

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**“EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO EN VIVERO
PARA ALMÁCIGO DE PALMA ACEITERA EN LA EMPRESA
AGROINDUSTRIAL PALMAS DEL ESPINO”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL
PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERA AGRICOLA**

NAHOMI HELIANA FLORES TORRES











LIMA – PERÚ

2022

Document Information

Analyzed document	TSP FLORES TORRES_26.01.docx (D157175260)
Submitted	1/27/2023 10:24:00 PM
Submitted by	LIA RAMOS FERNANDEZ
Submitter email	liarf@lamolina.edu.pe
Similarity	6%
Analysis address	liarf.unalm@analysis.arkund.com

Sources included in the report

W	URL: https://naandanjain.com/solutions/oil-palm/?lang=es Fetched: 1/27/2023 10:27:00 PM		3
SA	Tesis Ing Cherrez.pdf Document Tesis Ing Cherrez.pdf (D20833693)		1
SA	Monografia Andrés Gómez.pdf Document Monografia Andrés Gómez.pdf (D38901187)		3
W	URL: http://www.psi.gob.pe/docs/%25Cbiblioteca%25Cmanuales%25Cmanual_de_supervision_sistemas_de_... Fetched: 1/27/2023 10:27:00 PM		1
SA	Modulo 5 Manual de Riego y Drenaje..pdf Document Modulo 5 Manual de Riego y Drenaje..pdf (D13280918)		4
SA	PERFIL MAYO 6.docx Document PERFIL MAYO 6.docx (D19796864)		1
SA	Universidad Nacional Agraria La Molina / TSP-Chapoñan_Lourdes_17-09-2022 .docx Document TSP-Chapoñan_Lourdes_17-09-2022 .docx (D144330874) Submitted by: liarf@lamolina.edu.pe Receiver: liarf.unalm@analysis.arkund.com		3
W	URL: https://www.fao.org/3/at787s/at787s.pdf Fetched: 1/27/2023 10:25:00 PM		6
SA	Tesis arreglada.....2222.docx Document Tesis arreglada.....2222.docx (D14400257)		1
SA	Universidad Nacional Agraria La Molina / TSP-Mendoza Diego.docx Document TSP-Mendoza Diego.docx (D144909610) Submitted by: jramirez@lamolina.edu.pe Receiver: jramirez.unalm@analysis.arkund.com		1

Entire Document

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

**“EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO EN
VIVERO PARA ALMÁCIGO DE PALMA ACEITERA EN LA
EMPRESA AGROINDUSTRIAL PALMAS DEL ESPINO”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR EL TÍTULO DE:
INGENIERA AGRÍCOLA

PRESENTADO POR:

BACH. NAHOMI HELIANA FLORES TORRES

Sustentado y aprobado por el siguiente jurado:

Dr. Néstor Montalvo Arquíñigo
Presidente

Dra. Lía Ramos Fernández
Asesor

Mg. Sc. Javier Antonio Goicochea Ríos
Miembro

Ing. Jaime Eduardo Vásquez Cáceres
Miembro

LIMA – PERÚ
2022

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Problemática.....	1
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivo principal	2
1.2.2. Objetivos específicos	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Cultivo de palma aceitera	3
2.2. Manejo del cultivo de palma	3
2.3. Manejo de viveros de palma aceitera	4
2.4. Material genético	4
2.5. Producción y plantación de palma aceitera	4
2.6. Riego por goteo	5
2.7. Ventajas y desventajas del riego por goteo	6
2.8. Componentes del riego por goteo.....	6
2.9. Evaluación de la uniformidad de un sistema de riego por goteo.....	17
2.9.1. Metodología de evaluación.....	19
2.10. Secuencia de labores de mantenimiento y limpieza	21
2.11. Métodos PIG para limpieza mecánica de tuberías	23
III. DESARROLLO DEL TRABAJO	25
3.1. Descripción del área de estudio.....	25
3.1.1. Ubicación política.....	25
3.1.2. Accesos y vías de comunicación	26
3.1.3. Plano de ubicación.....	26
3.2. Características del cultivo de palma aceitera	27
3.3. Clima	27
3.4. Suelo.....	29
3.5. Agua de riego	31
3.6. Variables de evaluación del diseño	34
3.6.1. Relación agua-suelo – planta-clima.....	34

3.6.2. Factor de cultivo (Kc).....	34
3.6.3. Evapotranspiración potencial (ETp).....	35
3.6.4. Evapotranspiración de cultivo (ETc).....	37
3.7. Evaluación del diseño de riego.....	37
3.8. Metodología para calcular el coeficiente de uniformidad.....	43
3.9. Mantenimiento integral del sistema de riego.....	45
3.9.1. Fuente de agua.....	45
3.9.2. Filtrado.....	47
3.9.3. Arcos de riego.....	48
3.9.4. Componentes de válvulas hidráulicas.....	49
3.9.5. Elementos de medición.....	51
3.9.6. Válvulas de aire.....	52
3.9.7. Emisor y lateral de riego.....	52
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	54
4.1. Evaluación del sistema de riego.....	54
4.2. Determinación del coeficiente de uniformidad de riego.....	55
4.3. Mantenimiento del sistema de riego.....	56
V. CONCLUSIONES.....	61
VI. RECOMENDACIONES.....	62
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63
VIII. ANEXOS.....	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Fases de plantación del cultivo de palma de aceite	5
Tabla 2: Diferencia entre tipos de riego implementados en palma de aceite	5
Tabla 3: Indicadores del desempeño de sistemas de riego presurizado	20
Tabla 4: Secuencia de labores de mantención y limpieza de equipos de riego localizado.....	22
Tabla 5: Rutas de acceso a la obra.....	26
Tabla 6: Datos meteorológicos promedio obtenidos de la estación Tanata	29
Tabla 7: Porcentaje según tipo de suelo	31
Tabla 8: Propiedades físicas del suelo según texturas	31
Tabla 9: Clasificación del riego según la conductividad eléctrica	32
Tabla 10: Clasificación de calidad del agua para riego según FAO.....	33
Tabla 11: Parámetros normalmente requeridos en el análisis de la calidad de agua.....	33
Tabla 12: Cálculo de la evapotranspiración potencial – Método de Hargreaves	36
Tabla 13: Cálculo de la evapotranspiración potencial – Método de Thornthwaite	37
Tabla 14: Parámetros iniciales del vivero.....	38
Tabla 15: Capacidad de riego (mm h^{-1}).....	38
Tabla 16: Tabla de precipitación efectiva mensual (mm mes^{-1}).....	40
Tabla 17: Tabla de lámina neta (mm mes^{-1}).....	40
Tabla 18: Cálculo del tiempo por operación (hr)	41
Tabla 19: Cálculo del tiempo de riego ajustado (hr)	42
Tabla 20: Cálculo del caudal por módulo ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$).....	42
Tabla 21: Cálculo del área promedio por válvula ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$)	43
Tabla 22 Plantilla de recolección de caudal por emisor ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$)	44
Tabla 23: Comparación de los parámetros de diseño	54
Tabla 24: Datos de caudal por emisor del turno de riego crítico.....	55
Tabla 25: Datos de presión por válvula	56
Tabla 26: Análisis químico del agua de riego	58
Tabla 27: Calidad del agua de riego en relación al riesgo de obturación	59
Tabla 28: Tratamientos: prevención y eliminación de precipitados de hierro y manganeso	59
Tabla 29: Triángulo de texturas según clasificación USDA	65

Tabla 30: Resumen de las propiedades físicas del suelo	65
Tabla 31: Estimación de valores del Índice de precipitación (Ip) para diferentes probabilidades.....	66
Tabla 32: Valores del coeficiente del cultivo	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Sistema de filtrado en caseta.....	8
Figura 2: Filtro Hidrociclón.....	8
Figura 3: Filtro de arena vertical	9
Figura 4: Filtro de anillos	9
Figura 5: Filtro de malla	10
Figura 6: Medidor de caudal tipo turbina	11
Figura 7: Manómetro de glicerina	11
Figura 8: Tipos de válvulas de aire.....	13
Figura 9: Esquema de un sistema de riego tecnificado	14
Figura 10: Cabezal de campo compuesto por válvulas hidráulicas.....	14
Figura 11: Válvula reductora de presión	15
Figura 12: Válvula sostenedora de presión.....	15
Figura 13: Válvula aliviadora de presión	16
Figura 14: Goteros pinchados.....	17
Figura 15: Goteros insertados.....	17
Figura 16: Esquema de distribución de las unidades a muestrear	20
Figura 17: Comparativa de cintas de riego, antes y después del uso de pig.....	24
Figura 18: Estandarización de dimensiones para POLLY PIG	24
Figura 19: Mapa del Departamento de Lima y Provincias de San Martín	25
Figura 20: Mapa de las provincias de Tocache	26
Figura 21: Mapa de ubicación de la zona de estudio.....	27
Figura 22: Diagrama triangular textural de suelo	30
Figura 23: Interpretación de rangos de pH	32
Figura 24: Curva generalizada del coeficiente del cultivo	35
Figura 25: Esquema de la distribución de las unidades a muestrear	44
Figura 26: Fuente de agua del vivero de almácigo de palma aceitera.....	45
Figura 27: Caseta de riego donde se ubica el pozo.....	46
Figura 28: Fuente de agua inicial de almácigo de palma aceitera	46
Figura 29: Fuente de agua inicial de almácigo de palma aceitera	47
Figura 30: Arco de riego de vivero de almácigo por cambiar	48
Figura 31: Instalación de arcos de riego en vivero	49

Figura 32: Arco de riego instalado con nuevos componentes hidráulicos	50
Figura 33: Diafragma del piloto regulador de presión	50
Figura 34: Resorte del piloto regulador de presión	51
Figura 35: Medidor de caudal tipo woltman ubicado en la caseta de riego	51
Figura 36: Válvula de aire instaladas en arcos de riego	52
Figura 37: Laterales de riego instalados en el vivero de Palmas del espino	52

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO	65
ANEXO 2: ÍNDICE DE PRECIPITACIÓN	66
ANEXO 3: VALORES DEL COEFICIENTE DEL CULTIVO KC.....	67
ANEXO 4: PANEL FOTOGRÁFICO.....	68
ANEXO 5: ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUA.....	71
ANEXO 6: PLANO HIDRÁULICO DEL PROYECTO	74

RESUMEN

La palma aceitera es el producto exportable de mayor ingreso en el departamento de San Martín, donde la empresa Palmas del Espino es la empresa líder en exportación de palma. Actualmente cuentan con 16 mil hectáreas de cultivo de palma; siendo líderes en el desarrollo, cultivo, producción sostenible e industrialización de palma aceitera cumpliendo altos estándares de calidad y cuidado del ambiente. La empresa requiere una evaluación de diseño de riego instalado y puesto en marcha, al mismo tiempo solicita una evaluación de la mantención del sistema de riego. Desde el año 2021, asumo el cargo de jefe comercial de la unidad de agroindustria, siendo parte de mis funciones, garantizar el correcto mantenimiento del sistema de riego; al mismo tiempo tengo a cargo la función de gestionar visitas técnicas a las agroexportadoras con el fin de asesorar sobre el correcto mantenimiento de los sistemas de riego. De lo anterior, en el presente trabajo se detalla la evaluación del diseño de riego por goteo, además de la operación y mantenimiento de dicho sistema.

Palabra clave: riego por goteo, operación, diseño.

ABSTRACT

Oil palm is the exportable product with the highest income in the department of San Martín, where the company Palmas del Espino is the leading company in palm exports. They currently have 16 thousand hectares of palm cultivation; being leaders in the development, cultivation, sustainable production and industrialization of oil palm, meeting high standards of quality and care for the environment. The company requires an evaluation of the irrigation design installed and put into operation; at the same time, it requests an evaluation of the maintenance of the irrigation system. Since 2021, I assume the position of commercial manager of the agribusiness unit, being part of my functions, to guarantee the correct maintenance of the irrigation system; At the same time, I am in charge of managing technical visits to agro-exporters in order to advise on the correct maintenance of irrigation systems. From the above, in the present work the evaluation of the drip irrigation design is detailed, in addition to the operation and maintenance of said system.

Keywords: drip irrigation, operation, design.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Problemática

Según Mario Liotta (2015) el riego por goteo es uno de los métodos más eficientes cuando hablamos de riego localizado, el cual permite conducir el agua mediante una red de tuberías y aplicar a los cultivos a través de emisores que entregan pequeños volúmenes de agua en forma periódica. A su vez, indica las ventajas de implementar un sistema de riego recaen principalmente en el ahorro de agua y la uniformidad de aplicación.

En base a la experiencia laboral se elabora diseños de planificación de sistemas de riego, en agroindustrias de la zona sur del país, el orden a seguir en una planificación inicia con un pre diseño de riego, considerando los datos agronómicos e hidráulicos que permitiría al usuario final regar de manera eficiente. Posterior a ello, se elabora planos donde se sectorizan los turnos de riego y distribuye las líneas primarias y secundarias del sistema de riego. Al respecto, estoy a cargo de la supervisión del mantenimiento de los sistemas de riego de viveros de la Empresa agroexportadora Palmas del Espino, con el fin de evaluar la operación del sistema, y elaborar protocolos de buenas prácticas de mantenimiento.

Es necesario resaltar la evaluación de la fuente de agua y la caseta de bombeo, así como las líneas de distribución hasta llegar a los turnos de riego. Estos turnos, básicamente son los más afectados si no se cuenta con un buen plan de mantenimiento; a partir de esto se realiza una inspección de las válvulas hidráulicas, los componentes de estos deben ser revisados de manera mensual a fin de prevenir caídas de presión, y lograr que el caudal a regar sea el adecuado. En tal sentido, se mencionarán las funciones realizadas a fin de lograr una mejor gestión y manejo del agua en las agroexportadoras. Finalmente, en el proyecto de Palmas del Espino, se realizó una evaluación integral, de todo el sistema de riego por goteo para almácigo de palma aceitera, en base al diseño, y se recomendó las mangueras de riego, emisores correctos, sistema de filtrado y las buenas prácticas para los viveros, a tener en cuenta durante la etapa de crecimiento del cultivo.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo principal

Evaluar la operación y mantenimiento del sistema de riego de goteo instalado y puesto en marcha del vivero para almácigo del cultivo de palma aceitera de la empresa agroindustrial Palmas del Espino.

1.2.2. Objetivos específicos

- Evaluar la uniformidad del sistema de riego a través del coeficiente de uniformidad y presiones del sistema de riego por goteo.
- Analizar los protocolos de operación y mantenimiento del sistema de riego en la región San Martín.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Cultivo de palma aceitera

El cultivo presente en la zona de estudio es la palma aceitera, cuya especie es *Elaeis guineensis*. Este tiene una altura de 15 a 20 metros de altura, planta perenne de largo rendimiento que empieza a producir frutos a partir de los cuatro años; sin embargo, su productividad comercial se estima en 25 años, a pesar de poder tener un período de vida de más de 50 años.

Como toda planta, tiene ciertas condiciones agroclimáticas necesarias para una eficiente producción. Estas condiciones coinciden con un buen clima y suelo, cabe recalcar que se cultivan en áreas tropicales donde la lluvia es abundante a lo largo de todo el año. Cuentan con una buena adaptación de suelos; especialmente si se trata de suelos tipo franco arcilloso, profundos, fértiles, sueltos y buen drenaje.

2.2. Manejo del cultivo de palma

En base al manejo del cultivo, existen tiempos críticos que exigen mayores cuidados en la palma aceitera. Es importante evitar que la palma sea sometida bajo condiciones de estrés. Acorde a Naandanjan: “El potencial de rendimiento de la palma aceitera reduce cuando los árboles están expuestos a condiciones de estrés. La baja humedad es la condición más común de estrés en la palma aceitera. Los períodos más críticos para la palma aceitera son: 24 meses, 18 meses y 6 meses antes de la maduración de los racimos de frutos. 24 meses antes de la maduración de los frutos es cuando se produce la selección del sexo de las flores. Si los árboles de palma aceitera sufren estrés en este momento crítico, una mayor proporción de las flores se vuelven machos, y por lo tanto no producen frutos. 18 meses antes de la maduración de los frutos se produce el aborto floral. Si los árboles de palma aceitera sufren el estrés en este momento crítico, se desarrollarán menos flores de forma tal que se producirá un menor número de frutos. 6 meses antes de la maduración de los frutos es el tiempo de la polinización. Si la palma aceitera está sujeta al estrés en este momento crítico, habrá una

menor polinización y se producirá un menor número de frutos”.

2.3. Manejo de viveros de palma aceitera

La implementación del vivero en el cultivo de palma aceitera, permite controlar condiciones ambientales con el objetivo de producir plantones de alta calidad a un menor costo. El objetivo de establecer un vivero de Palma aceitera es el de producir la cantidad necesaria y suficiente de plantones, de alta calidad y al menor costo, con fines de obtener altos rendimientos.

2.4. Material genético

Según Pedro Arévalo, la selección del material a sembrarse es muy importante, para asegurar altos rendimientos y calidad en el aceite, de modo que hagan rentable el cultivo de la palma, considerando que una planta produce, económicamente, durante 25 años. Las semillas certificadas de palma deben contar con ciertas características:

- Grado de pureza sobre el 95%
- Porcentaje de germinación sobre 85%
- Alta productividad en racimos (28 a 30 TM/Ha/año)
- Alta tasa de extracción (TEA=29%) de aceite de palma
- Crecimiento lento en la altura de tallo (40 a 45 cm./año)
- Resistente a enfermedades endémicas en la zona de instalación de la población

2.5. Producción y plantación de palma aceitera

Según Naandanjain, los árboles de palma aceitera son producidos generalmente en un sistema de vivero de dos etapas. Durante la primera etapa, también llamada de pre-vivero, las semillas germinadas crecen en pequeños recipientes durante un período de 2 a 3 meses. Esto se realiza normalmente en un vivero provisto con malla sombra. Cuando las semillas alcanzan su tamaño óptimo, son transferidas a recipientes grandes y a un vivero a campo abierto. Allí permanecen durante un período de 6 a 8 meses hasta que las plantas alcanzan una altura de 1 a 1.2 metros. El plantado en el campo se realiza habitualmente en forma triangular, dejando un espacio de 9 metros entre las plantas, alcanzándose un total de 140 - 150 plantas por hectárea (ver Tabla 1).

