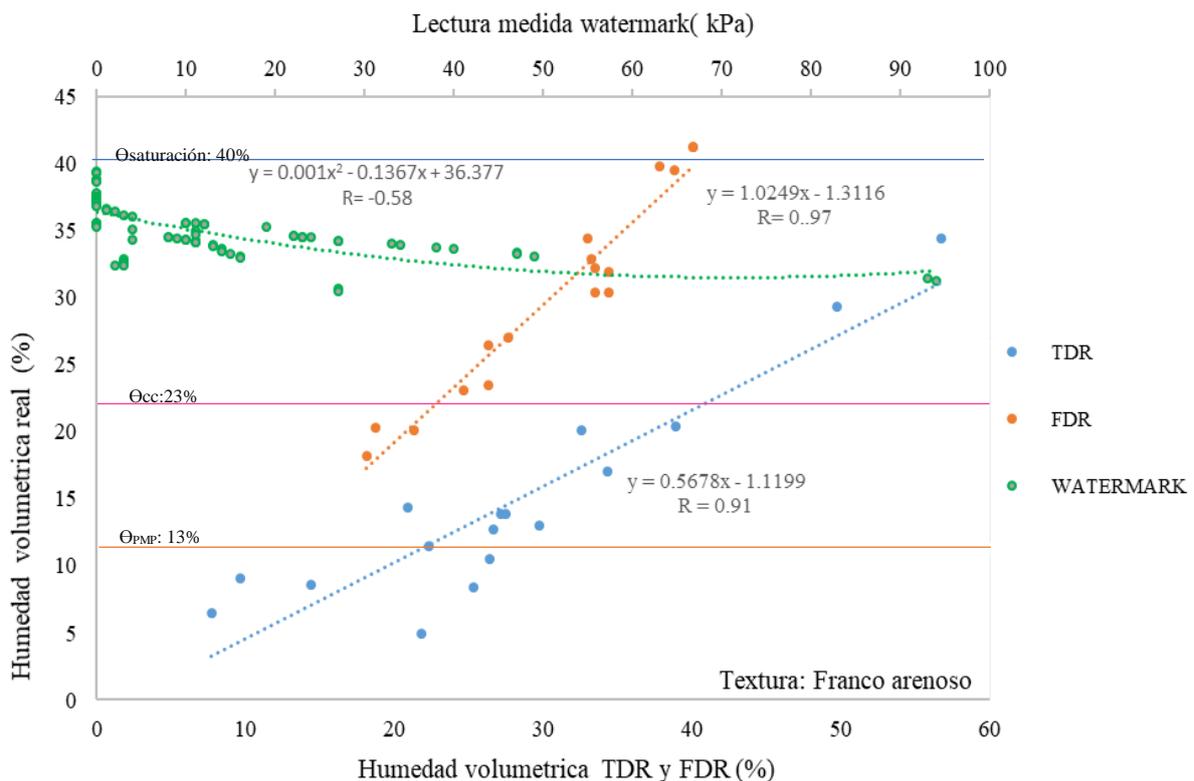


Figura 23: Recta de calibración del medidor de la humedad del suelo con TDR 300 (varillas de 20 cm), FDR (GS1 profundidad a 15 y 30 cm) y resistencia eléctrica watermark (Kpa).

FUENTE: Elaboración propia.

Para la calibración del TDR 300 se tomaron medidas con el equipo y al mismo tiempo muestras gravimétricas ambos a una profundidad de 20 cm, en caso del sensor FDR GS1 se instalaron a 15 y 30 cm como se observa en la Figura 19, se tomó el promedio de estas medidas para la evaluación y realizar la comparación con muestras gravimétrica del suelo a una profundidad de 20 cm, el equipo contaba con una programación de lecturas cada hora, al igual el watermark se instaló a las mismas profundidades y se muestreo el suelo gravimétricamente a 20 cm de profundidad.

En este último sensor se tuvo complicaciones y errores en las lecturas, todo esto debido a diferentes factores como: El proceso de instalación, la conductividad eléctrica del suelo y el tipo de suelo, se estuvo evaluando durante todo el proceso, se volvieron a instalar los watermark debidamente tomado todas las indicaciones, manejo adecuado de la salinidad en campo las cuales también fueron resolviéndose, pero aun así no se llegó a tener lecturas coherentes con lo observado en campo y las medidas con los otros sensores, se puede ver en la Figura 20 donde se ve que el R de Pearson es de -0.58 la cual está por debajo del rango aceptable, por ello se optó por utilizar solo medidas de los sensores FDR GS1 y el TDR300.

Para tener la correlación entre ellas se evaluó el grado de dependencia lineal con el coeficiente de Pearson, obteniéndose valores de coeficiente de Pearson de 0.91 y 0.97 para TDR300 Y FDR GS1 respectivamente y se realizó la prueba de T-Student para un nivel de significancia de 5 % ($\alpha=0.05$) con un total de 17 muestras obteniéndose una hipótesis alterna, es decir, el grado de dependencia para el caso FDR GS1 no presenta diferencia estadística y en el caso TDR 300 presenta diferencia estadística. observar Cuadro 7.

Cuadro 7: Resultados de la prueba T- Student para cuantificar el grado de dependencia de los valores promedios de la humedad entre el FDR GS1 y TDR 300 respectivamente con relación a la humedad volumétrica reales.

Prueba estadística T-Student	FDR -H.Volumetrica		TDR- H.volumetrica	
	variable1	variable2	variable1	variable2
Media muestral (%)	30.69	30.14	27.74	14.63
Observaciones	17	17	17	17
Nivel de significancia (α)(%)	0.05		0.05	
Dif. Hipotética de las medias	0		0	
Grados de libertad	16		16	
Estadístico t	1.25		8.58	
t tabla	2.12		2.12	
Coef. De correlacion Pearson	0.97		0.91	
	NO PRESENTA		PRESENTA DIFERENCIA	
	DIFERENCIA ESTADISTICA		ESTADISTICA	

Para el seguimiento del manejo de humedad del suelo se contó con información registrada por el sensor FDR GS1 que contenía 5 sensores de humedad de las cuales 3 fueron instaladas a una profundidad de 30 cm y 2 a 15 cm. Para la descarga de datos se utilizó el software Data Trac 3, programada para almacenar datos cada hora, estos fueron recolectados en toda la temporada del desarrollo del cultivo con la cual se realizó una gráfica dinámica, donde se observa los niveles de humedad del suelo, se puede ver Figura 22, donde el eje de coordenada (Y) se tiene el contenido de humedad volumétrica y en el eje de coordenada (X) los DDS, en donde se observa que la capacidad de campo es de un 23%, punto de marchites permanente de 13 % y la capacidad de saturación de 40% . Durante casi toda la temporada del cultivo se mantuvo la humedad entre capacidad de campo y saturación, haciendo que se cumpla el cronograma riego y se reduca la problemática por las altas concentraciones de sales en el suelo especialmente en la etapa de las cinco primeras hojas verdaderas, inicio de panícula y floración. Las cuales afectaron evidentemente en el rendimiento del cultivo por concentración de sales en el suelo.

En la figura 23 se observa caídas de la humedad del suelo, esto debido a que los cultivos fueron sometidas a disminuciones de la lámina de riego en el mes de mayo, todo esto debido a que el cultivo se encontraba en un estado fisiológico crítico (amarillamiento de las hojas), buscando los factores que posiblemente afectaron al cultivo se observó el suelo, agua de riego y lo ultimo las condiciones del clima, siendo esta la que afecto al cultivo. Como menciona Heros (2012) las temperaturas extremas son perjudiciales al crecimiento y define el ambiente en que el ciclo de vida de la planta de arroz se desarrolla. Las temperaturas por debajo de 20 °C y superiores a 30 °C son críticas, pero, los efectos varían según los estados de crecimiento.

A si también en la Figura 23, nos permite apreciar cómo se estuvieron manejando los riegos en algunas etapas donde las temperatura eran bajas y la humedad relativa altas en los meses de Junio, Julio y Agosto, en donde se tuvo que acumular las láminas de riego, debido a la poca evapotranspiración y la humedad del suelo se mantenía dentro del rango de capacidad de campo y saturación, siendo esta el rango de control de humedad; en las últimas fechas del cultivo se dejó de regar para la maduración del grano, por ello en los últimos meses se observa un descenso de las curvas.

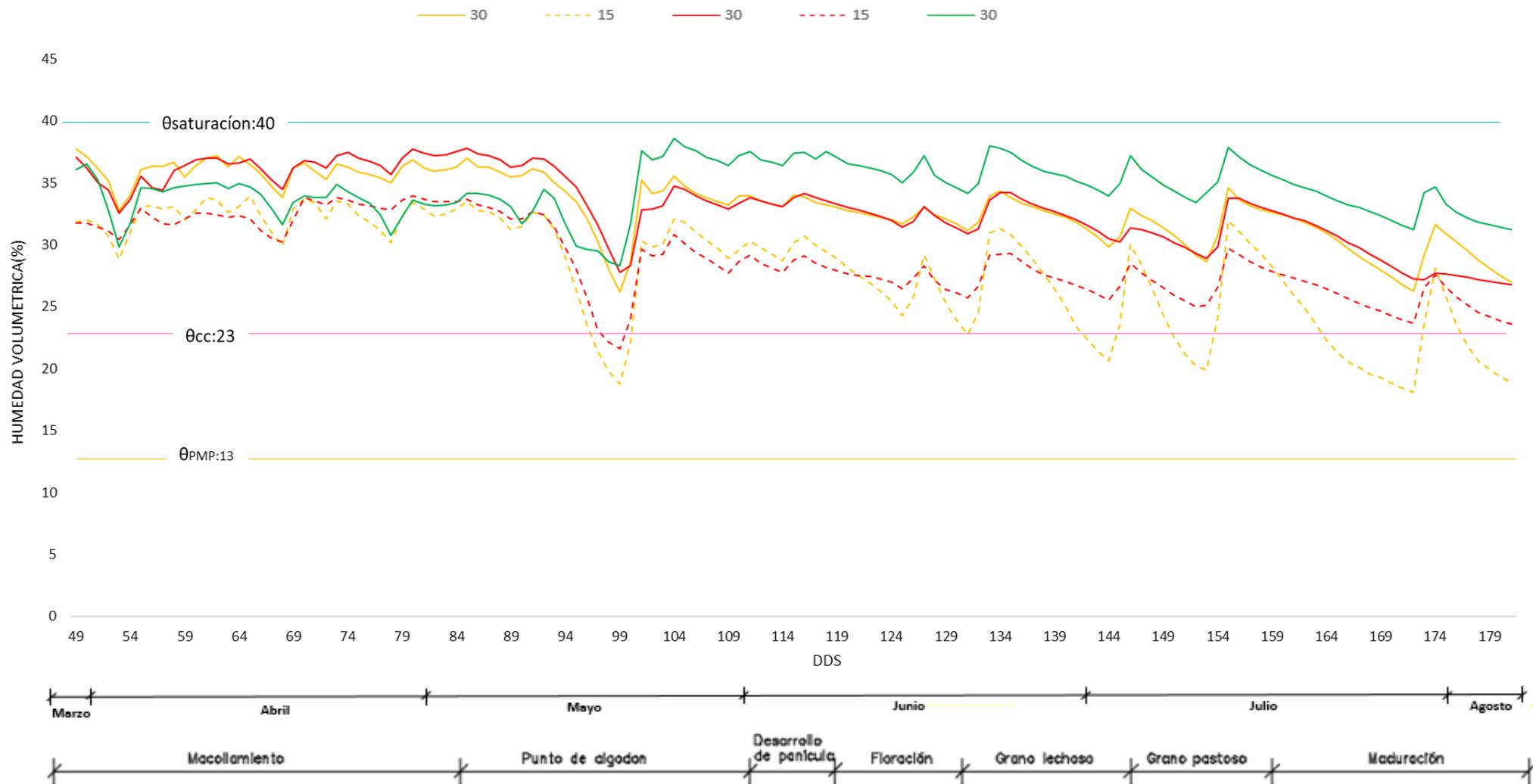


Figura 24: Monitoreo de la humedad del suelo con 5 sensor FRD GS1 durante todo el periodo del cultivo (29/03/2017- 08/08/2017) a diferentes profundidades, dos a 15 cm y tres a 30 cm.

FUENTE: Elaboración propia

Los sensores evaluados se encuentran instalados en las parcelas (6,7,12) como se observa en la Figura 16, en nuestra grafica la recta de color verde que está instalada en la parcela 12 tiene una separación ligera de (1-2) % de humedad con respecto a las otras ya que en esta parcela se mantiene la humedad, debido a que el suelo se comporta diferente en varios puntos del campo. Las caídas bruscas de las rectas y las líneas constantes esto debido a que en la primera etapa se siguió con el cronograma de riego establecido, en el mes de mayo el cultivo tuvo complicaciones fisiológicas por la cual se realizó evaluaciones, como se explicó anteriormente, no siendo está el problema se continuo con el calendario de riego .En los últimos meses debido a que las temperaturas eran bajas con precipitaciones y las evapotranspiración mínima, se juntó las láminas de riego y se devolvía en días de temperatura altas .

4.1.1. EVALUACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

Durante el desarrollo del cultivo se monitoreo las sales del suelo ya que es un factor importante para el rendimiento, teniendo en cuenta que la respuesta del arroz al estrés salino varía según su estado fenológico: los estados de plántula con 3-4 hojas (al final de la fase vegetativa), iniciación de la panícula (durante la fase reproductiva) son especialmente sensibles (Pearson et al, 1959), retrasa el espigado y floración (Kathun et al., 1995). En cambio, la planta es relativamente más tolerante a la sal durante la germinación, así como a lo largo de la fase de llenado y maduración del grano (Heenan et al., 1988; Khan et al., 1997). Por ello se sacaron muestras de suelo en la temporada de inicio de panícula a profundidades de 5cm, 30cm, de acuerdo a la profundidad de raíz del cultivo.