Tabla 1: Fases de plantación del cultivo de palma de aceite

FASE	DETALLE DE FASE	SISTEMA DE RIEGO
PRE-VIVERO	Tiempo: 2 a 3 meses de edad	Microaspersores Microjets
VIVERO	Tiempo: 6 a 8 meses de edad Altura: 1 a 1.2 metros	Goteo Aspersión
CAMPO	Tiempo: hasta 25 años de edad	Aspersión Goteo

FUENTE: CENIPALMA (2003)

De igual manera, existen ciertas comparaciones en base al tipo de riego implementado en viveros de palma aceitera (ver Tabla 2).

Tabla 2: Diferencia entre tipos de riego implementados en palma de aceite

	ASPERSIÓN	GOTEO	SURCO
Distribución de agua	Excelente	Bueno	Malo
Eficiencia en el uso de agua	Bueno	Muy bueno	Malo
Eficiencia en el uso de fertilizante	Bueno	Muy bueno	Malo
Mantenimiento	Bajo	Medio	Medio
Permiten riego inter cultivos	Sí	No	No
Efecto de enfriamiento de microclima	Bueno	Ninguno	Ninguno
Requerimiento de filtración y calidad de agua	Bajo	Alto	Ninguno
Inspección durante el proceso de riego	Sencillo	Difícil	Sencillo
Inversión inicial	Medio	Alto	Bajo

FUENTE: Naandanjain (2014).

2.6. Riego por goteo

Según Mendoza (2013), este método de riego consiste en la aplicación gota a gota directamente al suelo, usando aparatos llamados goteros. Estos goteros necesitan presión para un adecuado funcionamiento. Bajo este sistema de riego, al ser localizado se emplean cintas y/o mangueras de riego, así como goteros insertados a lo largo del lateral de riego. El riego tecnificado a diferencia del riego por gravedad cuenta con innovaciones en la agricultura, el cual conlleva a beneficios como:

2.7. Ventajas y desventajas del riego por goteo

a. Ventajas del Riego por goteo

- La eficiencia de aplicación varía entre 90% a 95%, ya que la evaporación disminuye considerablemente bajo este sistema.
- c mínimo ya que, al ser un riego localizado sobre las hileras de plantas, estas no perciben humedad.
- La presión de trabajo es menor comparada al riego por aspersión.

b. Desventajas del Riego por goteo

- Requiere de una inversión alta, sin embargo, a largo plazo representa un retorno de inversión alto.
- Es necesaria la disposición de una fuente de abastecimiento de agua de manera regular
- Requiere de energía para la operación del sistema de riego

2.8. Componentes del riego por goteo

Según Mendoza (2013), una instalación de riego por goteo debe contar como mínimo con los siguientes componentes:

a. Fuente de energía

Como se mencionó anteriormente, todo sistema de riego por goteo necesita de una fuente de energía para hacer efectiva la circulación del agua. Esta energía necesaria puede obtenerse a través de equipos de bombeo o energía generada por la diferencia de nivel entre el punto de derivación del agua y la parcela de riego.

Los equipos de bombeo pueden ser accionados por motores de combustión interna o motores eléctricos. Las bombas rotodinámicas utilizadas en riego se clasifican habitualmente atendiendo a los siguientes criterios.

Por tipo de flujo:

- Axial
- Radial

- Mixto

Por el tipo de impulsores:

- Unicelulares
- Multicelulares

Por la disposición del eje de rotación:

- Verticales
- Horizontales

b. Sistema de filtrado

Este sistema está compuesto por diferentes tipos de filtros, componentes que nos ayudarán a eliminar partículas y sólidos en suspensión cuya consecuencia serán obturaciones en los laterales y emisores de riego. Si el agua de riego contiene una considerable cantidad de sólidos disueltos en suspensión, es conveniente realizar un pre filtrado (Mendoza, 2013).

Según Mendoza, es importante contar con presión en el sistema, si esto se logra, se acostumbra a utilizar hidrociclones; por otro lado, de no contar con presión se eliminan estos sólidos en suspensión a través de balsas o depósitos de decantación. Una vez que las partículas más gruesas se han eliminado, el agua pasa por el equipo de filtrado, quedando lista para su distribución en la red (ver Figura 1).

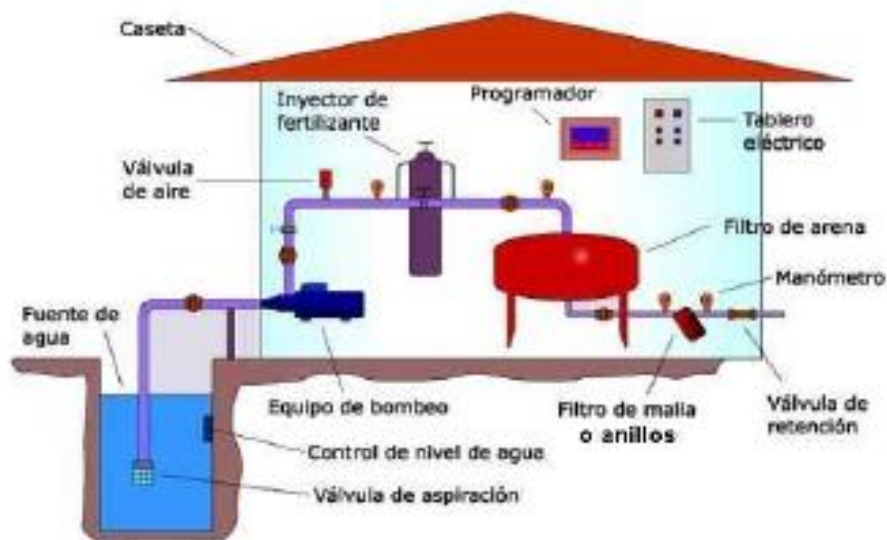


Figura 1: Sistema de filtrado en caseta

FUENTE: Mendoza (2013)

- **Tipos de filtrado:**

Fundamentalmente los tipos de filtros utilizados en riego por goteo y que se disponen en el orden que se enumeran son: hidrociclón, de arena, de malla y de anillos o discos.

Filtro hidrociclón: Son aparatos que pueden hacer las funciones de pre filtro, normalmente se instalan dentro del cabezal, cuando el agua fundamentalmente se encuentra contaminada por arenas (ver figura 2). Son dispositivos en los que gracias a un flujo vertical se consigue separar hasta el 98% de las partículas mayores de 100 micras. Por su diseño y principio de funcionamiento, sólo sirven para separar partículas más densas que el agua (Mendoza, 2013).



Figura 2: Filtro Hidrociclón

FUENTE: Mendoza (2013)

Filtro de arena: Se usan fundamentalmente para retener las partículas orgánicas en suspensión. Son depósitos llenos de arena o grava por la que circula el agua, dejando a su paso las partículas (ver Figura 3). Tienen una gran capacidad de acumulación de suciedad (Mendoza 2013).



Figura 3: Filtro de arena vertical

FUENTE. Mendoza (2013)

Filtro de anillos: Son de forma cilíndrica y el elemento filtrante es un conjunto de anillos con ranuras impresas sobre un soporte central cilíndrico y perforado (ver Figura 4). El agua es filtrada al pasar por los pequeños conductos formados entre dos anillos consecutivos. La calidad del filtrado dependerá del espesor de las ranuras (Mendoza 2013).



Figura 4: Filtro de anillos

FUENTE: Mendoza (2013)

Filtro de malla: A diferencia de los filtros de arena, que realizan una retención de impurezas en profundidad, los de malla efectúan una retención superficial, lo que hace que su colmatación sea mucho más rápida (ver Figura 5). Por esta razón se suelen utilizar con aguas no muy sucias que contengan partículas de tipo inorgánico, o como elementos de seguridad después de hidrociclones, filtros de arena o equipos de fertinización (Pizarro, 1996).



Figura 5: Filtro de malla

FUENTE: Pizarro (1996)

c. Dispositivos de medida, control y protección

Según Mendoza, los más usuales suelen destinarse para medir el caudal o el volumen de agua o bien la presión en cualquier punto del sistema. Estos elementos son imprescindibles en las instalaciones de riego localizado.

- Medidores de Caudal: permiten registrar la cantidad de agua entregada al campo. Son elementos utilizados para medir la cantidad de agua que pasa por un punto en la unidad de tiempo. También son útiles para descubrir la existencia de obturaciones, roturas o fugas. Además, los contadores de volumen, permiten realizar un riego controlado, ya que se puede conocer la cantidad de agua que se ha aplicado a un cultivo, independientemente del tiempo que se esté regando. Los medidores de caudal o volumen más usados son los de turbina.

Los medidores de turbina usados son los denominados Woltman, los cuales son bastante precisos. Suelen fabricarse para medir el volumen en tuberías con diámetros entre 50 y 300 milímetros (ver Figura 6).



Figura 6: Medidor de caudal tipo turbina

FUENTE: Grupo Hidráulica S.A.

- Medidores de presión: Estos medidores de presión ayudan a verificar las presiones de trabajo en el sistema de riego. Contribuye a identificar pérdidas excesivas de carga (por ejemplo, en verificar la suciedad del filtro) así como la verificación de presión en los arcos de riego. Los elementos de medición de presión son denominados como manómetros, es importante que cuenten con glicerina en su interior del cuerpo, y así prevenir descalibraciones en campo (Mendoza, 2013). Es imprescindible medir la presión, como mínimo, a la salida del equipo de bombeo (para saber la presión de entrada al sistema), y a la entrada y salida de filtros. Además, es aconsejable medirla en la entrada de las unidades de riego y de las tuberías múltiples (ver Figura 7).



Figura 7: Manómetro de glicerina

FUENTE: Mendoza (2013)

- Válvula de aire: encargada de permitir la entrada de aire a las tuberías, cuando el flujo de agua se detiene con el propósito de evitar la succión. Deben ubicarse después de la bomba y en los puntos en que las tuberías matrices tengan cambios de pendiente, así como en las conducciones de agua o en las partes altas del sistema (Mendoza 2013):

Existen 3 tipos de válvulas de aire acorde al funcionamiento:

Ventosas simples: se encargan de eliminar el aire que se acumula en las tuberías durante un funcionamiento normal.

Ventosas bifuncionales: sirven tanto para la evacuación del aire acumulado en las tuberías durante su llenado, como para la introducción de este durante su vaciado.

Ventosas trifuncionales: realiza las tres funciones antes descritas, es decir, purgar, admisión y expulsión de aire. Las ventosas evitan sobrepresiones de las tuberías durante el llenado y depresiones durante el vaciado. En ocasiones se producen bajas de presión que quedan por debajo de la atmosférica y que pueden producir el aplastamiento de las tuberías. En estos casos las ventosas permiten la admisión de aire que funciona a modo de colchón.

En general, deben instalarse en los siguientes lugares como parte del sistema de riego localizado (ver Figura 8):

- Puntos altos de la instalación.
- Tramos largos con pendientes uniformes.
- Cambios de pendientes en las tuberías.
- Salidas del equipo de bombeo.



Figura 8: Tipos de válvulas de aire

FUENTE: Mendoza (2013)

d. Red de conducción y distribución

La red de tuberías o red de distribución está formada por las tuberías que llevan el agua filtrada y tratada desde el cabezal, y los elementos singulares o accesorios o piezas para adaptar la red de tuberías a la forma o configuración de la parcela a regar (Fernández, 2010).

La distribución de tuberías se puede clasificar de la siguiente manera (ver Figura 9):

- Línea principal, la cual conecta las líneas distribuidoras a la fuente de agua. Puede estar constituida de polietileno, PVC, acero inoxidable o asbesto-cemento.
- Líneas distribuidoras, las cuales permiten conectar las líneas laterales a ambos lados. Pueden ser flexibles si están ubicadas en la superficie o rígidas si están enterradas.

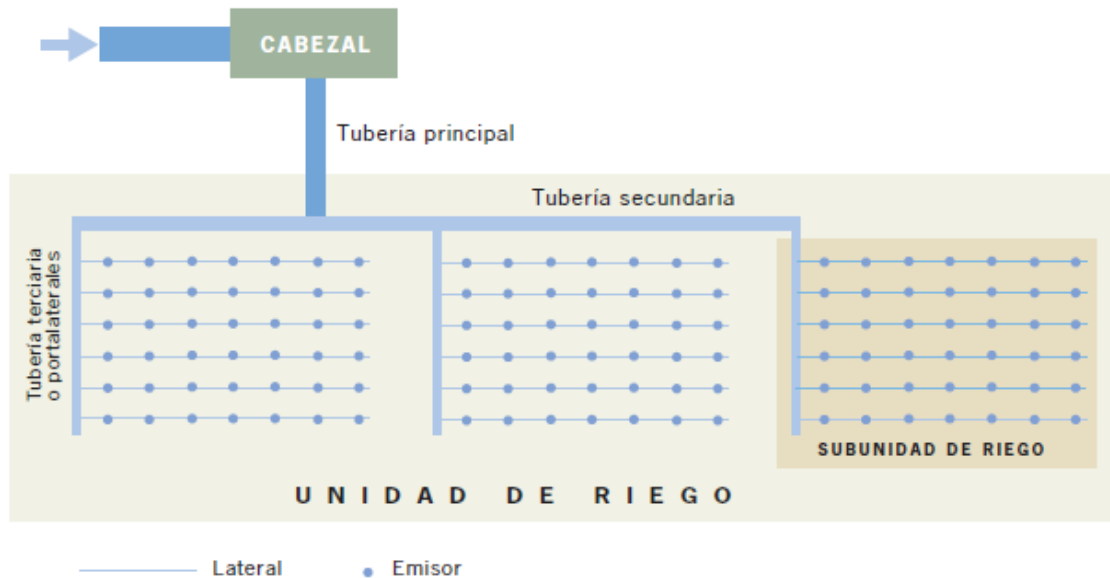


Figura 9: Esquema de un sistema de riego tecnificado

FUENTE: Fernández (2010)

- Cabezales de campo: conocidos como arcos de riego, instaladas en campo para suministrar agua en los diferentes sectores de riego (ver Figura 10). Cuentan con dos tipos: simples (solo actúan como válvulas de paso) e hidráulicas (accionadas a través de presión hidráulica).



Figura 10: Cabezal de campo compuesto por válvulas hidráulicas

FUENTE: Liotta (2015)

- Válvulas reguladoras de presión: La adición de un piloto regulador a la válvula manual o eléctrica, le otorga capacidad de reducir la presión aguas abajo de la

válvula, o bien de sostener la presión aguas arriba de la misma (ver Figura 11).

Estas válvulas cumplen distintas funciones en campo, como:

- Reducción de presión: es una de las funciones más importantes que cumplen estas válvulas, ya que trabajan con presiones bajas. Es importante operar con presiones bajas para lograr un adecuado funcionamiento de emisores.



Figura 11: Válvula reductora de presión

FUENTE: Bermad Perú S.A.

- Sostenedora de presión: aguas arriba de la válvula debe sostener la presión ya que cumple una principal función en sistemas de filtrado, las cuales requieren una presión mínima para realizar una adecuada limpieza del elemento filtrante; el piloto sostenedor logra mantener el nivel de presión adecuado (ver Figura 12).



Figura 12: Válvula sostenedora de presión

FUENTE: Grupo Hidráulica S.A.

- Aliviadora de presión: la válvula es equipada con un piloto de alivio rápido que monitorea la presión aguas arriba de la válvula. Una vez que dicha presión alcanza el nivel calibrado, el piloto permite el drenado instantáneo de la cámara de la válvula y la válvula se abre completamente liberando presión de la tubería (ver Figura 13).



Figura 13: Válvula aliviadora de presión

FUENTE: Grupo Hidráulica S.A.

- Emisores o goteros, los goteros son estructuras que disipan la presión que trae el agua dentro de la tubería lateral, en el mercado se pueden encontrar distintos tipos de goteros. Para definir un tipo de gotero se puede atender a distintas clasificaciones según su instalación y su comportamiento hidráulico (ver figuras 14 y 15).

e. Según su instalación

Sobre la línea (goteros botón o pinchados): son goteros que se insertan en la tubería realizado con un equipo de perforación, estos se pueden colocar en tuberías de distintos diámetros.

Integrados: estos goteros ya vienen instalados de fábrica bajo ciertos parámetros de caudal y distanciamiento.

f. Según su comportamiento hidráulico:

Normales o estándar: son goteros que cuentan con un cuadro entre presión y caudal,

en cuanto mayor sea la presión de trabajo más caudal arroja. Este tipo de goteros a su vez pueden ser de conducto largo, laberinto, orificio.

Auto compensantes: El caudal de salida debe ser el mismo dentro de un rango determinado de presión.



Figura 14: Goteros pinchados

FUENTE: Azud S.A.



Figura 15: Goteros insertados

FUENTE: Azud S.A.

2.9. Evaluación de la uniformidad de un sistema de riego por goteo

La evaluación de la eficiencia con que se encuentra funcionando un equipo de riego por goteo es muy importante pues el efecto contrario (su ineficiencia) provoca gastos de energía excesivos, mala distribución del agua, variabilidad en la producción del cultivo, etc. (Programa de servicios agrícolas provinciales, 2016).