El rendimiento en grano y sus componentes se ven significativamente influenciados por el aumento de la salinidad en el suelo. Por lo cual las evaluaciones se realizaron en fase vegetativa en estado de plántula, inicios de panícula, etapa de espigado y floración , realizando un mapa de interpolación en la etapa de inicio de panícula la cual se ve en Figura 25.La evaluación de las conductividades durante el experimento se encontraban en rangos de 7.7 - 10.5 dS/m, siendo la más representativa en inicio de panícula; de acuerdo a las evaluaciones de la CE se realizaron lavado del suelo para descender las sales por debajo de 3 dS/m siendo esta el umbral para el arroz (INTAGRI 2017)., con una lámina de lavado según Pérez (2014).

Logrando así disminuir la conductividad eléctrica del suelo con una fracción de lavado total durante todo el periodo del cultivo de $634.87 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ y 11.43 m^3 en 180 m^2 , siendo este el volumen total de lámina de lavado, teniendo siempre en cuenta las etapas más críticas en relación a la CE y el cultivo, como se observa en la en la Figura 254.

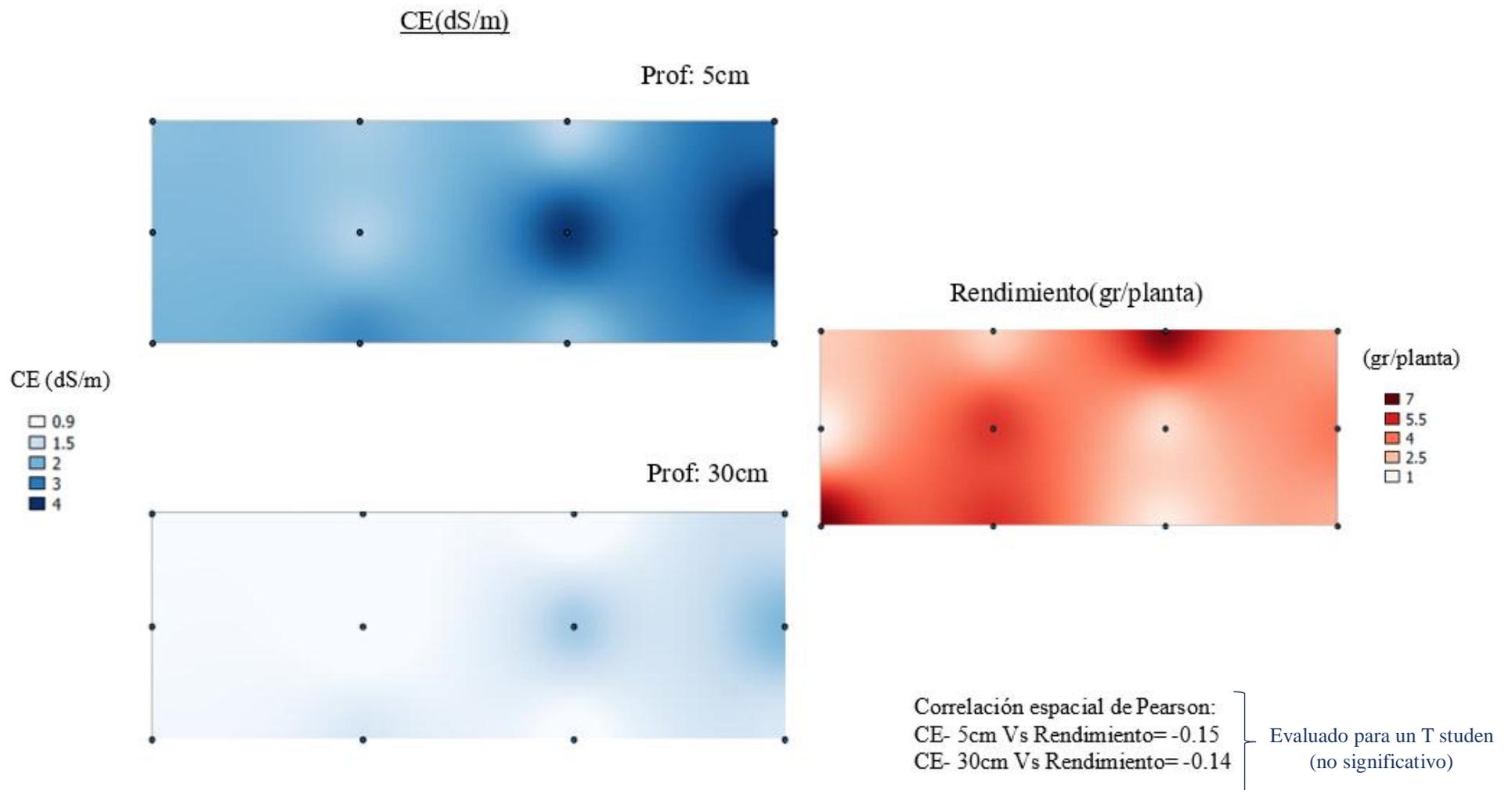


Figura 25. Influencia de la conductividad eléctrica (CE)dS/m, en la etapa de inicio de panícula del cultivo de arroz con respecto al rendimiento.

FUENTE: Elaboración propia.

4.2. LAMINA DE RIEGO Y VOLUMEN DE AGUA ESTIMADA

Para la programación de riego se calculó la lámina de riego con la evapotranspiración del cultivo de referencia (Eto) con datos meteorológicos: Tmax, Tmin, HR%, velocidad de viento y precipitación de la estación meteorológica Davis pro Vantage 2 instalada en el Área Demostrativa y Experimental de Riego, el coeficiente de uniformidad y bulbo húmedo fueron medidas en campo durante el desarrollo del cultivo y el coeficiente del cultivo (Kinicial, Kmedio y Kfinal,) teórico necesarios para los cálculos mensuales se obtuvo de la FAO56, El mes de febrero con una evapotranspiración de 5.43 mm/día fue la más elevada y calculada según el método de Penman Monteith. como se muestra en la Cuadro 8.

Cuadro 8: Cálculo de las láminas bruta por mes y del volumen utilizado durante el desarrollo del cultivo.

DETALLES	UNIDAD	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	TOTAL
1) N° días del mes	días	21,00	31,00	30,00	31,00	30,00	31,00	2,00	176,00
2) Eto (Ecuacion de Penman Monteith) (mm/día)		5,43	5,12	3,81	3,06	2,42	2,53	2,68	25,05
3) Kc (Coeficiente de Cultivo)	-	1,01	1,18	1,20	1,20	1,09	0,94	0,94	-
4) Etc	(mm/día)	5,48	6,04	4,57	3,67	2,64	2,38	2,52	27,31
5) Precipitación efectiva	(mm/mes)	1,88	0,86	0,61	0,86	1,95	2,14	0,08	8,37
6) Eficiencia (CU)	%	87%	87%	89%	97%	95%	90%	87%	-
7) Lamina Neta	(mm/día)	5,39	6,01	4,55	3,64	2,57	2,31	2,48	26,97
	(m ³ /ha/día)	53,95	60,14	45,52	36,44	25,73	23,09	24,79	269,66
	(m ³ /ha/mes)	1.132,90	1.864,31	1.365,54	1.129,73	771,87	715,85	49,58	7.029,78
8) Lamina bruta	(mm/día)	6,20	6,91	5,11	3,76	2,71	2,57	2,85	30,11
	(m ³ /ha/día)	62,01	69,13	51,14	37,57	27,08	25,66	28,50	301,09
	(m ³ /ha/mes)	1.302,19	2.142,88	1.534,31	1.164,67	812,49	795,39	56,99	7.808,93
9) Area (Parcela)	has	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
10) Tiempo de riego	min/día	18,60	20,74	15,34	11,27	8,12	7,70	8,55	90,33
	hr./día	0,31	0,35	0,26	0,19	0,14	0,13	0,14	1,51
	hr./mes	6,51	10,71	7,67	5,82	4,06	3,98	0,28	39,04
11) FR	diario	1,0	1,2	1,2	1,2	1,1	0,9	0,9	7,45

FUENTE: Elaboración propia.

4.2.1. COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD

La evaluación del coeficiente de uniformidad nos indica la eficiencia con la cual funciona el sistema de riego, como se observa en la Figura 255 y en la Cuadro 9, estas pruebas se realizaron mensualmente teniendo en cuenta que en los primeros meses de Febrero, Marzo y Abril se trabajó con goteros de 1 l/hr a una presión de trabajo de 1.0 - 1.1 bar , después en los mes de

Mayo se realizó el cambio de cintas de riego con goteros de 1.2 l/hr a una presión 1.0 - 1.1 bar ya que las anteriores no realizaban el traslape adecuado del bulbo, mejorando así la eficiencia de riego como se muestra en los meses de Mayo, Junio, Julio, Agosto donde se tiene un coeficiente de uniformidad respectivamente de 97.9%, 95.2%, 90.7%, 87.3%. Según Merriam y Keller (2014) el rango de 90% - 100% es excelente y de 80% - 90% es muy buena, nos encontramos dentro del rango aceptable ver Cuadro 9.

Cuadro 9: Datos de evaluación de coeficiente de uniformidad, evaluados mensualmente.

Fecha	CU (%)	presión de trabajo(bar)	valorización de coeficiente
24/02/2017	87.1	1	buena
27/03/2017	87.1	1	buena
04/04/2017	89.1	1	buena
09/05/2017	97.9	1.1	excelente
22/06/2017	95.2	1.1	excelente
31/07/2017	90.7	1.1	excelente
10/08/2017	87.3	1.1	buena

FUENTE: Elaborado con datos mensuales en campo y valorización según Merriam y Keller (2014).

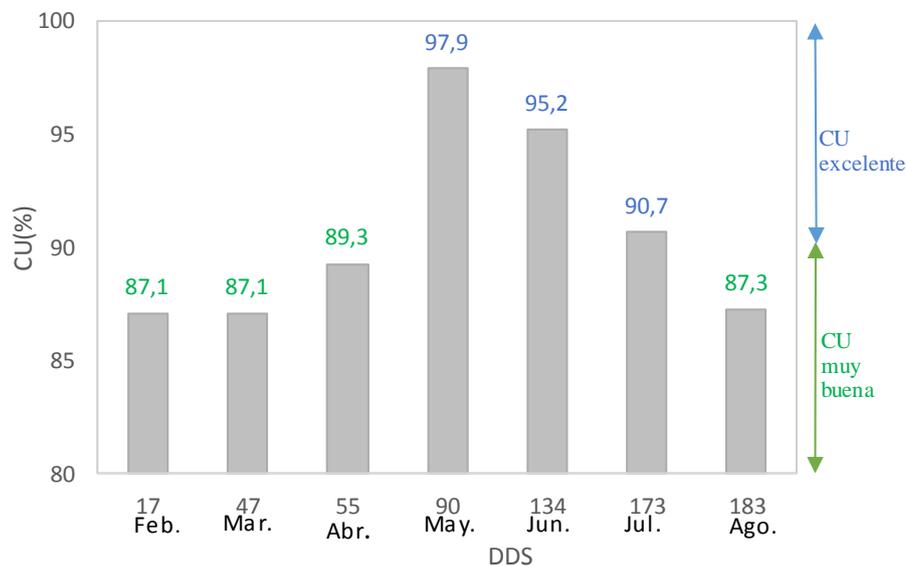


Figura 26: Variación de coeficiente de uniformidad(CU) del gotero TORO NEPTUNO C-1500 con caudal de 1.2 l/h a una presión de trabajo de 1.0-1.1 bar, durante el desarrollo del cultivo. Fecha de siembra de 08/02/17, valorizada según Merriam y Keller (2014).

4.2.2. BULBO DE HUMEDECIMIENTO

La evaluación del bulbo húmedo se realizó en condiciones secas durante tres etapas del cultivo: Etapa inicial de temporada, mitad de temporada y final de temporada, esto se realizó para la verificación de una adecuada filtración del agua ya que el cultivo cuenta con diferentes profundidades de raíces, en la primera etapa se tiene una profundidades de raíz de (5 – 7) cm y en la etapa final de (22 – 31.5)cm. como se ve en el ANEXO 14 y como se observa en la Cuadro 10. En la primera evaluación se tiene profundidades de bulbo de 7.5, 9, 12 cm, en la mitad de temporada se tiene 9.7, 10.5, 12.7 cm, al finalizar de 4.5,7.4, 11.7 cm, en los tiempos 10,15,30 minutos respectivamente. En la etapa final de la evaluación la profundidad de filtración disminuye, esto puede ser debido a concentración de limos, algas en los goteros ya que el cabezal de riego solo contaba con un filtro de anillos la cual entraba en funcionamiento después de tiempo no contando con un adecuado mantenimiento anteriormente. Afectando así a la aplicación del agua de riego en los cultivos y un aumento de pérdida de carga del sistema.

Cuadro 10: Evaluación del bulbo de humedecimiento durante el proyecto.

Profundidad Bulbo(cm)	Tiempo(min)			Diametro(cm)		
	10	15	30	10	15	30
Inicio de temporada(24/02/17)	7.5	9	12	7.5	10	15
mitad de temporada(20/06/17)	9.7	10.5	12.7	8	11	13.5
final de temporada(02/08/17)	4.5	7.4	11.7	6.5	11	13.5

4.2.3.EVAPOTRASPIRACION DEL CULTIVO

La evapotranspiración del cultivo de referencia fue calculada con datos climatológicos de la estación meteorológica Davis pro vantage 2 que presenta valores registrados desde el 13 de Marzo hasta el 09 de Agosto del 2017, de las cuales se tiene las gráficas de T_{máx}, T_{mín}, humedad relativa, velocidad del viento, precipitación, evapotranspiración del cultivo de referencia (E_{to}), la cual se puede ver en la Figura 276, donde la mínima evapotranspiración de referencia fue en el mes de Junio con 1.93 mm/día a los 115 DDS siendo esta la época con precipitaciones de hasta 0.5 mm/día y poca radiación solar la cual hace que la evapotranspiración sea menor, en el mes de marzo a los 3 DDS se tiene una evapotranspiración

máxima de 6.93 mm/día, siendo la época con altas temperaturas, estas fueron calculadas y ordenadas en una hoja Excel con la ecuación de Penman- Monteith según lo establece la FAO.

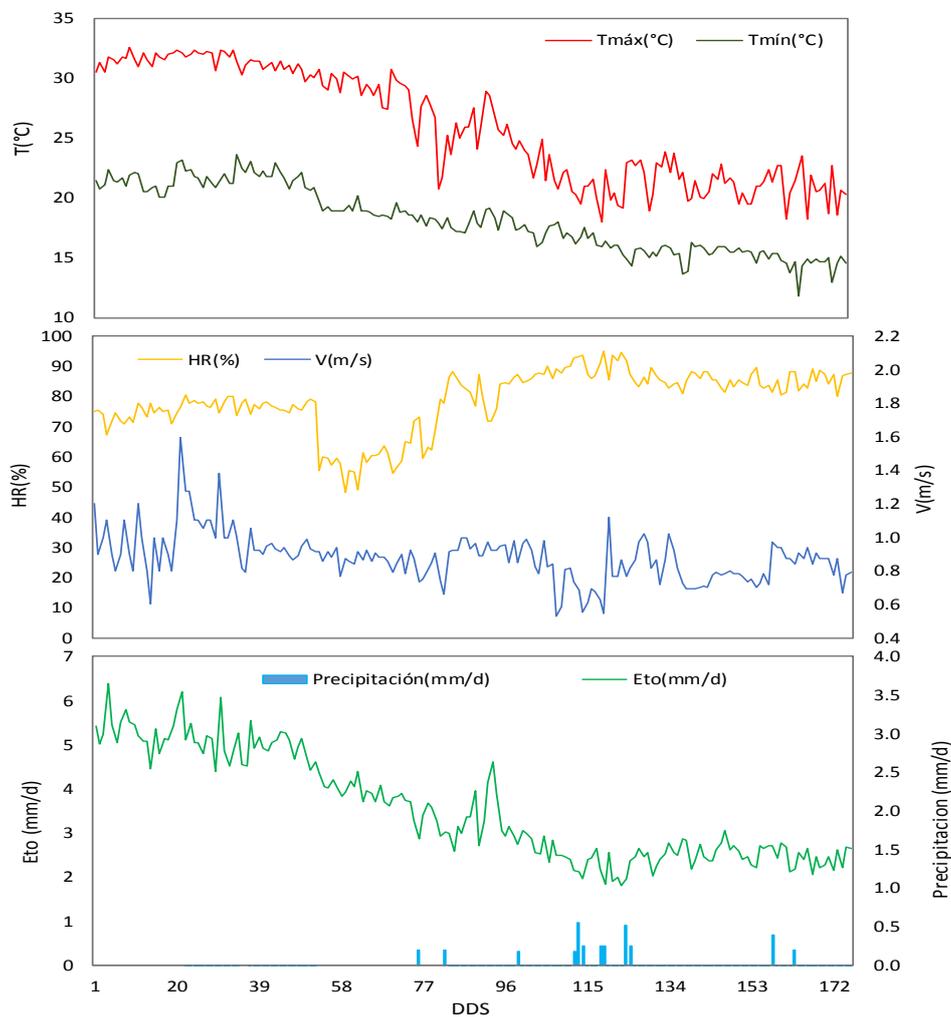


Figura 27: Variabilidad diaria de la T^{max}, T^{min} (C°), Humedad Relativa (%), Velocidad del viento(m/s), Evapotranspiración (mm/día) y Precipitación (mm/día) durante el periodo del desarrollo del estudio, con fecha de siembra: 08 de febrero y cosecha 02 de agosto.

FUENTE: Elaborado con información meteorológica de la Estación Meteorológica Davis del AER ubicada en (altitud sur 12°4'41.77"S, longitud oeste 76°56'45.20"O, a una elevación de 248 m.s.n.m.).

En la primera grafica se observa las temperaturas son altas en los meses de febrero, marzo, abril con Tmax de 32.7 C° la cual favorece al desarrollo del cultivo, en los meses de mayo, junio, julio y agosto a partir de los 58 DDS la temperatura comienza a descender hasta 11.8 C° la cual afecta negativamente al desarrollo del cultivo, disminuyendo el porcentaje de rendimiento.

En el caso de la Humedad relativa es importante la verificación ya que en porcentajes altos puede traer consigo el desarrollo de enfermedades e insectos afectando la producción del cultivo, como se ve en el Figura 25 en la segunda grafica la HR máxima es de 95.2 %.

4.2.4. VOLUMEN DE AGUA DE RIEGO APLICADA

Para la aplicación del volumen de agua de riego se monitoreando con el sensor de humedad FDR GS1 con la cual se verificaba el contenido de humedad del suelo, así como también el cumplimiento del cronograma de riego, prevaleciendo con mayor importancia el control de humedad por el sensor. Así para la verificación del volumen se contó con un correntómetro en el cabezal de riego, teniendo así el volumen aplicado durante el desarrollo del cultivo, la cual se observa en la Cuadro 11. Se rego sin tratamientos a las 12 parcelas, todo esto debido a que el cultivo no se encontraba fisiológicamente estable debido a la influencia de las bajas temperaturas en los meses de junio y agosto, esto tuvo una repercusión importante en el desarrollo del cultivo, según MINAG la temperatura optima en la primera fase es de 20-35 °C y en las siguientes fases para adelante es de 25-30 °C.

Cuadro 11: Dato mensual de evapotranspiración de referencia y coeficiente del cultivo durante toda la temporada del cultivo.

Parametros	Unidad	Lamina de riego calculádo							
		Meses							
		FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	TOTAL
Eto (Ecuacion de Penman Monteith)	(mm/día)	5.4	5.1	3.8	3.1	2.4	2.5	2.7	25.1
Etc	(mm/día)	5.5	6.0	4.6	3.7	2.6	2.4	2.5	27.3
Eficiencia (Cu)	%	0.87	0.87	0.89	0.97	0.95	0.9	0.87	-
Lamina Teorica	(m3 ha-1)	1302	2143	1534	1165	812	795	57	7809
Lamina de riego aplicádo									
Lamina de aplicación	(m3 ha-1)	1345	2023	1730	989	684	667	0	7438

FUENTE: Elaboración propia

Como se observa la lámina teórica es de 7809(m³ ha⁻¹) ha comparación de la aplicada es de 7438(m³ ha⁻¹) este valor es sin la lámina de lavado de sales, siendo la lámina de lavado de 634.87 (m³ ha⁻¹) la cual es el 8.13 % del total de la lámina calculada.

Se observa en la Figura 287 las láminas aplicadas y la lámina teórica, teniendo en cuenta que durante la temporada se contó con temperaturas bajas y humedad relativa altas, por ello en los meses de mayo, junio, julio, agosto no se cuenta consecutivamente con una lámina aplicada, a excepción del primer mes mencionado donde el cultivo empezaba a tener daños por las bajas temperas, en el meses de marzo se disminuyó el riego a falta de agua a causa del fenómeno del niño costero que afecto a los canales de riego, en el mes abril se estuvo realizando diferentes pruebas como el lavado del suelo por altas concentraciones de sales que afecta al cultivo, a causa de ello se aplicó mayores volúmenes de riego.

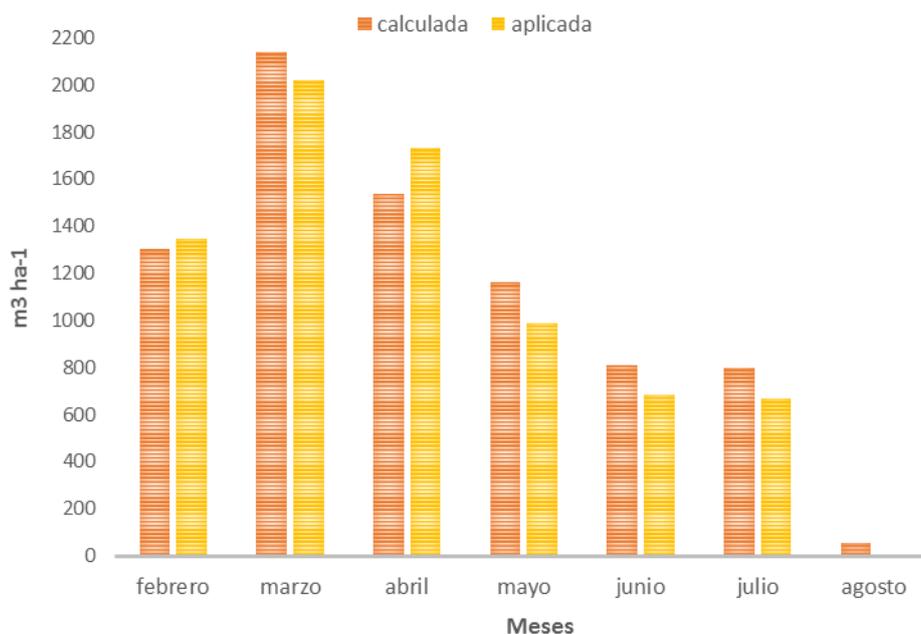


Figura 28: Lamina aplicada y calculada durante el desarrollo del cultivo mensual (Febrero – Agosto).

Actualmente el cultivo de arroz se cosecha a base de un sistema de riego por inundación, por ello en la costa del Perú se tiene volúmenes aplicados, según (Junta de Usuarios de la costa ,2007) establecieron los módulos de riego en el valle de Chancay – Lambayeque :12,000 m³/ha; Valle de Chira-Piura: 20,000 m³/ha parte alta y 15,000 m³ha⁻¹ en la parte baja y media; Tumbes se estableció 14,000 m³/ha; para Camaná y Majes de 17,500 m³/ha ver Cuadro 12 .

A diferencia del riego por goteo que se realizó en este experimento tuvo un volumen calculado de 7,809 m³ha⁻¹ y un volumen aplicado de 7,438 m³ha⁻¹, este en comparación con el sistema de riego por inundación en las regiones de Tumbes, Lambayeque, Chira- Piura(alta), Chira- Piura(baja) y Majes -Camaná los volúmenes utilizados disminuirían en rangos, 63%, 38% respectivamente en comparación con el sistema de riego por goteo aplicado en el AER.

Cuadro 12: Volúmenes aplicados en el cultivo de arroz en las diferentes regiones del Perú

Región	Sistema	Volumen (m ³ ha ⁻¹)	Rendimiento(tn/ha)	Productividad (kg/m ³)
Tumbes	Riego por inundación	14000	8.3	0.59
Lambayeque	Riego por inundación	12000	12	1.00
Piura(alta y baja)	Riego por inundación	20000	9.1	0.46
Arequipa (Majes-Camana)	Riego por inundación	17500	13.3	0.76
Lima -(AER)	Riego por goteo	7438	0.2 - 1.1	0.13

FUENTE: Elaborada con información Heros (2012), MINAGRI (2009-2015) para los volúmenes aplicados y rendimiento respectivamente para un sistema de riego por inundación, comparado son sistema de riego por goteo.

Algunas referencias (Soman,2012; He,2013; Ramana,2013; Echeverria,2015;Colto,2016) de otros países donde se practicó el cambio de sistema de riego convencional a riego por goteo se cuentan con volúmenes de aplicación, menores a la de inundación, la cual se observar en la Cuadro 13.

Cuadro 13: Volúmenes aplicados en diferentes países bajo un sistema de riego por goteo en (m³ha⁻¹).

Referencia	Sistema	Cultivar	Volumen (m ³ ha ⁻¹)	Rendimiento(kg/ha)
Soman, P.(2012)	Riego por goteo		7907.37	9389.99
Ramana, K.(2013)	Riego por goteo		2914.2	1923.37
Echeverria ,O.(2015)	Riego por goteo	Dicta comayagua FL6-88	9075	7090
Colto, L. <i>et al</i> (2016)	Riego por goteo subsuperficial	BR IRGA417	2800	1000

FUENTE: Con información sacada de artículos de investigación en diferentes países.

4.3. INDICADORES AGRONÓMICOS

El cultivo fue evaluado en variables de crecimiento, y componentes de rendimiento, en 12 parcelas en la etapa final del cultivo con los siguientes parámetros: altura de planta, número de macollos, número de panícula por planta; número de grano lleno por panoja; peso de 1000 granos; rendimiento en kg por ha, como se observa en la Cuadro 14.

Estos datos han sido tomados en la etapa final del cultivo con tres muestras de cada parcela de las cuales se sacó un promedio teniendo una altura máxima de 80 cm y un número máximo de macollos de 32 la cual se ve en la Figura 298 ,según Heros, (2012) la altura máxima del cultivar IR-43 es de 100-110 cm.