La programación del riego, tiene como punto de partida el caudal nominal del emisor, la cual es definida por el fabricante. Existen variaciones de caudal por efectos de presión, temperatura, obturaciones (físicas, biológicas o químicas) y por fallas en el diseño de los sistemas de riego, por lo que normalmente el caudal real difiere del caudal nominal.

- Caudal nominal: es el flujo que suministra el gotero en litros por hora a una determinada presión nominal, según ficha técnica correspondiente.
- Presión nominal: es la presión para la que ha sido diseñada el emisor. Varía según tipo de emisor, ya sea auto compensante o turbulento.
- Ecuación característica del emisor: obtenido de un bando de prueba y es imprescindible para la instalación.

$$Q = K x h^x$$

Donde:

q: caudal del emisor

k: coeficiente de descarga (adimensional)

h: presión a la entrada del emisor (mca)

x: exponente de descarga (adimensional)

Obturación en los emisores

La obturación en emisores viene a ser uno de los principales problemas en riego localizado, como consecuencia el diámetro de paso del emisor disminuye lo cual repercute en el rendimiento del cultivo al no recibir el agua necesaria para su crecimiento.

La uniformidad de aplicación del agua de riego se verá afectada al presentar obturación en el sistema. (PRONAMACHCS, 2005). La obturación de los emisores puede ser de naturaleza: física, química y biológica.

- Obturación física: se relaciona con la sedimentación de partículas, tanto minerales como orgánicas, suspendidas en agua de riego. Se previene este tipo de obturación con la instalación de un buen sistema de filtrado en el cabezal de riego y un correcto mantenimiento.
- Obturación química: se produce por el efecto de los precipitados químicos cuando se modifican cualidades del agua de riego (T°, presión y pH). Existen precipitados de

calcio, que se producen en función de la acidez del agua de riego. A su vez los precipitados de hierro, azufre y manganeso, se forman en los emisores al ponerse en contacto estos elementos con la atmósfera, ya que precipitan al oxidarse.

- Obturación de tipo biológica: se produce por el crecimiento de microorganismos en el agua de riego, como el crecimiento de algas en lugares donde se acumula el agua al aire libre. Las algas colmatan los filtros y son medio de cultivo para el desarrollo de bacterias.

2.9.1. Metodología de evaluación

Para evaluar el funcionamiento de una subunidad de riego, se forman dos parámetros indicadores del funcionamiento del equipo:

a. Determinación del coeficiente de uniformidad (CU)

La metodología desarrollada por Merriam y Keller (1978), cuenta con ciertos procedimientos a seguir. Se toma el área de la subunidad o sector que domina cada válvula de una secuencia y un número mínimo de 4 laterales. De ellas se mide el caudal en el inicio, a 1/3, 2/3 y al final de línea lateral. Esto se realiza en el primer lateral, también el que se encuentra a 1/3 del largo de la subunidad, se repite para el que se encuentra a 2/3 y el último de los laterales (ver Figura 16).

Para la medición del caudal del gotero, se procede a medir con una probeta graduada el volumen de agua que se mide en 36 segundos. Este procedimiento se repite tres veces por gotero en los 16 puntos de medición. Para calificar el desempeño del sistema de riego se procede inicialmente al cálculo del coeficiente de uniformidad (CU) para calificar el desempeño del riego en cada cuartel o sector dominado por válvula según clasificación (Merriam y Keller, 1978).

$$Cu = q_{25\%} / q_{promedio}$$

Donde:

Cu: Coeficiente de uniformidad

Q_{prom}: Caudal promedio de todas las lecturas (l h⁻¹)

Q_{25%}: Caudal promedio del 25% de las lecturas más bajas (l h⁻¹)

Tabla 3: Indicadores del desempeño de sistemas de riego presurizado

Clasificación	Merriam and Keller (1978)
	CU
Excelente	>90
Bueno	80-90
Regular	70-80
Pobre	<70

FUENTE: Merriam y Keller (1978)

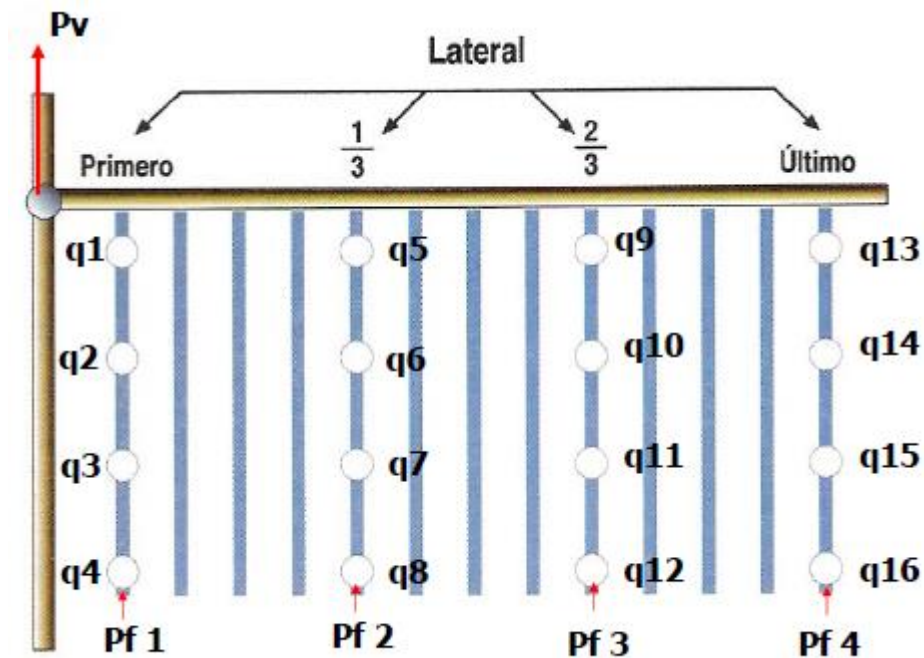


Figura 16: Esquema de distribución de las unidades a muestrear

FUENTE: Programa de servicios agrícolas provinciales (2016)

b. Coeficiente de uniformidad de presiones (CUh)

En los mismos 16 puntos donde se miden caudales se procede a la medición de presiones, las mismas se realizan con manómetros, dejando el lateral en el suelo para su lectura. Se ordenan los valores de presión de emisores en forma decreciente y se aplica la fórmula propuesta por Merriam y Keller (1978), que se presenta a continuación:

$$Cu = (P_{25\%} / P_{promedio})^x$$

Donde:

CUh: Coeficiente de uniformidad de presiones

P25%: Presión promedio de la cuarta parte de más baja presión del emisor (Kg cm^{-2})

Pmed: Presión promedio de todos los emisores medidos (Kg cm^{-2})

x: Exponente de descarga del emisor

2.10. Secuencia de labores de mantenimiento y limpieza

Todo sistema de riego requiere de revisiones periódicas al inicio, durante y término, para determinar su óptimo funcionamiento y operatividad. (Ver Tabla 4).

Tabla 4: Secuencia de labores de mantenimiento y limpieza de equipos de riego localizado

EQUIPOS	TÉRMINO	INICIO	DURANTE
FILTROS	Drenar el agua del equipo de filtración después del lavado	Revisar conexiones eléctricas	Observar que la filtración sea buena y que los controles automáticos estén funcionando
	Inspeccionar los filtros internamente por cualquier deterioro	Revisar controles automáticos	Verificar que se efectúe automáticamente el retrolavado cuando la diferencia de presión entre manómetros de salida y entrada sea igual o mayor a 5 m.c.a.
	Desconectar la fuente de energía	Revisar limpieza interior	En los filtros de malla o anilla, se debe efectuar un lavado de malla o anillos cuando le manómetro indique una caída presión igual o mayor a 5 m.c.a.
	Revisar cables eléctricos	Revisar el retrolavado	Terminar el riego diario con una limpieza de filtros, de tal forma que estén limpios
VÁLVULAS	Vaciar todas las válvulas	Inspeccionar válvulas automáticas	Verificar operación de válvulas
	Revisar válvulas Dejar todas las válvulas abiertas	Verificar funcionamiento de las válvulas	Lubricar según recomendación del fabricante
TUBERÍAS	Cuando el sistema de riego esté funcionando, marcar roturas en la red de riego		Limpiar tuberías, hacer correr el agua por ellas todas las veces que sea necesario
	Drenar matrices, submatrices y laterales	Revisar operación del sistema	Abrir grupos de 5 laterales hasta que el agua salga limpia
	Inspeccionar las tuberías		En caso de persistir con el problema, llamar a un técnico especializado
EMISORES	Aprovechar en cambiar emisores rotos o con algún problema (marcar cuando el sistema esté funcionando)	Revisar visualmente obstrucciones, daños u otros signos de deterioro	Revisar mensualmente la descarga y presión de operación. Revisar obstrucción y daños por lo menos una vez en la temporada Dejar marcos emisores rotos para cambiarlos al final
INYECTOR DE FERTILIZANTES	Lavar bien y verificar el equipo	Revisar cualquier obstrucción	
	Revisar válvulas y revisar visualmente las conexiones eléctricas	Revisar funcionamiento general	Lavar y vaciar el estanque después de cada uso
	Prevenir cualquier corrosión	Revisar dosificación	
TABLERO ELÉCTRICO Y PROGRAMADOR	Limpiar tablero	Revisar conexiones	
	Desconectar de la fuente de energía	Verificar funcionamiento en general (amperímetros, voltios y otros)	Cada semana revisar visualmente todos los componentes externos
BOMBAS	Sacar la bomba y revisar rodamientos y sellos desgastados	Revisar conexión eléctrica	
	Revisar la curva de funcionamiento y consumo de energía con un técnico especializado	Revisar funcionamiento general	Revisar funcionamiento, ruidos, vibraciones y otros.

FUENTE: Instituto de investigaciones agropecuarias.

2.11. Métodos PIG para limpieza mecánica de tuberías

Acorde a la Tabla 4, es importante limpiar tuberías haciendo correr el agua por ellas, las veces que sean necesarias para la limpieza. Sin embargo, una limpieza con solamente agua, no conseguirá buenos resultados; por el contrario, se hará uso de una enorme cantidad de agua.

El “pig” nos permite una mejor limpieza de tuberías, generando un mayor ahorro de agua. Es vital considerar su uso ante tuberías que presenten colmataciones; a raíz de ello, habrá presencia de pérdidas de carga en la red de tuberías.

Los “pigs” son de diferente tipo acorde al material de las tuberías, diámetros, etc. Al hablar de riego, es recurrente encontrar tuberías de PVC, HDPE, LDPE; donde el taponamiento puede ser de origen orgánico, inorgánico o ambos a la vez. El material del pig usado en riego, es de poliuretano expandido, y se fabrica acorde al diámetro de paso de la tubería.

a. Características

Espuma acondicionada para la limpieza de tuberías fabricada con espuma de poliuretano flexible, aspecto físico, porosidad fina y homogénea cuya densidad es de 20 kg/m^3 , 25 kg/m^3 , 30 kg/m^3 .

¿Cómo funciona?

Los pigs, se insertan en un extremo de la tubería, gracias a la presión del sistema procede a avanzar, saliendo por un extremo abierto. Por otro lado, se debe considerar tener en el sistema, una velocidad mínima de arrastre del “pig” de 0.2 a 0.3 segundos. Las tuberías de PVC, HDPE, LDPE, etc. requieren realizar limpiezas con más de una aplicación para la corroboración de una limpieza efectiva. Es vital contar con entradas y salidas fijas de “pigs”, de lo contrario tener sistemas semifijos para la limpieza mecánica de tuberías.

b. Procedimiento de limpieza

Monitorear pérdidas de carga en el sistema, y ubicar el tramo crítico de taponamiento. Una vez aislada la tubería para limpiar, se cierra válvulas y se habilitan entradas y salidas para los pigs. Al trazar los tramos donde pasará el pig, se abren las válvulas

de paso donde el “pig” pasará. Se aconseja evitar colocar en trayectos donde se encuentren válvulas mariposa, medidores de agua, válvulas duo check, reducción de paso según diámetro entre otros elementos. Una vez colocado el “pig”, se mete presión para realizar el primer lavado, con el fin de comparar la resistencia y suciedad que absorbe al pasar por primera vez en el lavado. Se debe lavar el sistema hasta que el agua de salida, se encuentre limpia. Una vez culminado el tratamiento de lavado, corroboramos el caudal y las presiones.



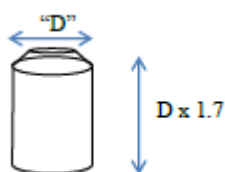
Figura 17: Comparativa de cintas de riego, antes y después del uso de pig

c. Dimensionamiento

Forma; Cilíndrica

Diámetro; “D”

Largo; $D \times 1.7$



NOMBRE	DIÁMETRO TUBERIA “d”	DIÁMETRO ESPUMA “D”	LONGITUD DE ESPUMA “L”
POLLY PIG P/TUBO 63mm (2”)	63mm	8cm	14cm
POLLY PIG P/TUBO 75mm (2”)	75mm	9cm	15cm
POLLY PIG P/TUBO 90mm (2”)	90mm	11cm	18cm
POLLY PIG P/TUBO 110mm (2”)	110mm	13cm	22cm
POLLY PIG P/TUBO 140mm (2”)	140mm	16cm	28cm
POLLY PIG P/TUBO 160mm (2”)	160mm	19cm	32cm
POLLY PIG P/TUBO 200mm (2”)	200mm	23cm	39cm
PIG LIMPIAMANGUERA 16mm (20mm x 2”)	16mm	20mm	2”

Figura 18: Estandarización de dimensiones para POLLY PIG

III. DESARROLLO DEL TRABAJO

3.1. Descripción del área de estudio

3.1.1. Ubicación política

El presente proyecto se encuentra en Palmawasi S/N, en el distrito de Santa Lucía, provincia de Tocache, región de San Martín (ver figuras 17 y 18).

Región: San Martín

Provincia: Tocache

Distrito: Santa Lucía

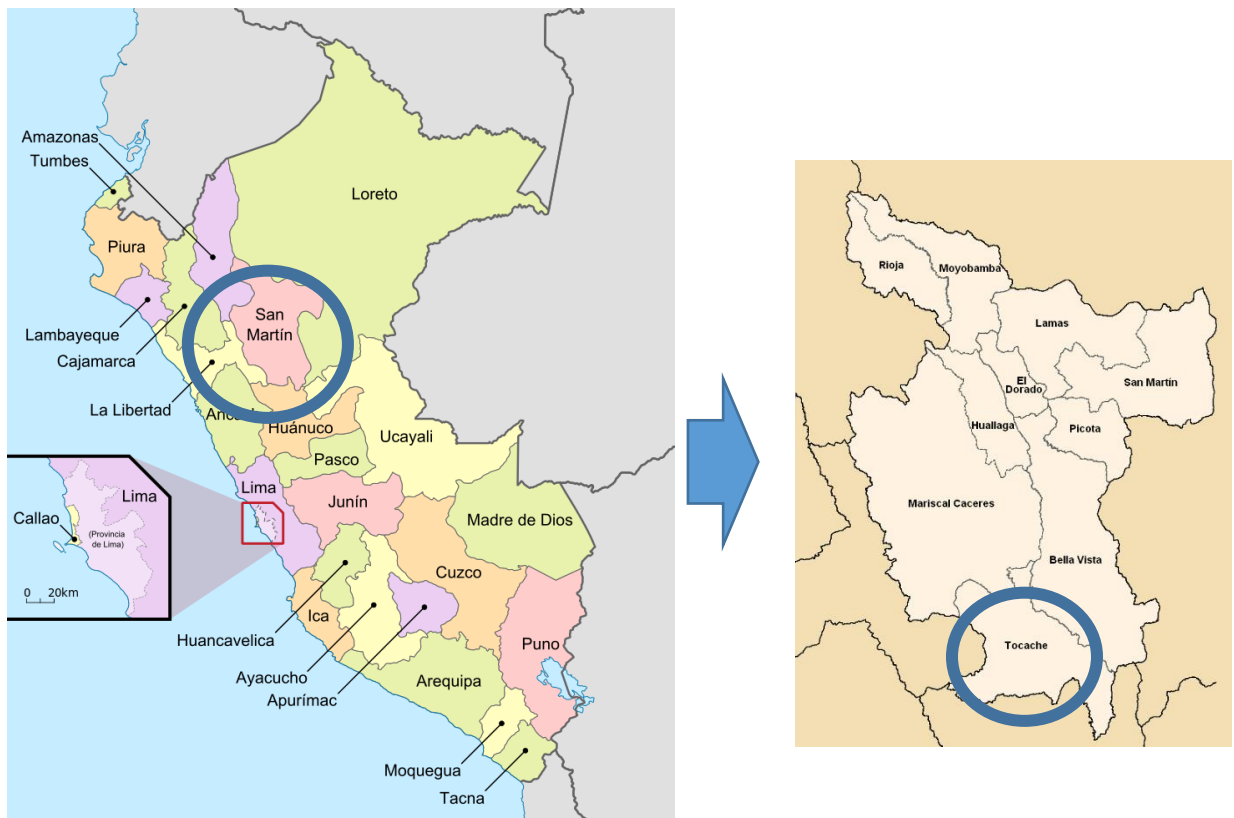


Figura 19: Mapa del Departamento de Lima y Provincias de San Martín

FUENTE: Wikipedia, la enciclopedia libre (2022)



Figura 20: Mapa de las provincias de Tocache

FUENTE: (Alto huallada radio & tv, 2021)

3.1.2. Accesos y vías de comunicación

Para llegar a la zona del proyecto desde la ciudad de Lima hasta Pucallpa, se contabilizará 1 hora de vuelo, para luego continuar por la carretera 5N y 18A hasta llegar a Tingo María recorriendo una distancia de 251 kilómetros. Posterior a ello, continuamos por la carretera 5N desde Tingo María hacia el distrito de Santa Lucía cuya distancia es 144 kilómetros. Finalmente, nos apoyamos en el usuario para el traslado desde Santa Lucía hacia las instalaciones de Palmas del Espino, recorriendo unos 11.7 kilómetros.

Tabla 5: Rutas de acceso a la obra

DESDE	HASTA	DISTANCIA km	TIEMPO Hora: min	TIPO DE VÍA	ESTADO
Lima	Pucallpa	733.00	01:00 h	Aéreo	Bueno
Pucallpa	Tingo María	250.00	05:30 h	Asfaltada	Bueno
Tingo María	Santa Lucía	144.00	03:00 h	Asfaltada / Balsa	Regular
Santa Lucía	Proyecto	11.70	00:25min	Trocha	Regular

3.1.3. Plano de ubicación

El vivero de palma aceitera ubicado en el distrito de Sant Lucía, cuenta con 5.18 hectáreas de almácigo de palma aceitera, área que está distribuida en 12 sectores menores, cada sector

cuenta con una expansión menor 1 hectárea. A su vez, cuenta con una caseta de comando, de donde se acciona a través de microtubos conectados a las válvulas hidráulicas el momento del riego. La fuente de agua principal, el reservorio, se encuentra a unos metros de la caseta de riego (ver Figura 19).

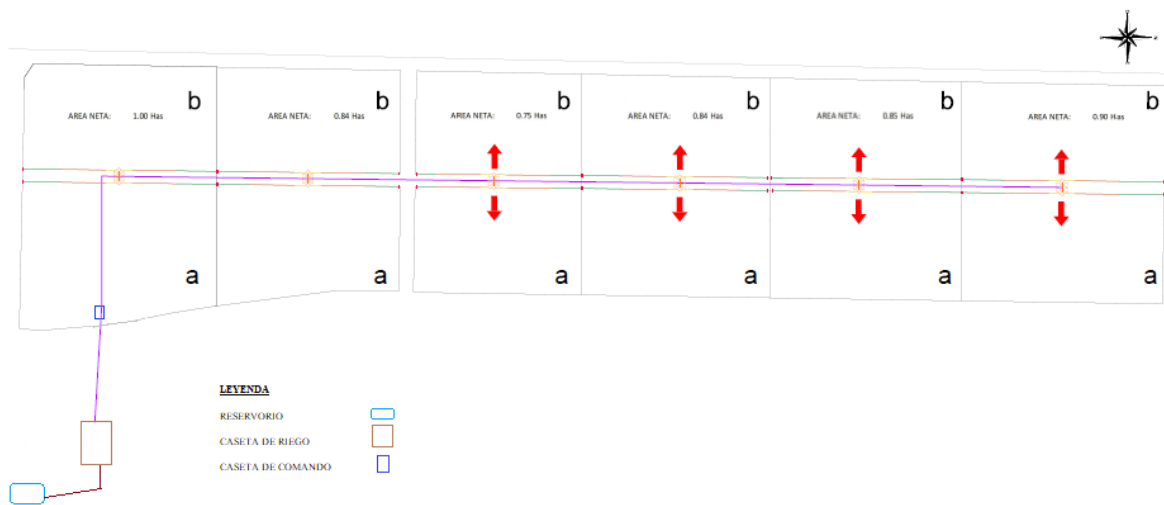


Figura 21: Mapa de ubicación de la zona de estudio

3.2. Características del cultivo de palma aceitera

La palma aceitera es una planta monocotiledónea, es decir, produce flores de ambos sexos y cuenta con la siguiente clasificación:

Orden: Palmales

Familia: Palmaceae

Género: *Elaeis*

Especie: *Elaeis guineensis* Jacq.

Existen factores agroclimáticos que influyen en el proceso de producción de la palma aceitera. Los factores que se deben tomar en cuenta para este cultivo son la precipitación, la temperatura, humedad relativa, luminosidad y radiación solar.

3.3. Clima

Según Arévalo (2010), la obtención de buenos rendimientos depende de la disponibilidad de agua en el cultivo de palma. Es indispensable disponer de agua bien distribuida durante todo el año. Al hablar de precipitación, se ha establecido un rango en base a la disponibilidad de agua, la cual debe oscilar entre 1800mm y 2200mm.

En lo que refiere a la temperatura, autores como Arévalo, indican que las producciones satisfactorias requieren de temperaturas máximas promedio entre 29°C – 33°C y media de 22°C a 27°C. Autores como Paramanathan (2023), indican que puede oscilar entre 20 y 35°C. Así como la humedad relativa se encuentra entre un 75% a 85% (Raygada, 2005).

La palma aceitera necesita de climas soleados y cálidos. Según Arévalo, se estima que la planta necesita de 1800 horas del sol al año. Mientras que Raygada indica un brillo solar aproximado de 2000 horas del sol al año.

Los datos hidrometeorológicos fueron obtenidos de la estación meteorológica Tanata, de tipo convencional ubicada en la provincia de Tocache (latitud 8°6'54.86" S longitud 76°34'49.77" W) a una altitud de 480 msnm.

a. Temperatura

Es un parámetro ligado al factor altitudinal, es un factor externo que afecta al consumo de agua de la planta; cuando hay temperaturas altas o calientes la planta absorbe más agua del suelo. Se cuenta con temperaturas máximas diarias y mínimas diarias, el rango de tiempo considerado ha sido entre 2017 – 2022 (ver Tabla 6).

b. Precipitación

Se manifiesta de manera representativa desde noviembre a marzo, en los demás meses suele haber un decrecimiento en la precipitación., según mostrado en la data de los años 2017 – 2022 (ver Tabla 6).

c. Humedad relativa

La humedad relativa es la relación porcentual entre la cantidad de vapor de agua real que contiene el aire y la que necesitaría contener para saturarse a idéntica temperatura. En base a nuestros cultivos, si esta humedad relativa es más alta, la planta pierde agua en un menor ritmo que cuando la humedad es más baja (ver Tabla 6).

Tabla 6: Datos meteorológicos promedio obtenidos de la estación Tanata

TEMPERATURA MÁXIMA (°C)												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
T °C	31,14	31,03	31,13	31,18	31,18	30,78	31,02	32,07	32,27	32,02	31,80	31,49
TEMPERATURA MÍNIMA (°C)												
T °C	21,75	21,92	21,66	21,41	21,29	20,21	19,94	19,53	20,22	21,24	21,76	21,98
TEMPERATURA MEDIA (°C)												
T °C	26,44	26,48	26,40	26,30	26,24	25,49	25,48	25,80	26,25	26,63	26,78	26,74
PRECIPITACIÓN TOTAL (mm día⁻¹)												
	10,28	12,30	9,11	4,77	3,40	3,54	3,34	3,25	4,07	7,58	10,91	10,56
HUMEDAD RELATIVA (%)												
	84,00	84,14	84,50	83,31	83,07	82,94	82,52	79,85	80,14	82,20	83,60	83,66

Nota: La tabla indica los resultados mensuales promedio de cada factor climático durante el periodo 2017-2022.

3.4. Suelo

Como parte de la evaluación textural del suelo en la zona del proyecto, se analizó los resultados de las muestras de suelo, y se certificó la textura del suelo la cual resultó ser franco arcilloso. Para la determinación textural del suelo, se ha optado por el método del triángulo textural (ver Figura 20).

El procedimiento a seguir para poder determinar la textura del suelo, fue el siguiente:

- Se halló el porcentaje de arena que figura en la base del triángulo y se sigue una línea en sentido ascendente, hacia la izquierda. Se halló el porcentaje de arcilla a lo largo del lado izquierdo del triángulo y se sigue una línea horizontal hacia la derecha hasta que encuentre la línea que representa la arena (punto “o”).
- Se comprobó si este punto corresponde al porcentaje de limo de su análisis siguiendo una línea desde el punto “o” hacia la derecha hasta alcanzar la escala de porcentaje de limo que aparece en el lado derecho del triángulo. La textura de su muestra de suelo se determinó por el área del triángulo en que cae el punto, en este caso se trata de un suelo franco arcilloso.

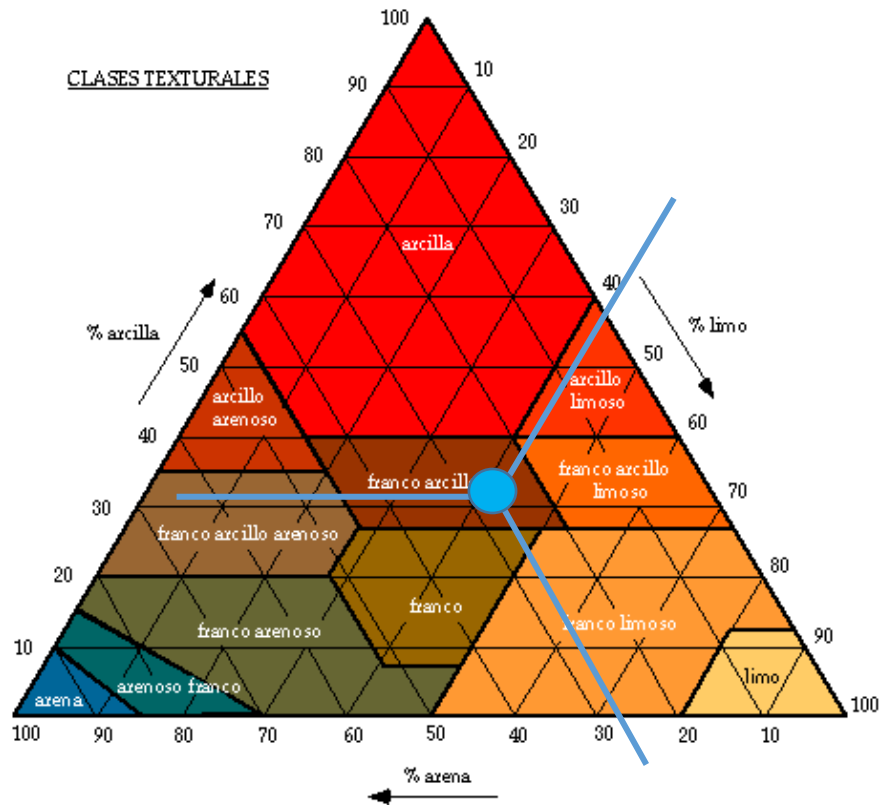


Figura 22: Diagrama triangular textural de suelo

FUENTE: (Departamento de agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica, 2017)

Parte de la evaluación respecto a la cantidad de humedad del suelo, se refleja con resultados de capacidad de campo y punto de marchitez permanente, verificándose si se hallaron dentro de los rangos permisibles (ver Tabla 8).

- Capacidad de campo (cc): Cuando el suelo se encuentra en capacidad de campo, existe un adecuado balance de aire y agua para las plantas. El suelo empieza a drenar de manera natural cuando los poros están llenos, el agua va desde la zona de raíces hasta las capas más profundas. Esta capacidad de drenaje depende de la textura del suelo, cuyo resultado corresponde al valor de 23.13% (ver Tabla 8).
- Punto de marchitez permanente (pmp): si el suelo se encuentra en capacidad de campo, y no se le aplica agua mediante riego o lluvia, esto ocasionada que los suelos se vayan secando poco a poco. Mientras el suelo se seca, es más difícil para las plantas extraer el agua, hasta llegar un momento en que las plantas ya no pueden extraer agua y pueden llegar a marchitarse. En el momento que las plantas no pueden utilizar la cantidad de agua aún existente en el suelo, significa que se encuentran en un nivel de humedad conocido como punto de marchitez permanente, cuyo valor corresponde a un 15.15%.

Tabla 7: Porcentaje según tipo de suelo

PORCENTAJE				
Calicata	Ao	Li	Ar	Total
Vivero	31,11%	33,33%	35,56%	100%

Nota: En esta tabla se indica el porcentaje perteneciente a la composición del suelo respecto a arena, limos y arcillas respectivamente.

En función de la textura y de acuerdo a la bibliografía propuesta por Israelsen & Hansen en 1981, se recomiendan valores de capacidad de campo y punto de marchitez permanente señalados correspondientes a un suelo franco arcilloso (ver Tabla 8).

Tabla 8: Propiedades físicas del suelo según texturas

Textura	Porosidad Total (%)	Densidad Aparente (gr/cm ²)	CC (%)	ppm (%)
Arenoso	38 (32 - 42)	1.65 (1.55 - 1.80)	9 (6 - 12)	4 (2 - 6)
Franco-arenoso	43 (40 - 47)	1.50 (1.40 - 1.60)	14 (10 - 18)	6 (4 - 8)
Franco	47 (43 - 49)	1.40 (1.35 - 1.50)	22 (18 - 26)	10 (6 - 12)
Franco-arcilloso	49 (47 - 51)	1.33 (1.30 - 1.40)	27 (23 - 31)	13 (12 - 15)
Arcillo-arenoso	51 (49 - 53)	1.30 (1.25 - 1.35)	31 (27 - 35)	15 (14 - 18)
Arcilloso	53 (51 - 55)	1.25 (1.20 - 1.30)	36 (31 - 39)	15 (16 - 20)

Nota: En esta tabla se indica el porcentaje perteneciente a CC y PMP, los datos del vivero se encuentran dentro de lo permitido acorde al tipo de suelo franco arcilloso (Israelsen & Hansen, 1981).

3.5. Agua de riego

La muestra de agua se obtuvo del reservorio ubicado en el vivero el cual abastece a la caseta de riego. Según el análisis de calidad de agua, aprobado y validado por SGS Perú, se determina lo siguiente:

- El agua cuenta con un pH promedio de 7.2 (determinado bajo el método SGS-MN-ME-251 / Soluciones de Fertirriego: pH en aguas). Con este resultado, se deduce que el agua es ligeramente alcalina.

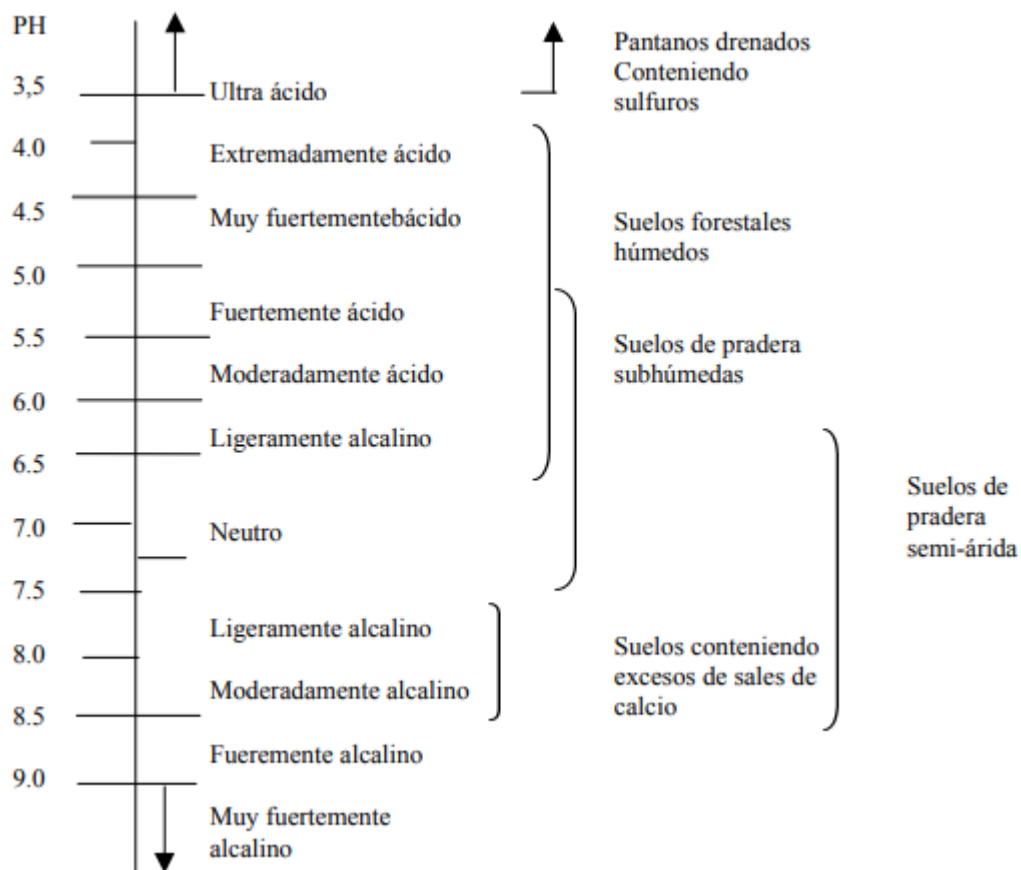


Figura 23: Interpretación de rangos de pH

FUENTE: (Thompson & Troeh, 1988)

Nota: Acorde a la interpretación de rango de pH, estaremos trabajando con una calidad de agua ligeramente alcalina.

- La conductividad eléctrica presenta un valor equivalente a $CE=40 \text{ uS/cm}$ (determinado bajo el método SGS-MN-ME-250), tenemos que en estas zonas el agua tiene una conductividad eléctrica menor a 750 uS/cm , es decir, el agua tiene un riesgo de salinidad bajo y es apta para riego (Ver Tabla 9).

Tabla 9: Clasificación del riego según la conductividad eléctrica

Riesgo de Salinidad	Conductividad eléctrica ($\mu\text{S/cm}$)
Bajo	< 750
Medio	750 – 1500
Alto	1500 – 3000
Muy Alto	< 3000

Nota: En esta tabla tenemos como resultado un agua de riego con un bajo riesgo de salinidad. (Fuente: US Salinity Laboratory, Riverside – California)

- El RAS en Palmas del Espino de 0.42 (Ver Anexo 6), lo que indica que se puede

utilizar el agua para fines de riego sin ninguna restricción según FAO (Ver Tabla 10).