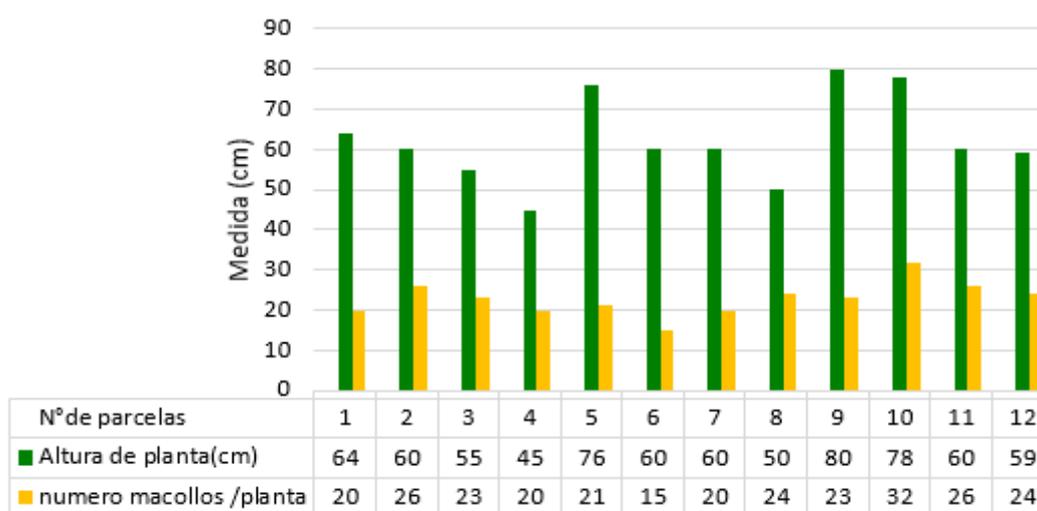


Figura 29:Promedio de variables de crecimiento evaluado en la etapa final del cultivo.

En la Cuadro 14 se muestra los componentes del rendimiento del cultivo de arroz de la variedad IR-43 bajo las condiciones del suelo y climáticas del área donde se realizó el experimento.

Cuadro 14: Componentes del rendimiento con parámetros de número de panículas/ planta, número de granos llenos/ planta y peso de mil granos.

N°de parcelas	número panícula/ planta	número granos llenos/panoja	Peso de mil granos	Rendimiento (gr/planta)	Rendimiento (Kg/ha)	Rendimiento (Tn/ha)
1	35	12	17.0	7.0	1126.1	1.1
2	22	14	17.0	5.2	837.8	0.8
3	25	12	16.9	5.1	811.2	0.8
4	44	9	17.2	6.7	1077.4	1.1
5	28	8	17.1	3.8	612.9	0.6
6	37	3	17.3	1.9	303.1	0.3
7	31	4	16.9	2.1	329.9	0.3
8	41	4	17.0	2.8	446.1	0.4
9	12	6	16.9	1.2	186.6	0.2
10	9	20	16.8	2.9	457.0	0.5
11	14	7	17.1	1.6	258.6	0.3
12	15	4	17.0	1.0	157.8	0.2

FUENTE: Elaboración propia.

En la Figura 309 se muestra los componentes del rendimiento en una gráfica de barras, siendo las de mayor número de panícula por planta la parcela cuatro, número de granos llenos por panoja la parcela 10, número de granos vanos por panoja la parcela siete, rendimiento (tn/ha) la parcela uno y el peso de mil granos es parejo en todas las parcelas, todas estas evaluaciones se realizaron al finalizar el desarrollo del cultivo.

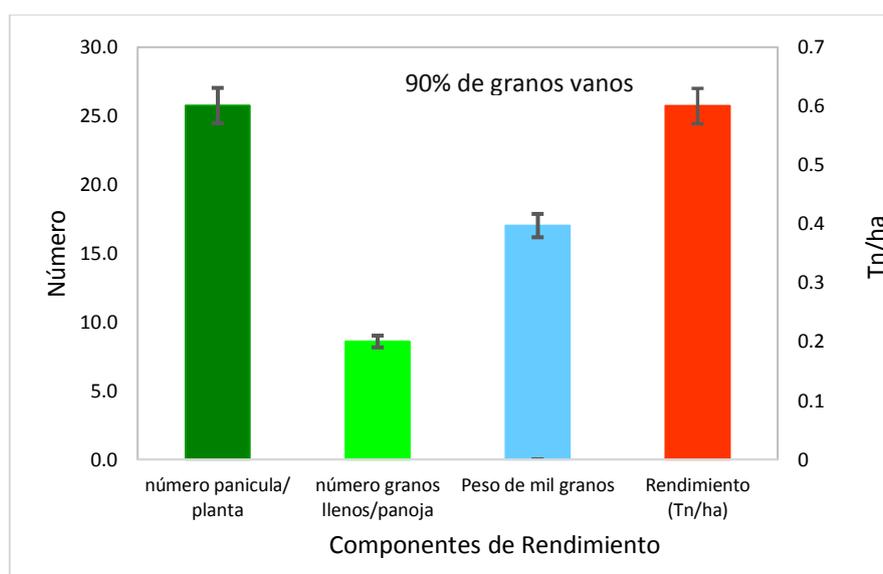


Figura 30: Grafica de barras de los indicadores agronómicos (número de panícula /planta, número de grano lleno /panoja, peso de mil granos, rendimiento(Tn/ha) evaluados al finalizar el cultivo.

Según lo observado se tiene parcelas con rendimiento de 1077.4 Kg / parcela, equivalente a 1.1 t/ha, así como también parcelas de menor rendimiento de 157.8 Kg / parcela, equivalente a 0.2 t/ha, toda esta variación de rendimientos debido a la influencia de la salinidad del suelo e influencia de la temperatura y una variación climática la cual afecto al desarrollo y rendimiento del cultivo, como menciona (Sharma *et al.*, 2005).

El estrés al frío puede inhibir la síntesis de clorofila y la formación de cloroplastos en las hojas de arroz. Por lo tanto, el contenido reducido de clorofila puede indicar el efecto de la baja temperatura en las plantas de arroz, cabe mencionar que la exposición en la antesis, incluso durante menos de una hora a 33,7 ° C, puede dar como resultado la esterilidad de las espiguillas (Jagadish *et al.*, 2007). La esterilidad de las espiguillas aumentará significativamente cuando la temperatura supere los 35 ° C (Matsui *et al.*, 1997).

Según (Chaudhary *et al.* 2003), la temperatura afecta el desarrollo del cultivo que se ve reflejado en el número de panojas por planta, el número de espiguillas por panoja y el porcentaje de granos que maduran, como se muestra en el Cuadro 15 las temperaturas máximas, mínimas y optima durante el desarrollo fenológico del arroz.

Cuadro 15: Efecto de la temperatura sobre el crecimiento y el desarrollo de la planta del arroz

Periodo fenológico	Crecimiento vegetativo				Crecimiento reproductivo			Maduración		
	Emergencia (1)	Plántula (2)	Macollaje (3)	Elongación del tallo (4)	Inicio de panoja (5)	Desarrollo de panoja (6)	Floración (7)	Maduración lechosa (8)	Maduración pastosa (9)	Maduración córnea (10)
Parte aérea										
Parte radicular	Formación de raíces y tallos	Desarrollo y crecimiento de raíces								
Ocurrencia de la fase (dds*)	4-6	8-25	25-35	35-40	45-60	65-70	72-95	95-100	100-110	110-130 (4-5 meses)
Temperatura óptima	28°C a 35°C	25°C a 30°C	25°C a 28°C	28°C a 31°C	28°C a 31°C	28°C a 31°C	30°C a 33°C	20°C a 25°C	20°C a 25°C	20°C a 25°C
Temperatura crítica	>10°C a 45°C	<12°C a 35°C	<16°C a 35°C	<12°C a 45°C	<15°C a 45°C	<15°C a 38°C	<22°C a 35°C	<22°C a 30°C	<12°C a 30°C	<12°C a 30°C
Humedad óptima	>65%	>65%	>65%	>65%	>65%	>65%	>65%	>65%	>65%	>65%
Déficit hídrico	Sensible	Sensible	Sensible	Sensible	Sensible	Sensible	Sensible	Tolerante	Tolerante	Tolerante

*dds: días después de la siembra

FUENTE: MINAGRI (2014).

Las bajas temperaturas limitan la duración del período, la tasa de crecimiento y el desarrollo de las plantas de arroz. Las altas temperaturas causan estrés térmico sobre las plantas de arroz, Chaudhary *et al.*, (2003), como se muestra en la Cuadro 15.

Las altas y bajas temperaturas por encima y por debajo respectivamente de los límites críticos afectan la formación del grano, ya que inciden sobre el periodo del macollamiento, el desarrollo de las espiguillas y la maduración, la cual afecta el rendimiento del arroz, ver Figura 31 30.

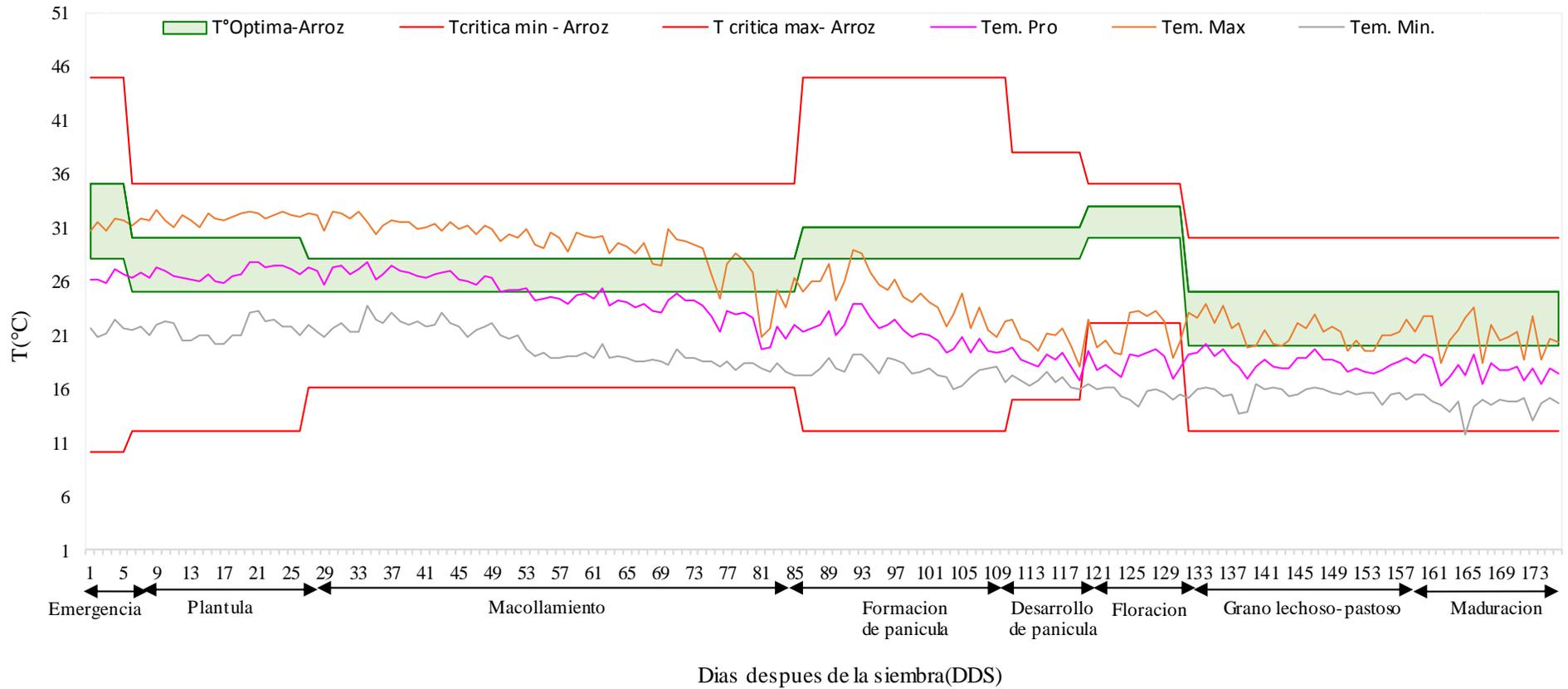


Figura 31: Diagrama de temperatura máxima, mínima y promedio del clima, así como la temperatura crítica y óptima del cultivo de arroz, evaluadas durante el desarrollo del cultivo.

FUENTE: Elaborado con información de MINAGRI (2014) e información recolectada por la estación meteorológica DAVIS del AER.

Además, los cambios en la duración del período de crecimiento debido al aumento de la temperatura no sólo afectarán al rendimiento del arroz, sino que también cambiarán los sistemas agrícolas del arroz hacia cultivos más adecuados con una temperatura óptima adecuada (Korres *et al.*, 2016).

En nuestra evaluación se tiene a las temperaturas más críticas en las etapas de desarrollo de la panícula con temperaturas de (19.3 -23.3)°C teniendo en cuenta que para su desarrollo adecuado debe contar con (28) °C, en la floración la etapa más importante para realizar la fecundación y así se pueda llenar los granos adecuadamente , no se dio, debido a las condiciones climáticas las temperatura bajas en el experimento estaban en rangos de (16.8-19.4)°C teniendo en cuenta que para esta etapa tiene que tener una temperatura mínima de 22 °C, y en las etapas de llenado de grano se cuenta los rangos de (16.2 – 19.7)°C siendo la óptima de 20C°; todo estos trastornos de temperatura en el desarrollo del cultivo fue modificando los indicadores de rendimiento, como es el caso de disminución del número de panículas y lo más notable el aumento de granos vanos, en la Cuadro 16 se observa la diferencia que hay en la evaluación del rendimiento con respecto a los granos llenos y los vanos siendo este último en mayor cantidad que los granos llenos, teniendo en la campaña un rango de granos vanos de (78.7 – 95.9)% y un promedio de 90% , esto por los factores climáticos, ver la Figura 31.

Cuadro 16: Componentes del rendimiento con parámetros de numero de panículas/planta, granos vanos/planta y peso de mil granos.