Tabla 10: Clasificación de calidad del agua para riego según FAO

	GRADO DE RESTRICCIÓN DE USO		
	Ninguno	Ligero o moderado	Severo
Problema potencial: SALINIDAD			
C.E.	< 0,7	0,7 – 3,0	< 3,0
Problema potencial: INFILTRACIÓN			
RAS entre 0 y 3 y C.E. =	> 0,7	0,7 – 0,2	< 0,2
RAS entre 3 y 6 y C.E. =	> 1,2	1,2 – 0,3	< 0,3
RAS entre 6 y 12 y C.E. =	> 1,9	1,9 – 0,5	< 0,5
RAS entre 12 y 20 y C.E. =	> 2,9	2,9 – 1,3	< 1,3
RAS entre 20 y 40 y C.E. =	> 5,0	5,0 – 2,9	< 2,9

Nota: En esta tabla tenemos como resultado un agua de riego cuyos resultados nos indican que no existe ninguna restricción de uso respecto al riego. (Ayers & Westcot, 1985)

Los valores del análisis de calidad de agua de la zona de estudio, se comparó con los valores normales según USDA (1997) (ver Tabla 11).

Tabla 11: Parámetros normalmente requeridos en el análisis de la calidad de agua

Determinación	Unidad de medida	Valores normales USDA 1997	Valores de la zona de estudio
Contenido de sales			
CE	ds m ⁻¹	0-3	0.04
SD	mg l ⁻¹	0-2000	40
Sodicidad			
RAS	-	0-15	0.42
Cationes y aniones			
Ca ²⁺	mg l ⁻¹	0-400	2
Mg ²⁺	mg l ⁻¹	0-60	<1
Na ⁺	mg l ⁻¹	0-920	2.63
CO ₃ H ⁻	mg l ⁻¹	0-600	16.84
SO ₄ ²⁻	mg l ⁻¹	0-960	3.68
Cl ⁻	mg l ⁻¹	0-1100	2
Varios			
Boro	mg l ⁻¹	0-2	<0.01
pH	-	6.0-8.5	7.2

Nota: La tabla muestra el comparativo entre los valores normales según USDA y los valores obtenidos con el análisis de agua de riego (Departamento de agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica, 1997).

3.6. Variables de evaluación del diseño

Como fase inicial de evaluación, procederemos a evaluar el diseño agronómico acorde a los datos de suelo y agua, considerando que en esta primera etapa determinaremos las necesidades hídricas del cultivo.

3.6.1. Relación agua-suelo – planta-clima

La relación existente entre el agua, suelo, planta y clima, es de vital importancia para el cultivo de palma aceitera. Básicamente, sabemos que el suelo actúa como almacén de agua la cual es aprovechada por el cultivo, interrelacionadas a condiciones agroclimáticas según la zona de cultivo.

Según FAO 56, existen métodos de hallar la evapotranspiración a partir de datos meteorológicos, los cuales requieren de parámetros climatológicos y físicos. Procederemos a calcular acorde a los datos procesados de la estación meteorológica Tanata ubicada en Tocache a 75 kilómetros de distancia.

3.6.2. Factor de cultivo (Kc)

Este factor Kc se utiliza para diferenciar la evapotranspiración de un cultivo dado de la evapotranspiración del pasto de referencia. Se considera para determinar el ETc en particular, basándose en información meteorológica a nivel local.

El Kc presenta valores pequeños al inicio del desarrollo del cultivo y aumenta a medida que se incrementa la cobertura del suelo. El valor máximo se alcanza durante la floración, se mantienen durante la fase media y finalmente decrecen durante la maduración. Según FAO, para una etapa inicial del cultivo de palma, nos recomiendan un Kc de 0.95.

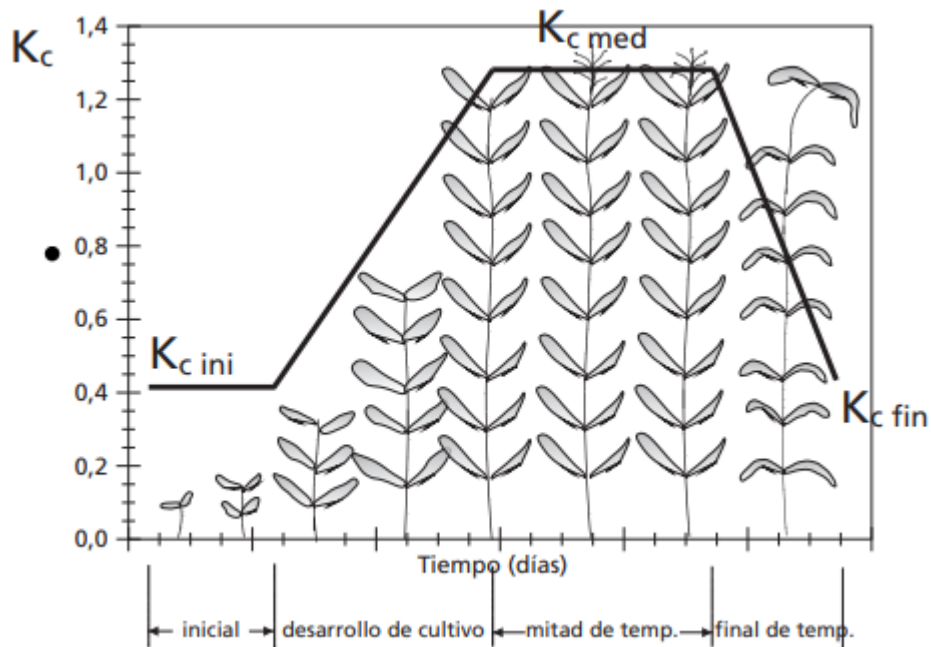


Figura 24: Curva generalizada del coeficiente del cultivo

FUENTE: Manual de riego y drenaje FAO 56

Nota: Acorde a los datos obtenidos del manual 24 de FAO, nos indica el valor del kc inicial para el cultivo de palma.

3.6.3. Evapotranspiración potencial (ETp)

Para saber qué tanta agua necesita el cultivo para su óptimo desarrollo, consideramos dos factores; evaporación y transpiración. La transpiración es el consumo de agua utilizada por las plantas, y la evaporación es el agua que se evapora del suelo. La ocurrencia de estos dos mecanismos se engloba dentro del concepto de: Evapotranspiración.

Para el cálculo de la evapotranspiración potencial, se consideraron métodos indirectos donde intervienen factores como temperaturas máximas, mínimas y media, humedad relativa y precipitación), esta evapotranspiración potencial es un factor que no considera características del cultivo ni del suelo. Los métodos a usar son los métodos de Thornthwaite y Hargreaves.

- Cálculo de la ETP diaria: Fórmula de Hargreaves

La fórmula de Hargreaves (Hargreaves y Samani, 1985) para evaluar la Evapotranspiración Potencial necesita solamente datos de temperaturas y de Radiación Solar (ver Tabla 12). La expresión general es la siguiente:

$$ET_0 = 0,0135 (t_{med} + 17,78) R_s$$

Donde:

ET_p = evapotranspiración potencial diaria, mm día⁻¹

T_{med} = temperatura media, °C

R_s = radiación solar incidente convertida, mm día⁻¹

Tabla 12: Cálculo de la evapotranspiración potencial – Método de Hargreaves

HARGREAVES												
Estación: Tananta	Latitud: 8°6'54.86" S											
Altura: 480 msnm	Longitud: 76°34'49.77" W											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Temp máxima (°C)	31,14	31,03	31,13	31,18	31,18	30,78	31,02	32,07	32,27	32,02	31,80	31,49
Temp mínima (°C)	21,75	21,92	21,66	21,41	21,29	20,21	19,94	19,53	20,22	21,24	21,76	21,98
Temp media (°C)	26,44	26,48	26,40	26,30	26,24	25,49	25,48	25,80	26,25	26,63	26,78	26,74
Ro (mm día ⁻¹)	15,9	15,9	15,5	14,3	13,00	12,20	12,50	13,60	14,90	15,70	15,80	15,80
Rs (mm día ⁻¹)	9,26	9,12	9,06	8,49	7,77	7,54	7,91	9,15	9,83	9,79	9,51	9,26
ETo (mm día ⁻¹)	5,53	5,45	5,40	5,05	4,62	4,40	4,62	5,38	5,84	5,87	5,72	5,56
ETo (mm mes ⁻¹)	171,36	152,53	167,54	151,58	143,10	132,07	143,11	166,91	175,28	182,02	171,68	172,47
ETo promedio	160,8	mm mes ⁻¹										
ETo promedio	5,29	mm día ⁻¹										

Nota: Esta tabla muestra los datos mensuales calculados de la evapotranspiración potencial, a partir de datos de temperatura media y la radiación solar, obtenidos de la estación meteorológica Tanata, durante el periodo 2017-2022.

- Cálculo de la ETP diaria: Fórmula de Thornthwaite

Los cálculos de Thornthwaite, están basados en la determinación de la evapotranspiración en función de la temperatura media, con una corrección en función de la duración astronómica del día y el número de días del mes (ver Tabla 13).

$$ETP = ETP_{sc} \left(\frac{N * d}{365} \right)$$

Donde:

ET_p = evapotranspiración potencial diaria, mm día⁻¹

ET_{sc} = evapotranspiración sin corregir, mm día⁻¹

N = número máximos de horas del sol, dependiendo del mes y de la latitud

d = número de días del mes, día

Tabla 13: Cálculo de la evapotranspiración potencial – Método de Thornthwaite

THORNTHWAITE												
Estación: Tananta	Latitud: 8°6'54.86" S											
Altura: 480 msnm	Longitud: 76°34'49.77" W											
											Índice de calor mensual	147,77
											a	3,63
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Temp media (°C)	26,44	26,48	26,40	26,30	26,24	25,49	25,48	25,80	26,25	26,63	26,78	26,74
PP (mm mes ⁻¹)	318,71	344,37	282,26	142,98	105,45	106,10	103,44	100,75	122,20	234,88	327,22	327,36
Índice calor mensual	12,45	12,47	12,41	12,35	12,30	11,78	11,77	12,00	12,31	12,58	12,69	12,66
ETp sin correg (mm mes ⁻¹)	132,67	133,29	131,79	130,04	128,98	116,14	115,88	121,37	129,09	136,03	138,89	138,11
Hora sol	12,4	12,3	12,1	11,8	11,6	11,5	11,6	11,7	12,00	12,20	12,40	12,50
Días	31	28,25	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
ETp correg (mm mes ⁻¹)	141,67	128,65	137,32	127,88	128,83	111,30	115,75	122,28	129,09	142,91	143,52	148,66
ETp (mm día ⁻¹)	4,57	4,59	4,43	4,26	4,16	3,71	3,73	3,94	4,30	4,61	4,78	4,80
ETo promedio	131,49	mm mes ⁻¹										
ETo promedio	4,32	mm día ⁻¹										

Nota: Esta tabla muestra los datos mensuales calculados de la evapotranspiración potencial, a partir de datos de temperatura media, números de días del mes y horas del sol, obtenidos de la estación meteorológica Tanata, durante el periodo 2017-2022.

3.6.4. Evapotranspiración de cultivo (ETc)

Evapotranspiración del cultivo es el requerimiento hídrico del cultivo, el cual se basa en la evapotranspiración potencial y el coeficiente de cultivo, se obtiene mediante la fórmula:

$$ETc = ETo \times Kc$$

Acorde al manual FAO 24, el Kc correspondiente al cultivo de palma en una etapa inicial es de 0.95. Luego se calculará el ETc, a partir de un ETo de máxima demanda del cultivo.

$$ETc = 5.87 \times 0.95 = 5.55 \text{ mm día}^{-1}$$

3.7. Evaluación del diseño de riego

El lugar elegido para la ejecución de la presente investigación es el Proyecto «Vivero de almácigo en la empresa Palmas del Espino», ubicado en el distrito de Santa Lucía, provincia de Tocache y región de San Martín. Este proyecto consistió en la evaluación del sistema de riego mediante el uso de cinta de goteo para palma. Dicho proyecto cuenta con un área utilizada de 5.18 ha.

En la Tabla 14, se considera datos requeridos iniciales como el espaciamiento entre plantas

y entre hileras. El sistema de riego en el vivero de almácigo se realiza por macetas, se considera una eficiencia del 90% al tratarse de goteros no auto compensados. El actual proyecto presenta ciertas irregularidades respecto al diseño de riego, paralelamente no se maneja un plan de mantenimiento de riego, por lo cual se analizará el diseño agronómico teniendo en cuenta goteros de 1.2 l h^{-1} por maceta cada 0.6 metros.

Tabla 14: Parámetros iniciales del vivero

Descripción	Unidades	Detalles
Cultivo		
Área de riego neta	ha	5.00
Distanciamiento entre hileras	m	0.70
Distanciamiento entre emisores	m	0.60
Sistema de riego		Goteo
Tipo de emisor (gotero)		Cilíndrico

Nota: Esta tabla muestra datos iniciales en base al distanciamiento entre hilera y distanciamiento entre gotero, así como el tipo de emisor de riego.

Iniciamos la evaluación considerando los parámetros indicados en la Tabla 15, donde las distancias entre lateral y la distancia de macetas de almácigo (las cuales han sido brindadas por el usuario) y el caudal por gotero, servirán para calcular la capacidad de riego del sistema.

$$CR (\text{mm h}^{-1}) = q (\text{l h}^{-1}) / (de (\text{m}) \times dh (\text{m}))$$

Donde:

CR = capacidad de riego (mm h^{-1})

Q = caudal del emisor (l h^{-1})

De = distancia entre emisores (m)

Dh = distancia entre hileras (m)

Tabla 15: Capacidad de riego (mm h^{-1})

Caudal del emisor (l h^{-1})	1.20
Distanciamiento entre laterales (m)	0.70
Distanciamiento entre emisores (m)	0.60
Capacidad de riego (mm h^{-1})	2.86

Nota: Esta tabla muestra la capacidad de riego del sistema calculada a partir del distanciamiento entre laterales y emisores.

Acorde a la Tabla 13, se calculó la evapotranspiración potencial por mes, para el análisis del diseño de riego se consideró el Eto máx. mensual que se da en octubre, el cual es de 5.87 mm día⁻¹. Asimismo, consideramos acorde a FAO 24, el Kc en 0.95. Posterior a ellos procedemos a calcular el ETc del cultivo de palma. Como resultado, el Etc en máxima demanda es de 5.58 mm día⁻¹.

Uno de los factores considerados es la precipitación que existe en la zona del proyecto, todo cultivo tiene necesidades de agua a lo largo del ciclo del cultivo que ciertos meses serán cubiertos con la precipitación. Por tal motivo, analizaremos la precipitación mensual vs Eto mensual.

El analizar un clima de variabilidad en una zona donde la precipitación anual es abundante, es indispensable considerar la precipitación efectiva usando el índice de precipitación para diferentes probabilidades. Según los datos de precipitación durante los años anteriores, el índice de precipitación considerará un factor de 0.93, ya que la precipitación anual excede los 2500mm.

Una vez obtenido el Índice de precipitación, procedemos a calcular la precipitación confiable con la siguiente fórmula:

$$Pp \text{ confiable} = \text{Factor} \times Ppt \text{ promedio mensual}$$

$$Pp \text{ confiable} = 0.93 * 209.64 \text{ mm mes}^{-1}$$

$$Pp \text{ confiable} = 194.9652 \text{ mm mes}^{-1}$$

Finalmente, se debe calcular la precipitación efectiva partiendo de los datos hallados. Esta precipitación efectiva, ayudó a entender que no toda la precipitación que cae al suelo penetra de manera efectiva y no toda es aprovechable por los cultivos. Para el cálculo de la precipitación efectiva se propuso las ecuaciones utilizadas por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (USSCS). Estas ecuaciones son las siguientes:

- Para una precipitación mensual (Pm) menor de 250 mm:

$$Pe = (125 - 0.2 \times Pp \text{ confiable}) \times Pp \text{ confiable} / 125$$

- Para una precipitación mensual mayor o igual a 250 mm: $Pe = 0.1 \times P + 125$

El cálculo de la precipitación efectiva se realiza mensualmente, y es la variable que se tomó en cuenta para determinar la lámina requerida diaria (mm día^{-1}) (Ver Tabla 16).

Tabla 16: Tabla de precipitación efectiva mensual (mm mes^{-1})

FECHA	(mm mes^{-1})	(mm mes^{-1})	(mm día^{-1})
	PP	PP efectiva	PP efectiva
Enero	318.71	144.50	4.66
Febrero	344.37	144.50	5.16
Marzo	282.26	144.50	4.66
Abril	142.98	134.15	4.47
Mayo	105.45	134.15	4.33
Junio	106.10	134.15	4.47
Julio	103.44	134.15	4.33
Agosto	100.75	134.15	4.33
Setiembre	122.20	134.15	4.47
Octubre	234.88	134.15	4.33
Noviembre	327.22	144.50	4.82
Diciembre	327.36	144.50	4.66

Nota: Esta tabla muestra el cálculo de la precipitación efectiva según las ecuaciones utilizadas por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (USSCS)

Finalmente, se calcula la lámina requerida diaria (mm d^{-1}), cuyo valor máximo se empleará para el diseño del sistema. Este corresponde al mes de octubre con un valor de 1.25 mm d^{-1} (ver Tabla 17).

Tabla 17: Tabla de lámina neta (mm mes^{-1})

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Eto (mm día^{-1})	5.53	5.45	5.40	5.05	4.62	4.40	4.62	5.38	5.84	5.87	5.72	5.56
ETo (mm mes^{-1})	171.36	152.53	167.54	151.58	143.10	132.07	143.11	166.91	175.28	182.02	171.68	172.47
Etp (mm d^{-1})	5.25	5.18	5.13	4.80	4.39	4.18	4.39	5.11	5.55	5.58	5.44	5.29
Pe (mm d^{-1})	4.66	5.16	4.66	4.47	4.33	4.47	4.33	4.33	4.47	4.33	4.82	4.66
Ln (mm d^{-1})	0.59	0.01	0.47	0.33	0.06	-0.29	0.06	0.79	1.08	1.25	0.62	0.62

Nota: Esta tabla muestra el cálculo de la lámina neta (mm / mes^{-1}), cuyo resultado se obtiene de la diferencia entre la evapotranspiración potencial y la precipitación efectiva.