N° de parcelas	número panícula/ planta	número granos vanos/panoja	Peso de mil granos	Rendimiento (gr/planta)	Rendimiento (Kg/ha)	Rendimiento (Tn/ha)
1	35	66	17.0	38.7	6193.4	6.2
2	22	53	17.0	19.8	3171.5	3.2
3	25	86	16.9	36.3	5813.6	5.8
4	44	82	17.2	61.4	9816.4	9.8
5	28	67	17.1	32.1	5132.7	5.1
6	37	71	17.3	44.8	7173.3	7.2
7	31	92	16.9	47.4	7587.4	7.6
8	41	59	17.0	41.1	6579.7	6.6
9	12	76	16.9	14.8	2363.3	2.4
10	9	74	16.8	10.6	1690.8	1.7
11	14	60	17.1	13.9	2216.2	2.2
12	15	86	17.0	21.2	3391.8	3.4

FUENTE: Elaboración propia.

El rendimiento promedio de la evaluación con granos vanos es de 5094.2 Kg ha⁻¹ equivalentes a 5.1 t/ha y expresando un porcentaje de granos vanos de 90%, teniendo una productividad de 0.68 (kg/m³) con un volumen aplicado de 7438 (m³/ha).

Como se menciona que el porcentaje de granos vanos (PGV) es un indicador del grado de esterilidad floral a causa de bajas temperaturas. De modo que es posible asociar el PGV con el grado de esterilidad obtenido a causa del frío al que fueron sometidos los genotipos en las etapas susceptibles. La respuesta de los genotipos a las bajas temperaturas durante el período reproductivo fue altamente significativa para el PGV, es decir, hay diferencias genotípicas a la tolerancia a bajas temperaturas para el PGV. De igual forma, se han reportado diferencias genotípicas a la tolerancia a bajas temperaturas para inducir esterilidad durante el período reproductivo (Sasaki and Wada, 1973; Board and Peterson, 1980; Matsuo et al., 1995; Farrell et al., 2006), citado por Gonzales, N. (2010).

Con relación al rendimiento y al uso de agua en el experimento se muestra las productividades del cultivo de arroz irrigado por el método riego por goteo, la productividad de las parcelas del área de trabajo que fue de 0.13 (kg/m³), donde su rendimiento promedio fue de 1 t/ha y un volumen de aplicación de 7438(m³ ha⁻¹) esto a comparación con otros países que realizaron siembra con el mismo sistema de riego por goteo está por debajo, debido a antecedentes ya mencionados, en comparación entre el sistema de riego por inundación con sistema de riego por goteo, este último tiene en la eficiencia del uso del agua menor en un 72%. ver Cuadro 17.

Cuadro 17: Comparación de productividades (kg/m³) en sistema de riego por goteo en diferentes países y riego por inundación en el Perú.

Referencia	Sistema	Cultivar	Productividad (kg/m ³)
Soman, P.(2012) - India	Riego por goteo		1.19
Ramana, K.(2013) - India	Riego por goteo		0.66
Echeverria ,O.(2015) - Honduras	Riego por goteo	Dicta comayagua FL6-88	0.78
Colto, L. <i>et al</i> (2016) - Brazil	Riego por goteo subsuperficial	BR IRGA417	0.36
Parcela ADyER(2017) - Lima(Perú)	Riego por goteo	IR-43	0.13
Promedio parte costa del Perú	Inundacion	IR-43	0.46 - 1

FUENTE: Elaborada con información sacada de artículos de investigación para el sistema de riego por goteo y Heros (2012) para el sistema por inundación.

De acuerdo a la evaluación que se realizó al sistema de riego durante el desarrollo del cultivo, se observó algunas fallas y la necesidad del cambio y modificaciones de algunos partes haciendo que mejore el funcionamiento y elevando así la eficiencia del uso de agua en los diferentes componentes de la instalación del sistema de riego , para lo cual se proponen mejorar : arco de riego, acoplándole un controlador de presiones así como también una válvula de aire; realizar fertiirrigación ,esto mejoraría la captación de absorción de nutrientes más eficientemente hacia el cultivo y disminuir los costos en mano de obra; cambio del cabezal del

sistema de riego ,con nuevo diseño y modificación de los componentes como filtros ,válvulas aire, válvula de paso, controladores de presiones, inyector de fertilizante, manómetros; cambio de cintas de riego con goteros de un $Q= 3.75$ l/hr; mejorar el tablero de riego , forrando adecuadamente los cables con tubos protectores, cambio de la caja protectora del tablero de riego; instalación de pozo a tierra horizontal; incrementar las dimensiones del reservorio para un mayor almacenamiento; realizar un canal de conexión desde el canal principal hacia el reservorio, controlado por una compuerta y unas varias para evitar el paso de residuos, todas estas recomendaciones son para la mejora de las condiciones de la parcela del ADRD.

Se observa los gastos generados para el cultivo de arroz por inundación y goteo ver ANEXO 9 y ANEXO 10. Altamirano (2017).

Los gastos generados durante el proyecto son sustentables ya que estos generan una disminución en la emisión de gases de efecto invernadero, disminución de vectores las cuales disminuyen enfermedades hídricas y el aumento de la eficiencia del uso de agua.

Según Coltro *et al.* (2016). En la agricultura es fundamental reducir su parte de responsabilidad en el cambio climático global. El arroz es el segundo producto más importante en todo el mundo, y los campos de cultivo de arroz significativamente contribuyen al cambio climático ya que son una fuente considerable de metano.

Las tierras agrícolas son responsables de aproximadamente el 40% de la ocupación de la Tierra y las emisiones estimadas de las actividades agrícolas en 2005 fueron de 5.1 - 6.1 Gt CO₂-eq 1 año, este corresponde al 10- 12% del total de las emisiones antropogénicas globales de gases de efecto invernadero (GEI). El 54% de esta cantidad se debe a emisiones de metano (CH₄), 3,3 Gt CO₂-eq 1 año, mientras que el 46% restante es debido a las emisiones de óxido nitroso (N₂O), 2.8 Gt CO₂-eq año 1. Tomando en cuenta las emisiones antropógenas globales en 2005, la agricultura representa aproximadamente el 60% de N₂O y el 50% de CH₄ emisiones.

Por lo tanto, la mitigación de las emisiones de GEI en la agricultura es fundamental para reducir su contribución al cambio clima global.

Estudios que compararon el potencial de calentamiento global (GWP) de CH₄ y las emisiones de N₂O provenientes del arroz, el trigo y el maíz. Los resultados mostraron que el GWP de las emisiones de CH₄ y N₂O de arroz (3757 kg CO₂-eq Ha⁻¹ temporada) fueron superiores a las emisiones de los otros cereales (1399 kg CO₂-eq Ha⁻¹ estación- maíz y 662 kg CO₂-eq Ha⁻¹ estación - trigo). Expresando estos valores por tonelada de grano, el rendimiento GWP de arroz (657 kg CO₂-eq t⁻¹) fue de aproximadamente cuatro veces superior al del maíz (185 kg CO₂-eq

t⁻¹) y trigo (166 kg CO₂-eq t⁻¹), lo que sugiere mayores oportunidades para mitigación de los sistemas de producción de arroz.

Los campos de cultivo de arroz se están expandiendo, se espera que sigan aumentando a medida que la población mundial crece, además de su relevancia para alimentar a las personas como base de las comidas. En varios países, el arroz también es responsable de generar empleos e ingresos para muchas personas. Sin embargo, los campos de cultivo de arroz son significativos contribuyen al cambio climático, ya que constituyen una fuente de metano. Por lo tanto, la comprensión del desempeño de los sistemas de cultivo de arroz, así como las formas de mitigar las emisiones de metano es un tema importante. Por esta razón, se han desarrollado estudios sobre la producción de arroz.

Thanawong et al. (2014) elaboró un estudio sobre la producción de arroz en el Noreste de Tailandia en 2010, que evaluaron 43 hogares tres sistemas de cultivo de arroz, es decir: estación húmeda alimentada con lluvia, estación húmeda irrigados y de secano. De acuerdo con los autores, se observó una amplia gama de prestaciones e impactos, aunque las prácticas de cultivo eran relativamente homogéneas. Las diferencias entre los sistemas se debieron principalmente diferencias en el rendimiento, que fueron impactados en gran medida por el suministro de agua. El GWP de los sistemas de secano de estación húmeda fue de 2,97 kg de CO₂-eq. Kg⁻¹ de arroz frente a 4,87 kg de CO₂-eq. Kg⁻¹ de arroz para regadíos de temporada húmeda y 5,55 CO₂-eq. Kg⁻¹ de arroz para sistemas de regadío de estación seca. Los resultados mostraron que los sistemas de secano de estación húmeda eran más eco-eficientes en la mayoría de las categorías de impacto.

Por ello el cambio de un sistema convencional a un sistema de riego por goteo trae consigo mejoras como la disminución del uso de agua, disminución de gases de efecto invernadero menor impacto en el cambio climático, así como también el manejo de plagas hídricas generadas en riego por inundación.

V. CONCLUSIONES

1. El sistema de riego por goteo fue habilitado, operando con una bomba salmson (1.5Hp), con presión de trabajo promedio de 11-12 m en la salida en el cabezal de riego; e instalándose controladores de presión y electroválvulas en los arcos de riego, así como el cambio de las tuberías, mejorando la eficiencia del sistema.
2. La humedad volumétrica del suelo se estimó con sensores de volumetría FDR, TDR y sensor de tensión del suelo (Watermark), previamente calibrados, con información gravimétrica obtenidos en campo, obteniéndose coeficiente de Pearson de 0.97, 0.91 y - 0.58 respectivamente, los valores de humedad volumétrica variaron de un 18% a 37% y la tensión de suelo 0 a 94 centibares, para un suelo franco arenosa.
3. La variedad de arroz IR 43 bajo un riego por goteo, en condiciones de clima de la Molina, empleo un volumen de 7438 m³ ha⁻¹, que representa una disminución de 37% - 62% respecto al promedio nacional (Heros,2012), con un sistema de riego inundado. Comparada con otras investigaciones bajo un riego por goteo en arroz, el volumen de agua disminuye en un 18% (Echeverria, O (2015)).
3. Se obtuvo un rendimiento de arroz cascara de (0.2-1.1) tn. ha⁻¹, valor bajo debido a las bajas temperaturas en la etapa de floración, que generaron esterilidad de las espiguillas, lo que reflejo en un 90% de granos vanos. Respecto a la eficiencia del uso de agua se obtuvo 0.13 Kg /m³, valor que disminuyo en un 71% al 87% del promedio nacional (0.46 - 1) Kg/m³.

VI. RECOMENDACIONES

1. Realizar una evaluación experimental del requerimiento del agua en el cultivo de arroz comparando un sistema de riego por inundación y goteo, en las mismas condiciones climáticas y probar diferentes espaciamientos entre goteros.
2. Realizar un estudio de valoración económica de producción del cultivo de arroz, comparando un sistema de riego por inundación con goteo, evaluando la disminución del agua de riego, así como la problemática de salinidad y drenaje de los suelos y valorización la reducción de emisiones de GEI.
3. Evaluar fechas de siembra según información histórica de datos climáticos de la zona y previsiones del clima, por ejemplo: fenómeno del niño, niña, entre otros.
4. Estimar la lámina neta a partir de un K_c real obtenido a través de un lisímetro.
5. Aplicar pre emergentes de malezas antes de realizar la siembra, así como selección de variedades genotípicamente resistentes a estrés hídrico y se adapten mejor a condiciones aeróbicas.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, R; Pereira, L; Raes, D. & Smith, M. 2006. Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO riego y drenaje Manual 56. Roma.
- ALTAMIRANO CHUNGA, E. 2017. Niveles de producción y rentabilidad del cultivo de arroz en la región norte del Perú: caso Lambayeque y La Libertad 2000 – 2015. Tesis Ing. Economista. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. 70 p.
- BOARD, J. E., PETERSON, M. L. and NG, E. 1980. Floret sterility in rice in a cool environment. *Agronomy Journal* 72(3):483-487.
- Buesa, I. 2013. Determinación del estado hídrico del suelo mediante sensores FDR en vid cv. Moscatel de Alejandría regada por goteo. Trabajo Fin de Máster. Valencia, España. 85p.
- Chaudhary, R.; Nanda, J.; Tran, D. 2003. Guía para identificar las limitaciones de campo en la producción de arroz. Comisión internacional del arroz. Roma.
- Escuela Politécnica Superior de Orihuela (EPSO-UMH), 2016. Departamento de Ingeniería Gestión del riego con sensores FDR comerciales.
- Díaz, S., Morejon, R. ; Lucinada ,D.; Castro ,R. 2015. Evaluación morfoagronómica de cultivares tradicionales de arroz (*oryza sativa* L.) colectados en fincas de productores de la provincia pinar del río. *Cultivos Tropicales*. Vol. 36, pp. 131-132.
- DICTA (Dirección de la Ciencia y Tecnología Agropecuaria). 2003. Manual técnico para el cultivo de arroz. Secretaría de agricultura y ganadería. Honduras .59pp.
- FAO, 2004. El arroz y el agua: una larga historia matizada. Italia.
- FARRELL, T.C., FOX, K.M., WILLIAMS, R.L., FUKAI, S., REINKE, R.F. and LEWIN, L.G. 2001. Temperature constraints to rice production Australia and Laos: a shared problem. In:

- Fukai, S., Basnayake, J. (Eds.), Proceedings of an International Workshop/ACIAR Proceedings No. 101 Australia Centre for International Agricultural Research on Increased Lowland Rice Production in the Mekong Region, Vientiane, Laos, 30 October–2 November 2000, Canberra, ACT, Australia
- Fernández, A; Oates, M; Ferrández, M; Molina, J; Vázquez de León, A; Ruiz, A.2016. Calibración de sensores FDR de bajo coste para la gestión del riego. Análisis y comparativa
- GONZALES GOMEZ, N. 2010. Efecto de la temperatura del agua en el crecimiento y rendimiento, en cuatro variedades de arroz (*Oryza sativa* L.). Tesis Ing. Agrónomo. Santiago, Chile. Universidad de Chile. 40 p.
- Haibing El, Fuyu Ma, Yang Ru, Lin Chen, Biao Jia, Jing Cui, Fan De Fua, Xin Wang, Li Li. (2013). Rice Performance and Water Use Efficiency under Plastic Mulching with Drip Irrigation PLOS ONE. Vol (8). pp(1-2).
- He H, Ma F, Yang R, Chen L, Jia B, Cui J. 2013. Rice Performance and Water Use Efficiency under Plastic Mulching with Drip Irrigation. PLoS ONE 8(12).
- Heenan, D.P., L.G. Lewin, y D.W. McCaffery. 1988. Salinity yield tolerance of the two groups of tropical forests. Varietal ance in the rice industry in different stages of growth. Aust. J. Exp. Characteristics, potential yield, optimum densities. *Agronomie Agric.* 28: 343-349.
- HEERMANN, D. F., W. WALLENDER, & G. BOS: *Irrigation Efficiency and Uniformity*, pp. 125-149, ASCE, St Joseph, Mich., USA, 1990.
- Heros, A. E.2012.Manual Técnico de Manejo Integrado del arroz. Universidad Nacional Agraria La Molina. 33-32pp.
- Heros, A. E.2013.Manejo Integrado en el Cultivo de arroz. Guía técnica. Extensión y programación de la UNALM. 26pp.
- Hirsh R, Helsel D, Cohn T, Gilroy E. 1992.Handbook of Hydrology, Chapter 17. McGraw-Hill.
- INIA, 2015. La Técnica de siembra directa promovida por INIA permite ahorro de agua en el cultivo de arroz en Lambayeque, revisado en línea 05/03/2017: <http://www.inia.gob.pe/sala-de-prensa/notas-de-prensa/976-2015-nota-049>.

- INIA,2017. Tecnologías de cultivo de arroz. (en línea):
<http://www.inia.gob.pe/tecnologias/cultivos/132-cat-tecnologias/cultivos/391-tecnologia-en-arroz>
- INTAGRI, 2017. La conductividad eléctrica del suelo en el desarrollo de los cultivos, revisado en línea 09/10/2017: <https://www.intagri.com/articulos/suelos/la-conductividad-electrica-del-suelo-en-el-desarrollo-de-los-cultivos>.
- Jagadish, S.; Crauford, P.; Wheeler, T.; 2007. High temperature stress and spikelet fertility in rice (*Oryza sativa* L.). *J. Exp. Bot.* 58, 1627–1635.
- Jagadish, S.; Crauford, P.; Wheeler, T.; 2007. High temperature stress and spikelet fertility in rice (*Oryza sativa* L.). *J. Exp. Bot.* 58, 1627–1635.
- K.V.Ramana Rao. 2013. Water Technologies, Environmental technologies & Renewable Energy. Evaluation of the drip irrigation system in rice cultivation: viable alternative to conventional water management practice in rice cultivation. India, revisado en línea: <http://www.omicsgroup.com/conferences/watech2013/>.
- Kaddah, M.T. 1963. Salinidad en el crecimiento del arroz en la planta de semillas de Yoshida, S. 1976. Carbon dioxide y rendimiento del arroz. p. 211-221. In e inflorescence etapas del desarrollo. *Soil Sci.* 96: 105-111
- Korres, N.; Norsworthy, J.; Tehranchian, P.; Gitsopoulos, T.; Loka, D.; Oosterhuis, D.; Moss, S.; Gealy, D.; Burgos, N.; Miller, R.; Palhano, M.; 2016. Cultivars to face climate change effects on crops and weeds: a review. *Agron. Sustain. Devel.* 36 (12).
- Leda Coltro , Luiz Fernando M. Marton , Fabio Panciera Pilecco ,Ademar Cadore Pilecco , Lucas Felini Mattei .(2016).; Perfil ambiental de la producción de arroz en el sur de brasil: A comparación entre regadío y regadío por goteo subsuperficial sistemas. *Journal of cleaner production,Elsevier*.pp(2-3).
- Matsui, T.; Omasa, K.; Horie, T.; 1997a. High temperature induced spikelet sterility of japonica rice at flowering in relation to air humidity and wind velocity conditions. *Jpn. J. CropSci.* 66, 449 – 455.

- MATSUO, T., KUMAZAWA, K., ISHII, R., ISHIHARA, K. and HIRATA, H. 1995. Science of the rice plant, vol. 2. Physiology, Food and Agriculture Policy Research Center, Tokyo, Japan, 1246 p.
- Medidor de humedad, FieldScout, Manual, 2015.
- MERRIAM, J.L. & KELLER, J. (1978). Farm irrigation system evaluation: a guide for management, Utah State University, Logan, Utah, USA.
- MERRIAM, J.L. y KELLER, J. (2014). Evaluación de los parámetros de manejo de los sistemas de microirrigación mediante el criterio de Merriam y Keller, Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, Vol. 23, No. 1, pp. 37-40.
- MINAGRI, 2014. Condiciones agroclimáticas cultivo de arroz, revisado en línea 05/09/2017: <http://agroaldia.minagri.gob.pe/biblioteca/index.php/p-recursos-naturales-y-medio-ambiente/p40-meteorologia-y-climatologia/319-arroz-2015>.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO (2008), “Costos de producción y perspectivas de la rentabilidad del cultivo de arroz”. Julio 2008. Peru.
- MMatsui, T.; Omasa, K.; Horie, T.; 1997a. High temperature induced spikelet sterility of japonica rice at flowering in relation to air humidity and wind velocity conditions. Jpn. J. CropSci. 66, 449 – 455.
- Orozco, A. 2011. Determinación del régimen de riego para manzano bajo microaspersión mediante el uso de estaciones meteorológicas y sondas de capacitancia (FDR). Retos de la investigación del agua en México. p. 239-253. Fuente original: Parra, R; P. Ortiz. 2004. Manejo del riego en manzano mediante déficit de riego controlado (DCR), Ciudad Cuauhtémoc, Chihuahua, inifap/Sagarpa, Campo Experimental Sierra de Chihuahua, Centro de Investigación Regional Norte Centro.
- P, Soman. 2012. Fertilización para el cultivo del arroz. JAIN IRRIGATION SYSTEMS, India.
- Pearson, G.A., y L. Bernstein. 1959. Salinity effects at varios Evans, L.T., y S.K. De Datta. 1979. La relación entre irradiación de crecimiento de los cultivos. Agron. J. 51: 654-657.
- Pérez Hernández, Eudaldo (2014). jornadas de interpretación de análisis de aguas y suelos. Finca La Quinta (Garachico) – Tenerife.

- Pizarro C, F. 1996. Riegos Localizados de alta frecuencia (RLAF). 510 pp.
- Pizarro C, F. 1996. Riegos Localizados de alta frecuencia (RLAF)goteo, microaspersión, exudación, 3ed. Edición Mundi-Prensa. p. 45-47.
- Pizarro C, F. 1996. Riegos Localizados de alta frecuencia (RLAF)goteo, microaspersión, exudación, 3ed. Edición Mundi-Prensa. p. 38.
- Portal chileno del agua, 2016.Arroz de california será cultivado con una estrategia Israelí de riego por goteo, revisado en línea 21/05/2017: <http://www.portalchilenodelagua.cl/arroz-de-california-sera-cultivado-con-una-estrategia-israeli-de-riego-por-goteo-2/>.
- Rajiv ,Kumar;N.S. Rana; Y.S. Saharawat; Amit Mishra; Vivak Kumar; Mahesh K. Gathala; Robin Kumar; Ashish Dwivedi (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.International Journal of Pure Applied Bioscience . Vol (5).
- Robock, A; Vinnikov, K; Srinivasan, G; Entin, J; Hollinger, S; Speranskaya N; Liu, S; Namkhai, A. 2000. Bulletin of the American Meteorological Society. 81(6):1281-1299.
- SASAKI, K. and WADA, S. 1973. Varietal difference in cold tolerance at different stages of panicle development in rice. Hoku-No (Japan). 40(8):7-14.
- Sharma, P.; Sharma, N.; Deswal, R.; 2005. The molecular biology of the low temperature response in plants. BioEssays 27 (10):1048–1059.
- Sharma, P.; Sharma, N.; Deswal, R.; 2005. The molecular biology of the low temperature response in plants. BioEssays 27 (10):1048–1059.
- Steduto, P.; Hsiao, T.; Fereres, E.; Raes, D. 2012. FAO 66: Riego Y Drenaje. Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua. Roma. 530pp. Fuente Original Jones, M. P., Dingkuhn, M., Aluko, G. K. y Semon, M. 1997. Interspecific *Oryza sativa* L. x *O. glaberrima* Steud. progenies in upland rice improvement. *Euphytica* 92, 237-246.
- Thanawong, K., Perret, S.R., Basset-Mens, C., 2014. Eco-efficiency of paddy rice production in Northeastern Thailand: a comparison of rain-fed and irrigated cropping systems. J. Clean. Prod. 71, 204e217. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.12.067>. Fuente original: Leda Coltro , Luiz Fernando M. Marton , Fabio Panciera Pilecco ,Ademar Cadore Pilecco , Lucas

Felini Mattei .(2016).; Perfil ambiental de la producción de arroz en el sur de brasil: A comparación entre regadío y regadío por goteo subsuperficial sistemas. Journal of cleaner production, Elsevier.

Wei, M.-Y. Ed., 1995. Soil Moisture: Report of a Workshop Held in Tiburon, California, 25–27 January 1994. NASA Conference Publication 3319, 80 pp.

Yang, J. Qun, Z.; Zhang, J. 2016. Moderate wetting and drying increases rice yield and reduces water use, grain arsenic level, and methane emission. El diario de la cosecha .8 pp.

Zotarelli, L; Dukes, M; Morgan, K. 2013. Interpretación del contenido de la humedad del suelo para determinar capacidad de campo y evitar riego excesivo en suelos arenosos utilizando sensores de humedad. Universidad de Florida. p. 1,2.

Redagricola ,2017. La Puntilla, una variedad productiva y de bajo consumo de agua, revisado: <http://www.redagricola.com/pe/5932-2/>.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1: ANÁLISIS DE AGUA.



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-fis@amolina.edu.pe **Nº 007907**



ANÁLISIS DE AGUA - RUTINA

SOLICITANTE : ING. LIA RAMOS
PROYECTO : AD y ER
PROCEDENCIA : Canal
RESPONSABLE ANALISIS : Ing. Nora Arévalo Flores
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 14 de Julio del 2017

Nº LABORATORIO		7907
Nº DE CAMPO		Agua de Canal
CE	dS/m	0.93
pH		7.90
Calcio	meq/l	5.47
Magnesio	meq/l	1.24
Sodio	meq/l	2.49
Potasio	meq/l	0.19
SUMA DE CATIONES		9.38
Cloruro	meq/l	4.70
Sulfato	meq/l	1.55
Bicarbonato	meq/l	3.37
Nitratos	meq/l	0.06
Carbonatos	meq/l	0.00
SUMA DE ANIONES		9.69
SAR		1.36
CLASIFICACION		C3-S1
Boro	ppm	0.06

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO

Ing. Msc. Teresa Velásquez Bejarano
JEFE DE LABORATORIO



ANEXO 2 : PRIMER ANÁLISIS DE SUELO.

Análisis de Suelo - Salinidad y Sodicidad

SOLICITANTE : LIA RAMOS *Area*
 PROYECTO : Area Demostrativa y experimental de riego
 PROCEDENCIA : Parcela
 RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras *La*
 FECHA DE ANALISIS : La Molina, 16 de enero 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 %	Cambiales						PSI
Lab.	Campo		Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura						CIC TOTAL	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Al ³⁺ +H ⁺	
													Cmol (+) / Kg					
11985	M-15	2.63	56.32	38.08	5.60	Franco arenoso	7.66	2.50	12.97	362.00	1.06	13.58	11.56	1.17	0.46	0.38	-	10.03

MUESTRA		Saturación %	pH Suelo : Agua 1:3	C.E. dS/m 1:3	CATIONES SOLUBLES (meq/l)					ANIONES SOLUBLES (meq/l)					Yeso Soluble %	Boro Soluble ppm	
Lab	Campo				Ca ⁺⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	SUMA	Cl ⁻	SO ₄ ⁼⁼	CO ₃ ⁼	HCO ₃ ⁼	NO ₃			SUMA
11985	M-15	39.20	7.96	5.72	11.85	7.50	0.62	37.83	57.79	25.08	28.98	0.00	1.10	2.15	57.31	0.20	0.61

Micro elementos	
Fe (ppm)	25.24
Cu (ppm)	10.12
Zn (ppm)	13.18
Mn (ppm)	1.88

Parámetros Hidricos	
Cc (%)	12.77
Pm (%)	6.40

ANEXO 3: SEGUNDO ANÁLISIS DE SUELO A MITAD DE TEMPORADA.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
 FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
 LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



ANÁLISIS DE SUELOS : CARACTERIZACIÓN

Solicitante : UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
 Departamento : LIMA
 Distrito : LA MOLINA
 Referencia : H.R. 58511-063C-17

Provincia : LIMA
 Predio :
 Fecha : 19/05/17

Número de Muestra	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat De Bases
							Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			
Lab Claves												meq/100g							
3644	7.38	3.53	1.00	2.34	62.9	372	47	29	24	Fr.	12.00	9.04	2.03	0.52	0.40	0.00	12.00	12.00	100

A = Arena ; A Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ;
 Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso



Sady García Bendejé
 Jefe del Laboratorio

ANEXO 4 : ANÁLISIS DE SUELO DE LAS CONSTANTES HÍDRICAS.