Es de mencionar que la eficiencia de riego considerada es del 90%, con lo cual se obtiene una lámina bruta que permite ajustar la lámina de riego neta, cuyo valor resultó ser 1.25 mm d⁻¹ (ver Tabla 18).

- *Lámina requerida bruta diaria (mm día⁻¹):*

$$\text{Lámina requerida efectiva diaria (mm día}^{-1}\text{) / Eficiencia del sistema}$$

A partir de la capacidad de riego (mm h⁻¹) y la lámina requerida bruta (mm d⁻¹), se procede a determinar el tiempo de riego por turno, que es el tiempo necesario para reponer una lámina de riego (ver Tabla 18).

- *Tiempo por operación (hr):*

$$\text{Lámina requerida bruta diaria (mm día}^{-1}\text{) / Precipitación horaria (mm h}^{-1}\text{)}$$

Tabla 18: Cálculo del tiempo por operación (hr)

Lámina requerida efectiva diaria (mm día ⁻¹)	1.25
Eficiencia del sistema	90%
Lámina requerida bruta diaria (mm día ⁻¹)	1.39
Tiempo por operación (hr)	0.49
Tiempo por operación (min)	29.17

Nota: Esta tabla muestra el cálculo del tiempo de riego por turno (hr).

El tiempo total requerido (horas), tiene un ajuste fue de 2 horas por manejo y optimización del sistema, considerando también la disposición de horas hombre que es de 4 horas al día. A partir del tiempo de riego requerido y el tiempo de riego por turno, se obtuvo el número de turnos de riego, que viene a ser la subdivisión del área del proyecto en sectores más pequeños de similar tamaño, cuya ventaja será la disminución del caudal del sistema (ver Tabla 19).

- *Número de operaciones:*

$$\text{Tiempo de riego total requerido (hr) / Tiempo por operación (hr)}$$

- *Tiempo de riego total ajustado (hr):*

$$\text{Tiempo por operación (hr)} * \text{Número de operaciones}$$

Tabla 19: Cálculo del tiempo de riego ajustado (hr)

Tiempo de riego total requerido (hr)	1,5
Nro. Operaciones	3,09
Nro. Operaciones ajustado	3
Tiempo de riego total ajustado (hr)	1,46

Nota: Esta tabla muestra el tiempo de riego ajustado, a partir de los turnos de riego y el tiempo de riego total que el usuario tiene a su disposición.

El caudal total del sistema que se debe calcular, es proporcional al área de turno y la capacidad de riego del sistema, con este dato se define el tamaño del sistema de riego en caseta, equipos de bombeo, cabezal de filtrado, etc. Se debe corroborar que el caudal por turno debe ser menor que el caudal máximo permitido del sistema que es de $50 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (ver Tabla 20).

- *Área por módulo (ha):*

$$\text{Área neta a regar (ha)} / \text{Número de operaciones}$$

- *Caudal por módulo ($\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$):*

$$10 * \text{área por módulo (ha)} * \text{capacidad de riego (mm h}^{-1}\text{)}$$

Tabla 20: Cálculo del caudal por módulo ($\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$)

Área neta a regar (ha)	5,18
Área por módulo (ha)	1,73
Caudal por módulo ($\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$)	49,33
Caudal por módulo (l s^{-1})	13,70

Nota: Esta tabla muestra el caudal por módulo, cuyo resultado es menor al caudal permitido.

Finalmente, se procede a determinar el total de válvulas hidráulicas por turno de riego, así como el área promedio por válvula (ver Tabla 21).

- *Caudal promedio por válvula ($\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$):*

Caudal por módulo (m³ h⁻¹) / número de válvulas por turno

– *Número total de válvulas por turno:*

*Área neta a regar (ha) / (área por módulo (ha) * número de válvulas por turno)*

– *Área promedio por válvula (ha):*

Área por módulo (ha) / número de válvulas por turno

Tabla 21: Cálculo del área promedio por válvula (m³ h⁻¹)

Número de válvulas por turno	4
Caudal promedio por válvula (m ³ h ⁻¹)	12,33
Número total de válvulas por turno	12
Área promedio por válvula (ha)	0,43

Nota: Esta tabla muestra el caudal por válvula, cuyo caudal es el permitido para una válvula hidráulica de 2" cuyo máximo caudal permisible es de 30 m³/h⁻¹.

3.8. Metodología para calcular el coeficiente de uniformidad

Para calcular el Coeficiente de Uniformidad de Caudales (CUC), se debe proceder de la siguiente forma: (Merriam y Keller 1978).

Seleccionar una subunidad o subsector representativo de todo el sistema de riego, según topografía, tipo de suelos, condición de las plantas, etc. Un subsector corresponde a aquella unidad cuyas líneas laterales o emisores son abastecidas por la misma tubería terciaria o múltiple, con regulación de válvula hidráulica.

En este subsector se elegirá un número determinado de emisores distribuidos uniformemente dentro de la subunidad o subsector de riego, según se indica en la Figura. Se recomienda seleccionar 16 emisores para calcular el coeficiente de uniformidad. Para ello, se elige el lateral más cercano y el más lejano del inicio de la subunidad. Entre ambas laterales se eligen otras 2 laterales intermedias, ubicadas a 1/3 y a 2/3 de la longitud de la terciaria. En cada lateral se seleccionan 4 emisores siguiendo el mismo criterio, es decir, el más cercano y el más lejano del inicio de cada lateral y dos emisores intermedios.

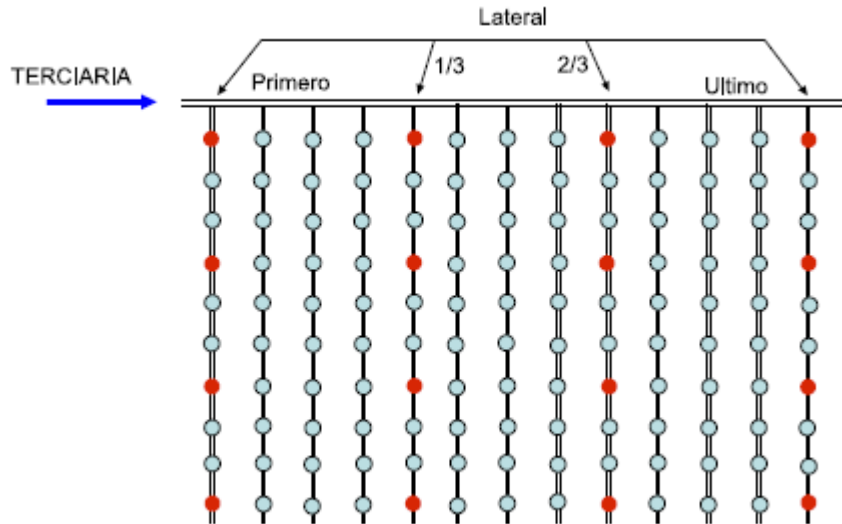


Figura 25: Esquema de la distribución de las unidades a muestrear

FUENTE: Merrian y Keller (1978)

Para realizar la evaluación del coeficiente de uniformidad en un sistema de riego por goteo, se necesita una probeta (para medir volumen) y un cronómetro (para medir tiempo). Los datos de descarga de cada emisor, se traspasan a una tabla (ver Tabla 22).

Tabla 22 Plantilla de recolección de caudal por emisor ($m^3 h^{-1}$)

Posición del lateral	Primer emisor $Q (l h^{-1})$	Emisor 1/3 $Q (l h^{-1})$	Emisor 2/3 $Q (l h^{-1})$	Último emisor $Q (l h^{-1})$
Lateral inicial				
1/3 lateral				
2/3 lateral				
Último lateral				

El caudal (q) es el volumen de agua que entra en la probeta ubicada bajo un emisor por un tiempo determinado (60 segundos, por ejemplo). Para expresar el caudal en $l h^{-1}$ se utiliza la siguiente expresión:

$$Q (l h^{-1}) = \text{volumen (ml)} / \text{tiempo (seg)} \times 3.6$$

Con los datos expresados en $l h^{-1}$ se calcula el coeficiente de uniformidad de caudales de la siguiente manera:

- Ordenar datos de menor a mayor. Los 16 números obtenidos se ordenan de menor a

mayor.

- Calcular promedio de 4 emisores de menor caudal

$$Q_{25\%} = (q_1 + q_2 + q_3 + q_4) / 4$$

- Calcular promedio del caudal de todos los emisores

$$Q_{\text{prom}} = (q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_{15} + q_{16}) / 16$$

- Determinación del Coeficiente de uniformidad de caudal, que se expresa en porcentaje:

$$CU = Q_{25\%} * 100 / Q_{\text{prom}}$$

3.9. Mantenimiento integral del sistema de riego

3.9.1. Fuente de agua

La evaluación integral del sistema de riego actual, es un sistema de riego presurizado, cuya fuente de agua principal es un reservorio la cual abastece al vivero 2 de almácigo de palma aceitera, donde el principal problema es la acumulación de sólidos disueltos y presencia de hierro en el agua. Parte del control del reservorio actual es contar con un tiempo prudente de sedimentación para poder proceder con el riego y analizar parámetros de contenido de hierro presentes en el agua de riego (ver Figura 24).



Figura 26: Fuente de agua del vivero de almácigo de palma aceitera

Nota: Una de las principales observaciones se basa en la acumulación de sedimentos en el reservorio.

Cabe indicar que la fuente inicial de agua procede del pozo ubicado en la caseta de riego el vivero 1, abastece de agua al reservorio mencionado anteriormente (ver Figura 25).



Figura 27: Caseta de riego donde se ubica el pozo

Nota: Caseta de riego donde se ubica el pozo considerado fuente inicial de agua

En la Figura 26 podemos observar el pozo donde se succiona el agua de riego, la succión no cuenta con un pre filtrado para poder reducir la cantidad de sólidos disueltos y evitar que estos lleguen de manera abundante al reservorio.



Figura 28: Fuente de agua inicial de almácigo de palma aceitera

Nota: Pozo ubicado en la caseta de riego, cuya succión directa no cuenta con un pre filtro.

3.9.2. Filtrado

Si el análisis de calidad de agua indica presencia de sólidos disueltos, se recomienda realizar análisis de agua mensuales o trimestrales. Actualmente la caseta de riego cuenta con filtros de anillos 120 mesh marca Lama (ver Figura 27).

El lavado del filtro se recomienda ejecutarlo cuando la presión entre los dos manómetros (ubicados antes y después del filtro) tenga una diferencia de presión de 5 psi. Al contar con un retrolavado automático, este cuenta con un aparato llamado “interruptor de diferencial de presión” para detectar una reducción de presión entre los filtros.

El tiempo entre lavados se ajusta en función a la diferencia de presión entre los filtros. Mendoza 2013, recomienda inspeccionar los filtros automáticos de lavado por lo menos cada dos días.



Figura 29: Fuente de agua inicial de almácigo de palma aceitera

Nota: La batería de filtrado cuenta con retrolavado automático.

3.9.3. Arcos de riego

Los arcos de riego forman parte de los turnos de riego, compuestos por una válvula reductora de presión. Contarán con 12 arcos de riego, cada uno armado con un piloto regulador de presión, un mando manual 3 vías y un relé hidráulico el cual irá conectado a los microtubos (ver Figura 28).



Figura 30: Arco de riego de vivero de almácigo por cambiar

Inicialmente, se realizará la inspección actual de las válvulas hidráulicas de riego, estas no cuentan con un plan de mantenimiento mensual y no cuenta con evaluación por más de 5 años.

La primera acción correctiva a reparar, será el reemplazo de los arcos de riego por válvulas hidráulicas compuestas por pilotos reguladores cuyo rango de presión irá de 0.6 a 3 bar. Así como la instalación de válvulas de aire en los arcos para poder prevenir caídas de presión (ver Figura 29).



Figura 31: Instalación de arcos de riego en vivero

Nota: Los arcos de riego están compuestos por válvulas reductoras de presión, y válvulas de aire instaladas aguas abajo.

3.9.4. Componentes de válvulas hidráulicas

Las válvulas hidráulicas de riego cuya denominación técnica será una válvula hidráulica automática de diafragma se encargarán de operar la apertura, el cierre y la regulación del flujo principal. La presión máxima de servicio será de 10bares, y los componentes a revisar serán los resortes y diafragma del piloto reductor de presión, el diafragma de la válvula hidráulica y los conductos del relé hidráulico.

Parte de la evaluación será el desarmado de los componentes indicados anteriormente, como podemos ver en la Figura 30, los sellos del piloto reductor se encuentran deshechos, ya que no han contado con un mantenimiento preventivo.

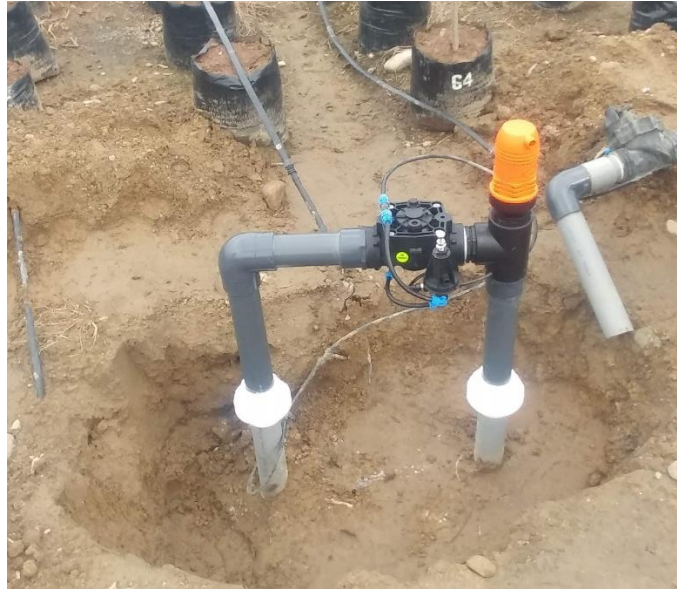


Figura 32: Arco de riego instalado con nuevos componentes hidráulicos

Nota: El arco de riego en mención cuenta con una válvula de aire aguas abajo del ingreso del caudal.

En las figuras 31 y 32 respectivamente, podemos observar dos piezas importantes que son consideradas como parte importante de un mantenimiento preventivo de los pilotos reductores de presión, estos son: el diafragma de piloto y el resorte del piloto.



Figura 33: Diafragma del piloto regulador de presión

Nota: Los anillos del piloto se encuentran desgastados.



Figura 34: Resorte del piloto regulador de presión

Nota: El resorte debe ser limpiado mensualmente y colocado correctamente dentro del piloto.

3.9.5. Elementos de medición

El mantenimiento preventivo depende también de ciertos elementos de medición ubicados a lo largo del sistema de riego, se inicia la evaluación considerando a los medidores de caudal, elemento de medición necesario en la caseta de riego. En la Figura 33 observamos la existencia del medidor de caudal tipo woltman a la salida de la caseta de riego, este medidor nos indicará el volumen de agua al momento del riego.



Figura 35: Medidor de caudal tipo woltman ubicado en la caseta de riego

Nota: El medidor de caudal nos otorgará el volumen de agua al momento de riego

3.9.6. Válvulas de aire

El sistema de riego inicial no cuenta con válvulas de aire situados en el sistema, estas válvulas se usan para evitar sobrepresiones. Por criterios de diseño, es recomendable colocarle cada 200 metros; por otro lado, se instalaron válvulas de aire en la entrada de los arcos de riego para expulsar el aire que queda atrapado dentro del sistema (ver Figura 34).



Figura 36: Válvula de aire instaladas en arcos de riego

Nota: La válvula de aire se instalará aguas abajo del arco de riego

3.9.7. Emisor y lateral de riego

Los goteros empleados en el proyecto de riego mediante el uso de lateral de riego para el almácigo de palma aceitera, tiene un emisor de riego cuyo caudal es de 1.2 litros por hora, y cuentan con un distanciamiento de 60 centímetros entre goteros a lo largo del lateral de riego (ver Figura 35).



Figura 37: Laterales de riego instalados en el vivero de Palmas del espino

Los laterales de riego con gotero corto turbulento integrado con máxima resistencia a la obstrucción, proporciona un caudal variable acorde a la presión; cuentan con una ecuación la cual se obtiene de un banco de prueba y es imprescindible para el diseño de la instalación. Una de las evaluaciones a realizarse para los emisores integrados se basa en verificar la obstrucción de goteros en el sistema de riego.

$$Q (l h^{-1}) = 0.376 \times P^{0.5} (mca)$$

Como uno de los principales problemas es la presencia de sólidos en suspensión y la presencia de hierro en el agua de riego, esto tiene como consecuencia que los emisores de riego integrados en los laterales de riego sufran de obstrucciones.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Evaluación del sistema de riego

Parte de los resultados en base a la evaluación del diseño de riego, lo podemos observar en la Tabla 18. Se detallan los tiempos de riego, junto al número de turnos de riego acorde a los datos brindados por el usuario.