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



INFORME DE ANÁLISIS ESPECIAL EN SUELO

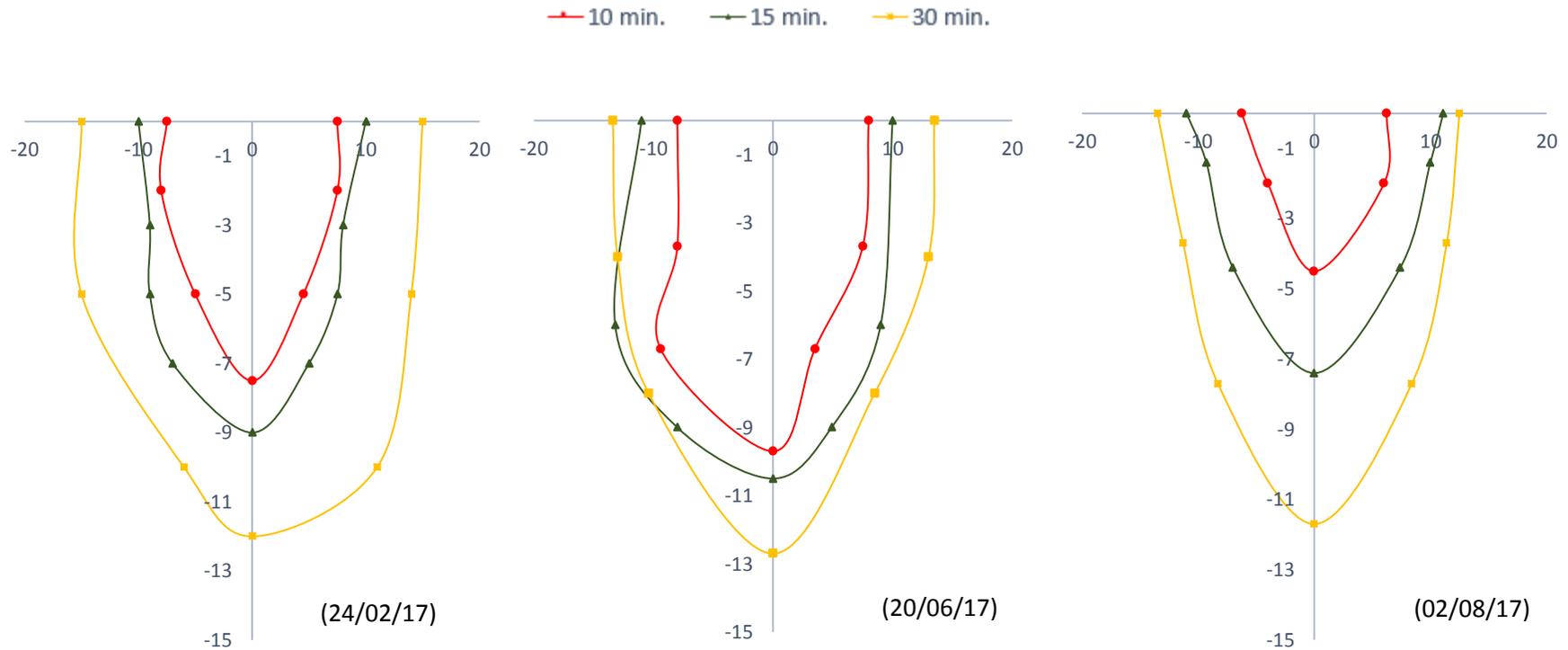
SOLICITANTE : ING. LIA RAMOS FERNÁNDEZ
PROCEDENCIA : LIMA/LIMA/LA MOLINA
REFERENCIA : H.R. 53706
BOLETA : 351
FECHA : 02/06/2017

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



[Signature]
Dr. Sady García Bendezú
Jefe del Laboratorio

ANEXO 5 : GRAFICAS DE BULBO HÚMEDO EN LAS ETAPAS DE INICIO DE PROYECTO, MITAD DE TEMPORADA, FINAL DE TEMPORADA.



Distribución del bulbo húmedo en el suelo de textura franco arenoso, con gotero TORO NEPTUNE C-15000 de 1.2 l/h, con una presión de trabajo de 1.0-1.1 bares. (izquierdo- inicio de temporada; centro- mitad de temporada; derecha – final de temporada).

FUENTE: Elaboración propia

ANEXO 6 : CÁLCULO DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS DEL CULTIVO EN EL MES DE FEBRERO, CON UNA EVAPOTRANSPIRACIÓN DIARIA DE 5.4 MM/DD.

Cálculo de la Demanda de agua - Cultivo de Arroz																							
PARAMETRO	UNIDAD	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	TOTAL
		1.-Kc (Coeficiente de Cultivo)	-	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
2.-Eto (Ecuacion de Penman Monteith)*	(mm/día)	5,55	5,09	5,36	6,45	5,59	5,11	5,65	5,92	5,58	5,53	5,33	5,16	4,74	4,60	5,44	4,90	5,26	5,20	5,54	5,85	6,24	
3.-Etc	(mm/día)	5,61	5,15	5,41	6,52	5,65	5,16	5,70	5,98	5,64	5,59	5,38	5,21	4,79	4,64	5,49	4,95	5,31	5,25	5,60	5,91	6,31	115,24
4.-Precipitación efectiva (mm/mes)*	(mm/mes)	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	1,89
6.-Eficiencia (Cu)	%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	
7.-N° días del mes		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	21,00
8.-Lamina Neta	(mm/día)	5,52	5,06	5,32	6,43	5,56	5,07	5,61	5,89	5,55	5,50	5,29	5,12	4,70	4,55	5,40	4,86	5,22	5,16	5,51	5,82	6,22	113,35
	(m3/ha/día)	55,18	50,55	53,19	64,27	55,60	50,73	56,13	58,94	55,46	54,96	52,95	51,24	46,98	45,53	54,00	48,57	52,22	51,57	55,10	58,19	62,17	1.133,55
	(m3/ha/mes)	55,18	50,55	53,19	64,27	55,60	50,73	56,13	58,94	55,46	54,96	52,95	51,24	46,98	45,53	54,00	48,57	52,22	51,57	55,10	58,19	62,17	1.133,55
9.-Lamina bruta	(mm/día)	6,34	5,81	6,11	7,39	6,39	5,83	6,45	6,77	6,37	6,32	6,09	5,89	5,40	5,23	6,21	5,58	6,00	5,93	6,33	6,69	7,15	130,29
	(m3/ha/día)	63,43	58,11	61,14	73,87	63,91	58,31	64,52	67,75	63,75	63,18	60,86	58,90	54,00	52,33	62,07	55,83	60,02	59,28	63,33	66,88	71,46	1.302,93
	(m3/ha/mes)	63,43	58,11	61,14	73,87	63,91	58,31	64,52	67,75	63,75	63,18	60,86	58,90	54,00	52,33	62,07	55,83	60,02	59,28	63,33	66,88	71,46	1.302,93
11.-Area Total (Parcela)	has	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,42
	min/día	19,03	17,43	18,34	22,16	19,17	17,49	19,36	20,32	19,12	18,95	18,26	17,67	16,20	15,70	18,62	16,75	18,01	17,78	19,00	20,07	21,44	390,88
12.-Tiempo de riego	hr./día	0,32	0,29	0,31	0,37	0,32	0,29	0,32	0,34	0,32	0,32	0,30	0,29	0,27	0,26	0,31	0,28	0,30	0,30	0,32	0,33	0,36	6,51
	hr./mes	0,32	0,29	0,31	0,37	0,32	0,29	0,32	0,34	0,32	0,32	0,30	0,29	0,27	0,26	0,31	0,28	0,30	0,30	0,32	0,33	0,36	6,51
FR		1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	20,86
14.-Volumen Demandado de Riego	(mm/día)	0,13	0,12	0,12	0,15	0,13	0,12	0,13	0,14	0,13	0,13	0,12	0,12	0,11	0,10	0,12	0,11	0,12	0,12	0,13	0,13	0,14	2,61
	(m3/día)	1,27	1,16	1,22	1,48	1,28	1,17	1,29	1,35	1,27	1,26	1,22	1,18	1,08	1,05	1,24	1,12	1,20	1,19	1,27	1,34	1,43	26,06
	(m3/ha/mes)	1,27	1,16	1,22	1,48	1,28	1,17	1,29	1,35	1,27	1,26	1,22	1,18	1,08	1,05	1,24	1,12	1,20	1,19	1,27	1,34	1,43	26,06
16.-Volumen Total (14+15)	(m3/ha/mes)	1,27	1,16	1,22	1,48	1,28	1,17	1,29	1,35	1,27	1,26	1,22	1,18	1,08	1,05	1,24	1,12	1,20	1,19	1,27	1,34	1,43	26,06

ANEXO 7 : GUÍA PARA EL BUEN USO Y MANEJO DE AGROQUÍMICOS (BUMA).

Todos los plaguicidas son tóxicos y se deben manejar con cuidado y responsabilidad, además debe utilizarse equipos de protección personal(EPP) al respecto se siguió las siguientes recomendaciones para la manipulación y uso de agroquímicos e identificar sus riesgos para protegerse de ellos y evitar contaminación del campo que podría ser causados por residuos de los plaguicidas.

1. AGROQUIMICOS

Se emplea dos tipos de agroquímicos como: fertilizantes y plaguicidas. Este último es un insumo fitosanitario agrícola destinado a combatir, eliminar o controlar a cualquier tipo de organismo biológico nocivo, sus productos o subproductos (insecticidas, herbicidas, funguicidas, acaricida, bactericida y nematicida).

¿Qué se consigue al usar correctamente los agroquímicos? Cuidar la salud de la persona que aplican los fertilizantes y plaguicidas, Proteger la salud del consumidor y no dañar el medio ambiente. Ver Figura 1.



Figura 1: EPPs empleados en la aplicación de plaguicida al cultivo de arroz (en la etapa de macollamiento)

Recomendaciones:

- Comprar los plaguicidas con sus envases y etiquetas originales y leer las instrucciones y precauciones que vienen en la etiqueta.
- Usar una mochila para fertilizantes y otra para plaguicidas.

2. PREPARACION

Utilizar el equipo de protección (mameluco, mascarilla, guantes de nitrilo y lentes protector).
Ver Figura 2.



Figura 2: equipos de protección para la aplicación de agroquímicos.

Medir la cantidad de plaguicidas en un recipiente graduado y mezclar con un agitador limpio.

Recomendación:

Preparar solo la cantidad que utilizaras para evitar sobrantes.

Revisar que el equipo de aplicación se encuentre en buen estado y calibrado.

3. APLICACIÓN

Realizar la aplicación de los plaguicidas en las primeras horas del día o por la tarde y en la dirección del viento. Nunca aplicar con fuerte viento y en lluvia.

En el caso se tape la boquilla de la mochila fumigadora, retirar del equipo, lavarla y destaparla con un instrumento especial (nunca uses la boca), una vez que terminada la aplicación del plaguicida, lavar bien la mochila fumigadora, el equipo de protección y la ropa que se usó, finalmente realizar el triple lavado del envase del agroquímico: i) llenar de agua hasta la cuarta parte y agitar por 30 segundos con la tapa hacia arriba. ii) volver a llenar de agua hasta la cuarta parte y agitar por 30 segundos con la tapa hacia abajo y. iii) cambiar el agua y agitar por 30 segundos hacia los lados. Ver Figura 3.



Figura 3: secuencia del lavado de envases de agroquímicos

En algunos casos el envase no queda limpio después del triple lavado, repetir los pasos hasta que quede limpio completamente.

Después de lavar los envases, se debe cortar, perforar y guardar en un recipiente destinado para ese fin y guardar por separado las tapas. Posteriormente llevar a un centro de recolección de envases de plaguicidas.

Recomendaciones:

- Mientras preparas y aplicas los plaguicidas no ingerir ningún alimento y bebida, tampoco está permitido fumar.
- En caso de intoxicaciones debes seguir las indicaciones de la etiqueta y acudir a un médico, llevando el listado de plaguicidas que se estaba aplicando.

ANEXO 8: CALCULO HIDRÁULICO DEL CULTIVO DE ARROZ PARA EL MES MÁS CRÍTICO.