Tabla 23: Comparación de los parámetros de diseño

Parámetros de diseño	Diseño actual
Caudal del emisor ($l\ h^{-1}$)	1,20
Nro. Mangueras por hilera	1,0
Distanciamiento entre laterales (m)	0,70
Distanciamiento entre emisores (m)	0,60
Capacidad de riego ($mm\ h^{-1}$)	2,86
Lámina requerida efectiva diario ($mm\ día^{-1}$)	1,25
Eficiencia del sistema	90%
Lámina requerida bruta diaria ($mm\ día^{-1}$)	1,39
Tiempo por operación (hr)	0,49
Tiempo por operación (min)	29,17
Tiempo de riego total (hr)	6
Nro. Operaciones	12,34
Nro. Operaciones ajustado	3
Tiempo de riego total ajustado (hr)	1,46
Área neta a regar (ha)	5,18
Área por módulo (ha)	1,73
Caudal por módulo ($m^3\ h^{-1}$)	49,33
Caudal por módulo ($l\ s^{-1}$)	13,70
Número de válvulas por turno	4
Caudal promedio por válvula (m^3 / h^{-1})	12,33
Número total de válvulas por turno	12
Área promedio por válvula (ha)	0,43
Metros por lateral (m)	74,000.00
Volumen de agua requerida (m^3)	71,94
Diámetro requerido succión (mm)	108
Diámetro requerido descarga (mm)	108
Diámetro requerido principal (mm)	108
Diámetro requerido secundaria (mm)	54
Diámetro requerido arco de riego (mm)	54

La precipitación efectiva tiene una incidencia en los resultados en base al turno de riego y tiempo de riego, debido a la variabilidad importante de precipitación durante el año. De igual manera el tiempo máximo de operación depende mucho de la disponibilidad de agua diaria de la zona de estudio.

4.2. Determinación del coeficiente de uniformidad de riego

Se realiza las mediciones según el procedimiento indicado anteriormente, y se evalúa el turno más crítico (ver Tabla 24).

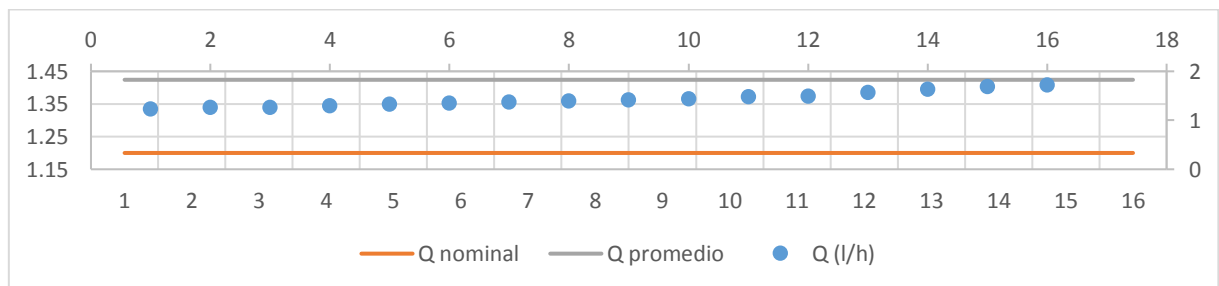
Son 16 mediciones en el turno más crítico, posterior a ellos, proceder a calcular el caudal promedio y el caudal promedio 25%.

Tabla 24: Datos de caudal por emisor del turno de riego critico

Mediciones	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Q (l h ⁻¹)	1.22	1.25	1.26	1.29	1.32	1.34	1.36	1.39	1.41	1.425	1.47	1.48	1.56	1.62	1.68	1.71

Q nominal (l h⁻¹)	1.200
Q promedio (l h⁻¹)	1.424
Q promedio 25% (l h⁻¹)	1.255

Coefficiente de uniformidad	88%
Desv. Estándar	0.1527
Coefficiente de variabilidad	10.72%



Según Merriam y Keller (1978), la clasificación según el coeficiente de uniformidad de riego equivale a una uniformidad “buena”. Sin embargo, el coeficiente de variabilidad pertenece a una dispersión moderada que indica que los datos cuentan con una homogeneidad

aceptable. No obstante, como observamos en la figura, los datos están más cercanos al caudal promedio, mas no al caudal nominal, que es el caudal de operación según diseño.

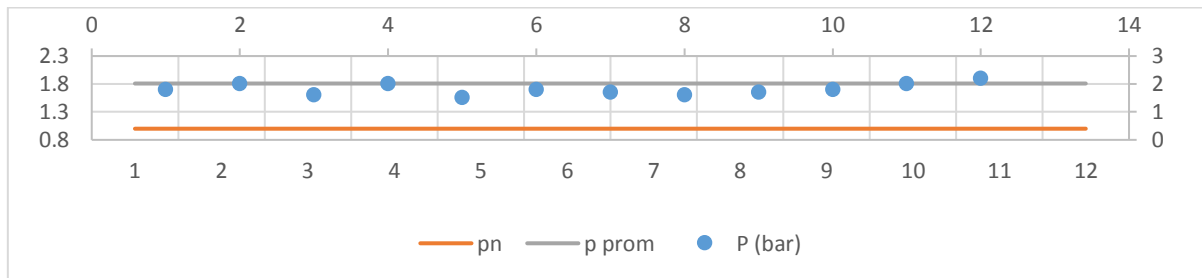
En base al análisis de presiones, la toma de datos se realizará en la entrada de turnos de riego (ver Tabla 25).

Tabla 25: Datos de presión por válvula

Mediciones	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
P (mca)	1.8	2	1.6	2	1.5	1.8	1.7	1.6	1.7	1.8	2	2.2

P promedio 25% (bar)	1.60
P promedio (bar)	1.81
x	0.5
Coefficiente de uniformidad de presiones	94.06%

Acorde a la tabla de clasificación de uniformidad, la uniformidad en presiones está dentro de una clasificación “excelente”.



4.3. Mantenimiento del sistema de riego

Por otro lado, en base a los resultados de la evaluación del mantenimiento del sistema de riego, el principal problema de obturación de goteros cuenta con 4 problemas principales.

- Fuente de Agua: Agua de pozo con altas concentraciones de arena y presencia de hierro, mezclada con agua de quebrada que en épocas de avenida tiene una alta concentración de contaminantes físicos.

A la fecha no se tiene ningún tratamiento efectivo, solo se almacena el agua en un reservorio, pero no se tiene un protocolo para aplicación de productos químicos para decantar los sedimentos.

- Sistema de Filtración: filtración manual de discos, donde no se tiene un adecuado protocolo de operación ni mantenimiento. Equipos antiguos donde no se tiene claridad del real estado. En caseta casi no se observan pérdidas de carga, lo que puede significar que ya no están trabajando de manera eficiente estos equipos. Tampoco se cuenta con algún tipo de pre-filtración del agua succionada por el pozo.
- Emisores: Actualmente cuentan con un lateral de riego de bajo caudal, 1.20 l h^{-1} . Si bien es cierto cuentan con presión en campo, cuentan con un alto arrastre de partículas con potencial de obturación directa.
- Prácticas de Riego: Cliente no maneja apropiadamente el protocolo para realizar labores de inspección e intervención. Los laterales de riego adicionalmente están expuestos bajo condiciones no óptimas de calidad de agua y filtración, y no cuenta con labores periódicas que mitiguen las complejas condiciones de operación y mantenimiento.
- Análisis de calidad de agua de riego: si bien el análisis de calidad de agua cuenta con una buena clasificación de riego, el análisis de sólidos en suspensión no cuenta con información a detalle sobre la composición de estos sólidos, y la presencia de hierro en el agua de riego es perjudicial (ver Tabla 26).

Tabla 26: Análisis químico del agua de riego

Elemento	Dureza	DUREZA	Cu	Fe	H2PO4	K	K	Mg
Esquema	SA_IMS80T	SA_IMS80T	SA_IMS80T	SA_IMS80T	SA_IMS80T	SA_IMS80T	SA_IMS80T	SA_IMS80T
Unidad	°fH	ppm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	meq/L	mg/L
Límite de Detección	0.5	5	0.001	0.01	0.01	1.00	0.02	1.00
AGUA DE RIEGO/PDE22-01	0.8	8	<0.001	0.90	<0.01	1.37	0.04	<1.00
AGUA DE RIEGO/PDE22-02	0.7	7	<0.001	0.87	<0.01	1.37	0.04	<1.00
AGUA DE RIEGO/PDE22-03	91.7	917	0.006	2.30	0.49	518.92	13.27	220.47
DUP AGUA DE RIEGO/PDE22-02	--	--	--	--	--	--	--	--

Elemento	Mg	Mn	Mo	Na	Na	Na_porcentaje	P	RAS
Esquema	SA_IMS80T	SA_IMS80T	SA_IMS80T	SA_IMS80T	SA_IMS80T	SA_IMS80T	SA_IMS80T	SA_IMS80T
Unidad	meq/L	mg/L	mg/L	mg/L	meq/L	%	mg/L	
Límite de Detección	0.08	0.01	0.01	1.00	0.04	0.01	0.01	0.01
AGUA DE RIEGO/PDE22-01	<0.08	<0.01	<0.01	3.16	0.14	42.16	<0.01	0.50
AGUA DE RIEGO/PDE22-02	<0.08	<0.01	<0.01	2.63	0.11	38.42	<0.01	0.42

Este documento es emitido bajo las Condiciones Generales de Servicio de SGS del Perú S.A.C, las cuales se encuentran descritas en la página <http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definidas en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia; queda prohibida la reproducción total o parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayadas; no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas y de la información proporcionada por el cliente.

FUENTE: SGS Perú

Los resultados indicados por SGS Perú en base al análisis químico del agua (ver Tabla 26), indican presencia de Fe en 0.9 mg l^{-1} , cuyo resultado indica un riesgo de obturación medio acorde a la Tabla 27.

Tabla 27: Calidad del agua de riego en relación al riesgo de obturación

Tipo de obstrucción	Factores de obturación	Riesgo de obturación:		
		Bajo	Medio	Alto
Física	Sólidos en Suspensión. TSS (mg/l)	<50	50 - 100	>100
	pH	<7.0	7.0 - 8.0	>8.0
Química	Sólidos Disueltos. TDS (mg/l)	<500	500 - 2000	>2000
	Calcio. Ca (mg/l)	<10	10-50	>50
	Carbonatos. CO ₃ (mg/l)	<100	100-200	>200
	Índice de Langelier (IL)	<0	0-0,5	>0,5
	Hierro. Fe (mg/l)	<0,2	0,2 – 1,5	>1,5
	Manganeso. Mn (mg/l)	<0,1	0,1 – 1,5	>1,5
	Sulfuro de Hidrogeno. SH ₂ (mg/l)	<0,2	0,2 – 2,0	>2,0
Biológica	Población de Bacterias (ud/ml)	<10.000	10.000-50.000	>50.000

FUENTE: Nakayama y Bucks (1991)

A modo de conclusión, el principal causante de la obturación de emisores de sebo a la presencia de Hierro, causante de proliferación biológica y de masas mucilaginosas de color parduzco presentes en el interior de redes de distribución y en las tuberías emisoras.

Para ir concluyendo, existen tipos de tratamiento con el objetivo de prevenir y eliminar precipitados de hierro (ver Tabla 28).

Tabla 28: Tratamientos: prevención y eliminación de precipitados de hierro y manganeso

Tipo de Tratamiento	Agente	Acción	Aplicación
Oxidación	Aire: contacto directo / inyección	Externa-Interna	Continua
	↑ pH Hidróxido de Calcio	Externa	Continua: 10-20 g/m ³
	Hipoclorito sódico	Interna	Continua: Ppm Fe x0,65= ppm Cl
Estabilización	Quelatos, polifosfatos	Interna	Según producto
Complementario a NaClO	Ácido	Interna	Continua: pH≤7
Disolución de precipitados	Ácido	Interna	Continua: pH≤6

FUENTE: AZUD S.A.

En resumen, existen 2 formas de evitar la presencia de hierro en las líneas de distribución:

- Limpieza mecánica: lavado de finales de línea, uso de pigs en las tuberías para limpieza de las tuberías.
- Tratamiento químico: lograr reducir el pH, con el fin de aumentar solubilidad.

De igual manera, se recomienda dejar que el agua se mueva a través de una caída tipo “cascada” (mínimo 2 metros de alto) con el objetivo de que se encuentre en contacto con O₂ y así evitar el crecimiento de precipitados de hierro.

V. CONCLUSIONES

1. Se cumplió con la evaluación del diseño, a partir del coeficiente de uniformidad y la uniformidad de presiones, así como la verificación del mantenimiento del sistema de riego por goteo.
2. El coeficiente uniformidad del sistema de riego resultó en valores de 88% y 94,06% para caudales y presiones, respectivamente; lo que equivale a una uniformidad “buena” y “excelente” según distribución de caudales y presiones.
3. Se cuenta con un protocolo de mantenimiento; sin embargo, se debe incluir una verificación antes, durante y al término de riego, de los componentes del sistema de riego.
4. Si bien el coeficiente de uniformidad y la uniformidad de presiones, tuvieron resultados positivos, se presencia la existencia de precipitados de Hierro, lo cual trae como consecuencia el taponamiento en mangueras.

VI. RECOMENDACIONES

1. Para un incremento del coeficiente de uniformidad de presiones y caudales, se debe considerar la instalación de filtros de anilla 120 mesh, en la red de distribución antes del arco de riego, así como el reemplazo del emisor cilíndrico por un emisor plano.
2. Debido a la alta concentración de hierro, considerar en un inicio una limpieza mecánica a través de la limpieza de los laterales mediante pigs, y un tratamiento químico, con el objetivo de disminuir el pH y aumentar la solubilidad.
3. Mejorar el protocolo donde se determinen tiempos de revisión antes, durante y al término del riego, en cada uno de los componentes del sistema de riego.
4. Considerar limpiezas mecánicas de mangueras, mensualmente usando pigs de poliuretano con el fin de evitar taponamientos en las salidas de los goteros.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

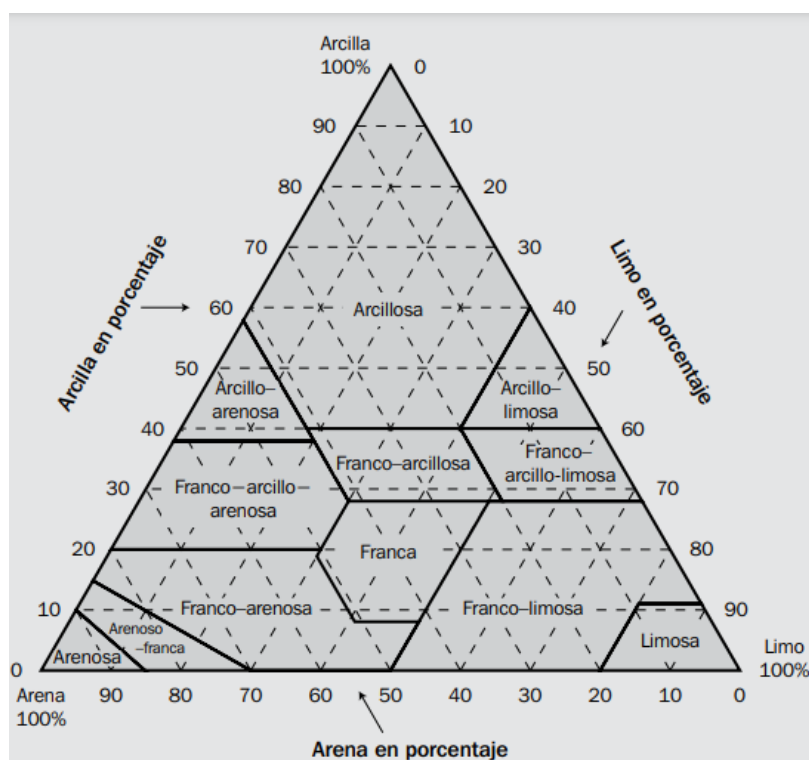
- Allen, R.; Pereira, L.; Raes, D.; Smith, M. (1996). *Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requisitos de agua de los cultivos*. Estudio FAO Riego y Drenaje 56.
- Arce, J. (2012). *Proyecto Microzonificación Ecológica y Económica del Área de Influencia de la Carretera Iquitos-Nauta, convenio entre el IIAP y DEVIDA*. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana.
- Alto Huallaga Radio & TV. (20 de marzo 2021). Tocache ya tiene nuevo mapa político. Santa Lucía es el nuevo distrito. Recuperado de <https://radioaltohullaga.com.pe/news/tocache-ya-tiene-nuevo-mapa-politico->.
- Ayers, R.S. y Westcot, D.W. (1985). *Calidad del agua para la agricultura. Riego y Drenaje de la FAO, Documento 29*. Organización para la Agricultura y la Alimentación, Roma.
- Carrazán, J. (2007). Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego. Recuperado de <https://www.fao.org/3/at787s/at787s.pdf>
- CENIPALMA. (2003). *Manejo de viveros de palma de aceite*. Manual técnico de Primera edición. Bogotá 74 p.
- Charry, A.; Vélez, A.F.; Romero, M.; Ivanova, Y.; Tristán, M.C.; Lema, S.; Sánchez Choy, J.; Orjuela, F.; Jäger, M. (2020). *Estrategia integral para el fortalecimiento del plan de competitividad de la cadena de palma aceitera en Ucayali 2020-2030*. Publicación CIAT No. 497. Cali (Colombia): Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 124 p. Recuperado de <https://hdl.handle.net/10568/108442>
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica (2017). *Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo*. https://www.nrcs.usda.gov/Intenet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051284.pdf
- Departamento de San Martín. (2022). *Wikipedia, La enciclopedia libre*. Recuperado de https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Departamento_de_San_Mart%C3%ADn&oldid=146108187

- Dirección General de Investigación y Estudios sobre Comercio Exterior. (2022). *Reporte mensual de comercio regional (marzo 2022)*. Recuperado de https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/3097962/RMCR%20Marzo%202022_2.pdf
- Ferreya, R.; Sellés, G.; Pimstein, A. (2000). *Diseño, manejo y mantención de equipos de riego localizado de alta frecuencia*.
- Fort, R. y Borasino, E. (2016). *¿Agroindustria en la Amazonía?: Posibilidades para el desarrollo inclusivo y sostenible de la palma aceitera en el Perú*. Lima: GRADE. Recuperado de https://www.grade.org.pe/wp-content/uploads/LIBROGRADE_palma.pdf
- Israelsen, O. & Hansen, V. (1981). *Principios y aplicaciones del riego 3ra. edición*. Editorial John Wiley & Sons, Inc., New York, USA.
- Keller, J., y Karmeli, D. (1974) *Trickle Irrigation Design Parameters. Transactions of the ASAE*, pág. 678-684.
- Mendoza, A. (2013). *Riego por goteo*. Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG).
- Merriam, J. y Keller, J. (1978) *Evaluación del sistema de riego agrícola: una guía para la gestión*. Universidad Estatal de Utah, Logan, Utah.
- Nakayama, F.S. y Bucks, D.A. (1991). Water quality in drip/trickle irrigation: A review. *Irrigation Science*, 12, 187-192.
- Naandanjain. (2014). *Palma aceitera*. Recuperado de <https://naandanjain.com/solutions/oil-palm/?lang=es>
- Oficina de Tecnificación del Riego. (2007). *Manual de supervisión de obras para la instalación de sistemas de riego tecnificado*. Recuperado de http://www.psi.gob.pe/docs/%5Cbiblioteca%5Cmanuales%5Cmanual_de_supervision_sistemas_de_riego_tecnificado.pdf
- Pizarro, F. (1996). *Riegos Localizados de Alta Frecuencia RLAF. Goteo, Microaspersión, Exudación* (2a ed. rev. y ampl.). Mundi-Prensa.
- PRONAMACHCS. (2005). *Manejo y Conservación de Suelos: Fundamentos y Prácticas*.
- Subdirección de Inteligencia y Prospectiva Comercial (2022). *Informe mensual de exportaciones Perú*. Comisión de Promoción del Perú para la exportación y el turismo. <https://recursos.exportemos.pe/informe-mensual-de-exportaciones-marzo-2022.pdf>
- Thompson, L. & Troeh, F. (1988). *Los suelos y su fertilidad 4ta edición*. Editorial McGraw-Hill Book Company, New York, USA.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1: PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO

Tabla 29: Triángulo de texturas según clasificación USDA



FUENTE: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica (2017).