DISEÑO HIDRÁULICO

Calculo de pérdidas de carga en el sistema de AER

Datos iniciales del emisor:

$$Q_{got} = 1.2 \text{ L/hr}$$

Coefficiente de variabilidad (cv): 0.03 (catalogo Neptune, 0.3 Gph = 1.13562 Lph)

Ha = 10 mca (presión de trabajo del gotero)

$$CU = \left(1 - \frac{cv * 1.27}{\sqrt{e}}\right) * \frac{q_n}{q_a}$$

$$0.872 = \left(1 - \frac{0.03 * 1.27}{\sqrt{4}}\right) * \frac{q_n}{1.13562}$$

$$q_n = 1.0095$$

Ecuación de gotero:

$$q_n = 0.4782 * h^{0.5106}$$

- **Perdida de carga permisible del gotero:**

$$\Delta h = 2.5 * (h_a - h_n)$$

$$q_a = 1.13562$$

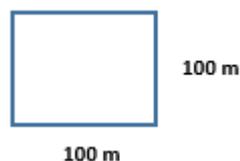
$$h_a = 7.703$$

$$q_n = 1.0095$$

$$h_n = 4.320$$

$$\Delta h = 2.5 * (7.703 - 4.32)$$

$$\Delta h = 8.4575 \text{ m. c. a.}$$



Para el AER

$$\Delta h = 0.16 \text{ m. c. a.}$$

Número de líneas por hectárea

$$Q = \frac{10\,000}{0.25} = 40\,000 \text{ ml/ha}$$

Caudal por hectárea

$$Q = \frac{40\,000}{0.30} * 1.13562 = 151\,416 \text{ L/Hr/ha}$$

$$Q = 151,416 \text{ m}^3/\text{Hr/ha}$$

$$Q = 42.06 \text{ L/seg/ha}$$

Diseño de la parcela AER

1 ha	-----	42.06 l/seg/ha
0.02 ha	-----	x l/seg/ha

$$Q = \frac{42.06 * 0.02}{1} = 0.8412 \text{ L/seg/ha}$$

Diseño de Lateral

Datos:

Esp de got	0.30 m
fe	0.10
Pe	140
F	0.36 (16 goteros)
Qa	1.13562 l/hr
Φint (5/8´´)	15.87 mm

- Fe: Perdida equivalente a la insecion del gotero depende de (tamaño del gotero, ancho, longitud)
- C: Coeficiente de fricción (Pe)
- F: Valor de factor, depende del número de salidas a lo largo de la tubería.
- (Φint) Diámetro interno de la tubería (Φint)

$$q_{lateral} = \frac{5}{0.3} * 1.13562 = 18.927 \text{ L/hr} = 0.315 \text{ l/seg} = 1.124 \text{ m}^3/\text{hr}$$

• Perdida de carga lateral:

$$J' = J * \frac{(Se + fe)}{Sc}$$

$$hf = J' * F * L * 0.01$$

$$J = 1.131 * 10^{10} * \left(\frac{Q}{C}\right)^{1.852} * D^{-4.87}$$

$$hf = 1.131 * 10^{10} * \left(\frac{0.315}{140}\right)^{1.852} * 15.87^{-4.87}$$

$$J = 20.08$$

$$J' = 20.08 * \frac{(0.3 + 0.1)}{0.3} = 26.77$$

$$hf = 26.77 * 0.01 * 0.36 * 5 * 0.01$$

$$hf = 0.024 \text{ mca}$$

- **Perdida de carga por porta-lateral**

Espaciamiento	0.25 m
Longitud	1.25 m
Caudal	0.315 L/seg
Q manifold	3.15 L/seg
Número de lateral	10 lateral

$$J = 1.131 * 10^{12} * \left(\frac{3.15}{140}\right)^{1.852} * 38.1^{-4.87}$$

$$J' = 20.07 * \frac{(2.5 + 0.1)}{2.5} = 20.87$$

$$hf = 20.87 * 0.01 * 0.36 * 2.5 * 0.01$$

$$hf = 0.0094 \text{ mca}$$

- **Perdida de carga por arco de riego**

$$Hf = 2 \text{ mca}$$

- **Perdida de carga por matriz del sistema**

$$hf = 1.131 * 10^{10} * \left(\frac{0.757}{150}\right)^{1.852} * 38.1^{-4.87} * 63$$

$$hf = 0.79 \text{ mca}$$

- **Perdida de carga por cabezal de riego**

$$Hf = 2 \text{ mca}$$

- **Sumatoria de las pérdidas de carga en el sistema**

$$hf_{total} = emisor + lateral + portalat + arco + matriz + cabezal$$

$$hf_{total} = 0.16 + 0.024 + 0.0094 + 2 + 0.79 + 2$$

$$ADT (mca) = hf_{total} = 4.98 \text{ mca}$$

ANEXO 9 : COSTOS POR DE PRODUCCIÓN DE (TN/ HA) DE ARROZ CON RIEGO POR INUNDACIÓN EN LA REGIÓN LAMBAYEQUE -2015.

ACTIVIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD D ha	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL (S/.)
A MANO DE OBRA				S/. 1.059,00
1 Preparación de Terreno			S/.	S/. 160,00
limpieza de terreno(Quema, junta)	Jornal	3	20	60
Bordeadura	Jornal	4	15	60
Riego machaco	Jornal	2	20	40
2 Transplante				S/. 301,00
transporte de plantines	Jornal	1	25	25
instalacion de plantines	Jornal	12	23	276
3 Labores Culturales				S/. 498,00
Deshierbos	Jornal	3	22	66
Riegos	Jornal	6	17	102
Control fitosanitario	Jornal	6	25	150
Abonamiento y fertilizacion	Jornal	10	18	180
4 Cosecha				S/. 100,00
ensacado y encajonamiento	Jornal	4	25	100
B MAQUINARIA AGRICOLA				S/. 945,00
1 Preparacion de terreno				S/. 945,00
Arado y rotulado	Hora/maq.	1	100	100
Rastra /desterronado/Cruza	Hora/maq.	1,5	90	135
Batido y Nivelación(mula mecanica)	Hora/maq.	2	70	140
Cosehadora combinada	Hora/maq.	4	100	400
Nivelacion(rufa)	Hora/maq.	2	85	170
C INSUMOS				S/. 1.362,00
1 Semilla	Kg.	48	2,75	S/. 132,00
2 Fertilizantes				S/. 1.020,00
Urea	bolsas de 50 Kg	7	90	630
Fosfato Di amónico	bolsas de 50 Kg	2	95	190
Sulfato de potasio	bolsas de 50 Kg	2	100	200
3 Insecticidas				S/. 150,00
Cipermex	litro	3	50	150
4 Herbicidas				S/. 60,00
Machete SG	litro	4	15	60
D Agua				S/. 378,00
Agua temporal	m3	14000	0,027	378
E Otros				S/. 120,00
saco	unidad	120	1	120
7 Servicios				S/. 180,00
transporte	sacos	90	2	180
I COSTOS DIRECTOS				S/. 4.044,00
II TOTAL COSTOS INDIRECTOS				S/. 1.494,00
Alquiler de terreno	Arriendo	1	1200	1200
Imprevistos(%)	%	2%	2000	40
Gastos administrativos(%)	%	3%	2500	75
Asistencia tecnica	%	3%	2300	69
Intereses bancarios p/mes del prestamo(%)	%	5%	2200	110
TOTAL DE COSTO DE PRODUCCIÓN				S/. 5.538,00

FUENTE: Altamirano (2017) elaborada con información del MINAGRI.

**ANEXO 10 : COSTOS DE PRODUCCIÓN DE (TN/ HA) ARROZ CON RIEGO POR GOTEO
PARA UNA HA EN CONDICIONES DEL AER.**

ACTIVIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL (S/.)
A MANO DE OBRA				S/. 998,00
1 Preparación de Terreno			S/.	S/. 160,00
limpieza de terreno(Quema, junta)	Jornal	3	20	60
Bordeadura	Jornal	4	15	60
Riego machaco	Jornal	2	20	40
2 Siembra directa				S/. 240,00
siembra en surcos	Jornal	12	20	240
3 Labores Culturales				S/. 498,00
Deshierbos	Jornal	3	22	66
Riegos	Jornal	6	17	102
Control fitosanitario	Jornal	6	25	150
Abonamiento y fertilizacion	Jornal	10	18	180
4 Cosecha				S/. 100,00
ensacado y encajonamieto	Jornal	4	25	100,00
B MAQUINARIA AGRICOLA				S/. 945,00
1 Preparacion de terreno				S/. 945,00
Arado y rotulado	Hora/maq.	1	100	100
Rastra /desterronado/Cruza	Hora/maq.	1,5	90	135
Nivelacion y surco	Hora/maq.	2	70	140
Cosehadora combinada	Hora/maq.	4	100	400
Nivelacion(rufa)	Hora/maq.	2	85	170
C INSUMOS				S/. 1.450,00
1 Semilla	Kg.	80	2,75	S/. 220,00
2 Fertilizantes				S/. 1.020,00
Urea	bolsas de 50 Kg	7	90	630
Fosfato Di amónico	bolsas de 50 Kg	2	95	190
Sulfato de potasio	bolsas de 50 Kg	2	100	200
3 Insecticidas				S/. 150,00
Cipermex	litro	3	50	150
4 Herbicidas				S/. 60,00
Machete SG	litro	4	15	60
D Agua				S/. 200,83
Agua temporal	m3	7438	0,027	200,826
E Otros				S/. 120,00
saco	unidad	120	1	120
F Servicios				S/. 180,00
transporte	sacos	90	2	180
G instalacion de sistema de riego				S/. 10.000,00
goteo	ha	1	10000	10000
I COSTOS DIRECTOS				S/. 13.893,83
II TOTAL COSTOS INDIRECTOS				S/. 1.494,00
Alquiler de terreno	Arriendo	1	1200	1200
Imprevistos(%)	%	2%	2000	40
Gastos administrativos(%)	%	3%	2500	75
Asistencia tecnica	%	3%	2300	69
Intereses bancarios p/mes del prestamo(%)	%	5%	2200	110
TOTAL DE COSTO DE PRODUCCIÓN				S/. 15.387,83

FUENTE: Elaborada con información de Tesis de Altamirano (2017) e información del proyecto.

ANEXO 11 : VISTAS FOTOGRÁFICAS DE PREPARACIÓN DEL TERRENO (ARADO Y NIVELACIÓN DEL TERRENO) Y HABILITACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO (INSTALACIÓN DE CINTAS DE RIEGO Y ACCESORIOS DE RIEGO (VÁLVULAS MARIPOSA DE PVC, CONECTORES, ENLACES Y BIGOTES (TUBO DE POLIETILENO))).



a) Remocion de terreno



b) Nivelacion de terreno



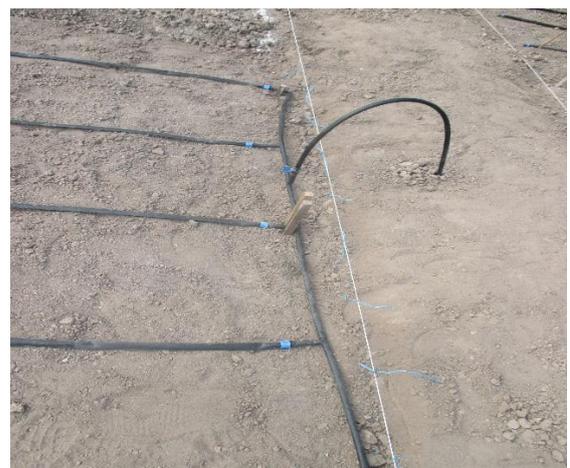
c) Instalación de cintas de riego en campo.



d) Conectores y enlaces de accesorios de riego



e) Instalación de válvula de PVC.



f) Conexión de los bigotes con ramal de cintas de riego.

ANEXO 12 : PRUEBA DE GERMINACIÓN Y DESARROLLO DEL CULTIVO



a) Germinacio de la pimera muestra.



b) Germinacion de la segunda muestra.



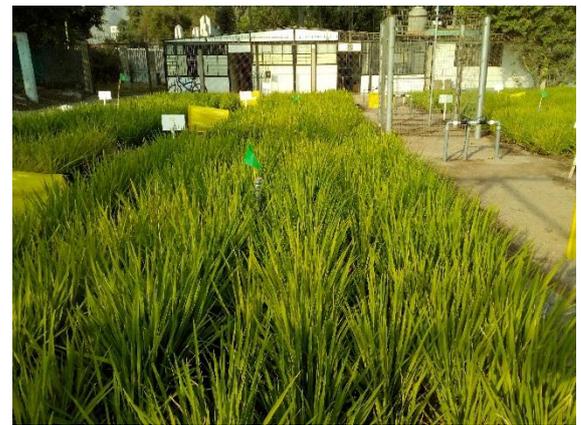
c) Germinación – de las primeras hojas verdaderas.



d) Planta con las tres hojas verdaderas.



e) Planta con las cinco hojas verdaderas.



f) Cultivo de arroz en máximo macollamiento.

ANEXO 13 : FERTILIZACIÓN DEL CULTIVO E INSTALACIÓN DE PLÁSTICO TRANSPARENTE EN LAS ÉPOCAS DONDE DESCENDE LAS TEMPERATURAS.



a) Primera fertilización.



b) Instalación de plásticos para la protección de noche.



c) Plásticos instalados durante el día.



d) Descubierta de plásticos.

ANEXO 14 : MEDICIÓN DE TAMAÑO DE RAÍZ AL FINALIZAR EL CULTIVO Y CONTEO DE PANÍCULAS.



a) Medción de raíz de la primera parcela escogida al azar.



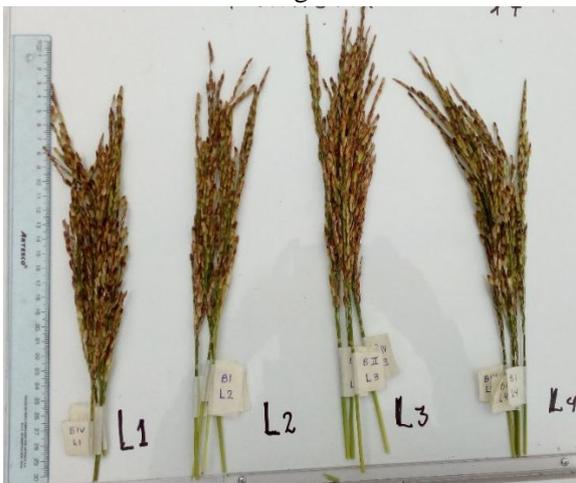
b) Medción de raíz de la segunda parcela escogida al azar.



c) Medción de raíz de la tercera parcela escogida al azar.



d) Medción de raíz de la cuarta parcela escogida al azar.



e) Muestra de panojas.



f) Medición de tamaño de panojas.