Tabla 30: Resumen de las propiedades físicas del suelo

Textura del suelo	Densidad aparente (g/cm ³)	Capacidad de campo (% θ g)	Punto de marchitez permanente (% θ g)	Infiltración básica (mm/h)
Arenoso	1.65 (1.55 – 1.90)	9 (6 – 12)	4 (2 – 6)	50 (25 – 250)
Franco arenoso	1.50 (1.40 – 1.60)	14 (10 – 18)	6 (4 – 8)	25 (13 – 75)
Franco	1.40 (1.35 – 1.50)	22 (18 – 26)	10 (8 – 12)	13 (8 – 20)
Franco arcilloso	1.35 (1.30 – 1.40)	27 (23 – 31)	13 (11 – 15)	8 (2.5 – 15)
Arcilloso	1.25 (1.20 – 1.30)	35 (31 – 39)	17 (15 – 19)	5 (1.3 – 10)

FUENTE: Israelsen & Hansen (1981).

ANEXO 2: ÍNDICE DE PRECIPITACIÓN

Tabla 31: Estimación de valores del Índice de precipitación (Ip) para diferentes probabilidades

Ppt. anual (mm)	%					
	50	60	70	75	80	90
75	0.80	0.68	0.56	0.51	0.45	0.33
100	0.84	0.72	0.61	0.56	0.50	0.38
125	0.87	0.76	0.65	0.60	0.54	0.42
150	0.88	0.78	0.68	0.63	0.57	0.45
175	0.89	0.79	0.69	0.65	0.60	0.48
200	0.90	0.81	0.71	0.67	0.62	0.51
225	0.91	0.82	0.73	0.68	0.63	0.53
250	0.92	0.83	0.75	0.70	0.65	0.55
300	0.93	0.85	0.78	0.74	0.69	0.58
350	0.94	0.86	0.79	0.75	0.71	0.61
400	0.95	0.88	0.81	0.77	0.73	0.63
450	0.95	0.89	0.82	0.78	0.74	0.65
500	0.96	0.90	0.83	0.79	0.75	0.67
550	0.96	0.90	0.84	0.81	0.77	0.69
600	0.97	0.91	0.84	0.81	0.78	0.70
650	0.97	0.92	0.85	0.82	0.79	0.71
700	0.97	0.92	0.86	0.83	0.80	0.72
750	0.97	0.93	0.87	0.84	0.81	0.73
900	0.98	0.93	0.88	0.85	0.82	0.75
1000	0.98	0.94	0.89	0.86	0.83	0.77
1150	0.98	0.94	0.90	0.87	0.84	0.78
1250	0.98	0.95	0.91	0.88	0.85	0.79
1400	0.99	0.95	0.91	0.89	0.86	0.80
1500	0.99	0.95	0.91	0.89	0.87	0.81
1800	0.99	0.95	0.92	0.90	0.88	0.83
2000	0.99	0.95	0.92	0.91	0.89	0.85
2500	0.99	0.96	0.93	0.92	0.90	0.86

FUENTE: (Departamento de agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica, 2017)

ANEXO 3: VALORES DEL COEFICIENTE DEL CULTIVO K_c

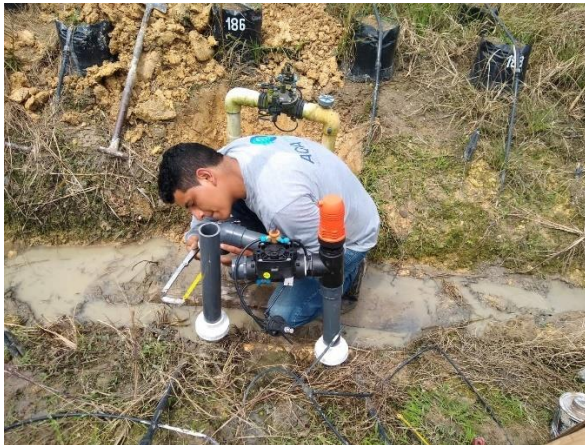
Tabla 32: Valores del coeficiente del cultivo

Cultivo	$K_{c\text{ ini}}^1$	$K_{c\text{ med}}$	$K_{c\text{ fin}}$	Altura máx. cultivo (h)(m)
Palmas	0.95	1.00	1.00	8

FUENTE: Allen et al. (1996)

ANEXO 4: PANEL FOTOGRÁFICO

INSTALACIÓN DE ARCOS DE RIEGO



EQUIPO ENCARGADO DE LA SUPERVISIÓN E INSTALACIÓN DE ARCOS DE RIEGO



RECONOCIMIENTO DE FUENTE DE AGUA PRINCIPAL



ESTADO INICIAL DE ARCOS DE RIEGO



REVISIÓN DE LOS ANILLOS DE FILTROS UBICADOS EN CASETA



EVALUACIÓN DEL ESQUEMA DE FILTRADO A LA SALIDA DEL POZO



**VERIFICACIÓN DE ESTADO ACTUAL
DEL RESERVORIO**



REVISION DEL RESORTE DE PILOTO



**RECONOCIMIENTO DE ELEMENTOS DE
MEDICION**



**RECONOCIMIENTO DE LA CASETA DE
RIEGO**



**REVISION DEL DIAFRAGMA DEL
PILOTO**



**RECONOCIMIENTO DE TOMAS
MANOEMTRICAS**



JEFE DE CAMPO EVALUANDO EL GOTERO RECOMENDADO



ENTREGA DE MUESTRAS DE GOTEROS A USUARIOS DE CAMPO



RECONOCIMIENTO DEL VIVERO DE PALMA ACEITERA



REVISION DELE STADO ACTUAL DE MANDO DE 3 VIAS



REVISION DEL ESTADO ACTUAL DE LOS MICROTUBOS



REVISION DEL ESTADO ACTUAL DE ARCOS DE RIEGO



ANEXO 5: ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUA



INFORME DE ENSAYO SA2202338 Rev. 0

Página 1 de 2

A solicitud de:	PALMAS DEL ESPINO S.A.		
Por cuenta de:	PALMAS DEL ESPINO S.A.		
Producto descrito como:	Agua de Riego	Cantidad Muestras:	3
Tipo de Análisis:	ANÁLISIS QUÍMICO	Fecha de Recepción:	09/08/2022
Localidad de preparación:	CALLAO	Fecha de Ensayo:	Del 09/08/2022 Al 15/08/2022
Descripción del Estado y Condición de la Muestra:	En frasco de plástico con tapa		
	Soluciones		
	Peso aprox. de 579 a 650 g.		
Referencia Cliente:	OL235508 PALMAS DEL ESPINO S.A.		
Notas:	MUESTRAS RECIBIDAS		

Esquema	Método
SA_CLAW73	SGS-MN-ME-229 /Abril 2014 Rev. 02/ Soluciones de Fertiliego: Determinación de Carbonatos y Bicarbonatos
SA_COND2HA	SGS-MN-ME-250 /Abril 2014 Rev.00 / Soluciones de Fertiliego: Conductividad Eléctrica en Aguas
SA_IMS80T	SGS-MN-ME-225-/ Mayo 2014 Rev. 02 /ANÁLISIS DE AGUA DE FERTIRIEGO – POR ICPMS
SA_PH32HA	SGS-MN-ME- 251 / Abril 2014 Rev.00 / Soluciones de Fertiliego: pH en Aguas
SA_UVWNO3	SGS-MN-ME-228/Noviembre 2014 Rev. 04/ Soluciones de Fertiliego: Determinación de Nitratos
SA_UVWCL	SGS-MN-ME-277/ Setiembre 2015 Rev. 00/ Aguas y Soluciones de Fertiliego: Determinación de Cloruros por UV-VIS
SA_UVWXH3	SGS-MN-ME-278/Octubre2015 R.00/ Aguas y Soluciones de Fertiliego:Determinación de Amonio por espectrofotometría UV-VIS

Elemento	CO3	CO3_PPM	HCO3	HCO3_PPM	C.E._SOL	B	Ca	Ca
Esquema	SA_CLAW73	SA_CLAW73	SA_CLAW73	SA_CLAW73	SA_COND2HA	SA_IMS80T	SA_IMS80T	SA_IMS80T
Unidad	meq/L	mg/L	meq/L	mg/L	ds/m	mg/L	mg/L	meq/L
Límite de Detección	0.01	0.3	0.010	0.60	0.01	0.01	1	0.05
AGUA DE RIEGO/PDE22-01	<0.01	<0.3	0.324	19.76	0.05	<0.01	2	0.10
AGUA DE RIEGO/PDE22-02	<0.01	<0.3	0.276	16.84	0.04	<0.01	2	0.10
AGUA DE RIEGO/PDE22-03	<0.01	<0.3	<0.010	<0.60	3.27	0.30	4	0.18
DUP AGUA DE RIEGO/PDE22-02	--	--	--	--	--	--	--	--

Elemento	Dureza	DUREZA	Cu	Fe	H2PO4	K	K	Mg
Esquema	SA_IMS80T	SA_IMS80T	SA_IMS80T	SA_IMS80T	SA_IMS80T	SA_IMS80T	SA_IMS80T	SA_IMS80T
Unidad	°FH	ppm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Límite de Detección	0.5	5	0.001	0.01	0.01	1.00	0.02	1.00
AGUA DE RIEGO/PDE22-01	0.8	8	<0.001	0.90	<0.01	1.37	0.04	<1.00
AGUA DE RIEGO/PDE22-02	0.7	7	<0.001	0.87	<0.01	1.37	0.04	<1.00
AGUA DE RIEGO/PDE22-03	91.7	917	0.006	2.30	0.49	518.92	13.27	220.47
DUP AGUA DE RIEGO/PDE22-02	--	--	--	--	--	--	--	--

Elemento	Mg	Mn	Mo	Na	Na	Na_porcentaje	P	RAS
Esquema	SA_IMS80T	SA_IMS80T	SA_IMS80T	SA_IMS80T	SA_IMS80T	SA_IMS80T	SA_IMS80T	SA_IMS80T
Unidad	meq/L	mg/L	mg/L	mg/L	meq/L	%	mg/L	mg/L
Límite de Detección	0.08	0.01	0.01	1.00	0.04	0.01	0.01	0.01
AGUA DE RIEGO/PDE22-01	<0.08	<0.01	<0.01	3.16	0.14	42.16	<0.01	0.50
AGUA DE RIEGO/PDE22-02	<0.08	<0.01	<0.01	2.63	0.11	38.42	<0.01	0.42

Este documento es emitido bajo las Condiciones Generales de Servicio de SGS del Perú S.A.C, las cuales se encuentran descritas en la página <http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definidas en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia; queda prohibida la reproducción total o parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayadas; no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas y de la información proporcionada por el cliente.

INFORME DE ENSAYO
SA2202338 Rev. 0

Página 2 de 2

Elemento Esquema Unidad	Mg SA_IMS80T meq/L	Mn SA_IMS80T mg/L	Mo SA_IMS80T mg/L	Na SA_IMS80T mg/L	Na SA_IMS80T meq/L	Na_porcentaje SA_IMS80T %	P SA_IMS80T mg/L	RAS SA_IMS80T
Límite de Detección	0.08	0.01	0.01	1.00	0.04	0.01	0.01	0.01
AGUA DE RIEGO/PDE22-03	18.13	0.94	<0.01	10.33	0.45	1.40	0.16	0.15
DUP AGUA DE RIEGO/PDE22-02	--	--	--	--	--	--	--	--

Elemento Esquema Unidad	SO4 SA_IMS80T meq/L	SO4_ppm SA_IMS80T mg/L	Suma_Aniones SA_IMS80T meq/L	Suma_Catione s SA_IMS80T meq/L	Zn SA_IMS80T mg/L	Al SA_IMS80T mg/L	pH_SOL SA_PH32HA	NO3 SA_UVWNO3 meq/L
Límite de Detección	1.00	3.00	0.09	0.18	0.001	1.00	0.1	0.01
AGUA DE RIEGO/PDE22-01	<1.00	4.43	0.45	0.33	0.001	<1.00	7.0	<0.01
AGUA DE RIEGO/PDE22-02	<1.00	3.68	0.39	0.30	0.004	<1.00	7.2	<0.01
AGUA DE RIEGO/PDE22-03	33.53	1611.84	33.89	32.03	3.720	<1.00	3.4	0.05
DUP AGUA DE RIEGO/PDE22-02	--	--	--	--	--	--	--	--

Elemento Esquema Unidad	NO3 SA_UVWNO3 mg/L	Cl_meq SA_UVXCL meq/L	Cl SA_UVXCL mg/L	NH4_MEQ SA_UVXNH3 meq/L	NH4 SA_UVXNH3 mg/L
Límite de Detección	0.01	0.03	1	0.01	0.01
AGUA DE RIEGO/PDE22-01	<0.01	0.05	2	0.02	0.34
AGUA DE RIEGO/PDE22-02	<0.01	0.05	2	<0.01	0.14
AGUA DE RIEGO/PDE22-03	3.09	0.31	11	0.52	9.41
DUP AGUA DE RIEGO/PDE22-02	--	--	--	--	--

**INFORME DE ENSAYO
MA2231431 Rev. 0**

Página 1 de 2

Análisis solicitado por:	PALMAS DEL ESPINO S.A.		
Dirección:	NRO. S N PALMAWASI SAN MARTIN - TOCACHE - UCHIZA		
Solicitud de Ensayo:	235508	Cantidad Muestras:	3
Categoría:	AGUA	Fecha de Recepción:	09-08-2022
Sub-categoría:	AGUA SUPERFICIAL	Fecha de Ensayo:	10-08-2022
Procedencia:	MUESTRA RECIBIDA	Fecha de Emisión:	10-08-2022
Muestreado por:	MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE		
Recepción de Muestra:	FRASCO DE PLASTICO		

Análisis	Método
Sólidos Totales en Suspensión	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540-D: 23rd: 2017. Solids: Total Suspended Solids dried at 103-105 °C. (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance) 2017

Emitido en Callao-Perú el 10-08-2022

**INFORME DE ENSAYO
MA2231431 Rev. 0**

Página 2 de 2

Identificación de Muestra	L.D.	L.C.	AGUA DE RIEGO/PDE22-01	AGUA DE RIEGO/PDE22-02	AGUA DE RIEGO/PDE22-03
			20-07-2022 00:30	20-07-2022 00:50	20-07-2022 00:50
Sólidos Totales en Suspensión (mg Sólidos Totales en Suspensión/L)	1	3	<3	<3	<3

Control de Calidad







MB: Blanco del proceso.
LCS %Recovery: Porcentaje de recuperación del patrón de proceso.
MS %Recovery: Porcentaje de recuperación de la muestra adicionada.
MSD %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados de la muestra adicionada.
Dup %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados del proceso.

Sólidos Totales en Suspensión Método : SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540-D: 23rd: 2017. Solids: Total Suspended Solids dried at 103-105 °C. (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance) 2017

Parámetro	Unidad	LC	MB	DUP %RPD	LCS %Recovery
Sólidos Totales en Suspensión	mg Sólidos	3	<3	0 - 3%	96 - 101%

ANEXO 6: PLANO HIDRÁULICO DEL PROYECTO

DISEÑO AGRONÓMICO	
Cultivo	Palma aceitera
Distancia hilera (m)	0.7
Nro. mangueras	1
Caudal gotero (l/h)	1.2
Distancia gotero (m)	0.6
Turnos de riego	3

LEYENDA	
Matriz PVC 140 mm C-5	
Matriz PVC 110 mm C-5	
Matriz PVC 90 mm C-5	
Tubería PVC 40 mm C-7.5	
Válvula	
Caseta de riego	

CASETA DE RIEGO

