

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**“ESTIMACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE RIEGO POR
SURCOS EN EL CULTIVO DE TARA (*Caesalpinia spinosa*), EN EL
FUNDO TANÓN, REGIÓN CAJAMARCA”**

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

JHON FÉLIX VILA SOLIER

Lima – Perú

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA

**“ESTIMACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE RIEGO
POR SURCOS EN EL CULTIVO DE TARA (*Caesalpinia spinosa*), EN
EL FUNDO TANÓN, REGIÓN CAJAMARCA”**

TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

Presentado por:

BACH. JHON FÉLIX VILA SOLIER

Sustentado y aprobado por el siguiente jurado:

Mg. Sc. DAVID RICARDO ASCENCIOS
TEMPLO

Presidente

Mg. Sc. TORIBIO SEBASTIAN SANTAYANA
VELA

Asesor

Ing. JAVIER ANTONIO GOICOCHEA RÍOS
Miembro

Ing. CARLOS FERNANDO BULNES SORIANO
Miembro

LIMA – PERU

2019

DEDICATORIA

El placer más sublime del conocimiento
es aprender de la realidad y trascenderla.

A todas las personas que estuvieron presentes durante
la investigación y a mi familia entera por todo su
apoyo.

AGRADECIMIENTO

A mis padres por todo el apoyo y cariño en todo momento. A mis hermanas Karen y Cinthia porque me entendieron y estuvieron a mi lado siempre, a Sara por toda la comprensión en esta etapa. A Rodrigo Santillán y Fernando Córdova que depositaron su confianza en mí. A Segundo Saldaña y todos los trabajadores del fundo que fueron pieza clave en todo el arduo trabajo y con su ayuda se lograron desarrollar muchas pruebas de campo.

Agradecimientos muy especiales y de todo corazón a la Ing. Rocío Pastor por su paciencia, ayuda y dedicación en el desarrollo de la investigación y al Ing. Sebastián Santayana por su apoyo incondicional en la culminación de la investigación.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
ÍNDICE GENERAL.....	iii
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xi
RESUMEN.....	xii
SUMMARY.....	xiii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 GENERALIDADES.....	1
1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
1.2.1 Objetivo general.....	2
1.2.2 Objetivos específicos.....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 RIEGO POR GRAVEDAD.....	3
2.1.1 Riego por surcos.....	3
2.2 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SUELOS.....	4
2.2.1 Textura.....	4
2.2.2 Densidad aparente.....	5
2.3 CONSTANTES HÍDRICAS.....	6
2.3.1 Capacidad de campo.....	6
2.3.2 Punto de marchitez.....	6
2.4 MOVIMIENTO DEL AGUA EN EL RIEGO.....	7
2.4.1 Infiltración.....	7
2.4.2 Lámina infiltrada.....	8
2.4.3 Avance.....	9
2.4.4 Recesión.....	10
2.5 MEDICIÓN DE CAUDALES.....	11

2.6	NECESIDADES HÍDRICAS	11
2.6.1	Evapotranspiración del cultivo	11
a.	Evapotranspiración del cultivo de referencia.....	12
b.	Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar	14
2.6.2	Coefficiente del cultivo	15
2.6.3	Precipitación efectiva.....	15
2.6.4	Frecuencia de riego.....	16
2.7	EFICIENCIA DE RIEGO	16
2.7.1	Eficiencia de conducción	17
2.7.2	Eficiencia de distribución	18
2.7.3	Eficiencia de aplicación	19
2.7.4	Uniformidad de distribución del agua	20
2.8	AIRE EN TUBERÍAS	21
2.8.1	Dispositivos existentes para solucionar el problema de aire atrapado	24
a.	Ventosas automáticas.....	24
b.	Ventosas bifuncionales	25
c.	Ventosas de doble efecto o trifuncionales	26
2.8.2	Colocación y dimensionamiento de las ventosas.....	27
2.9	CULTIVO DE TARA	28
2.9.1	Generalidades	28
2.9.2	Importancia mundial y económica.....	29
2.9.3	Aspectos agroclimáticos	32
2.9.4	Etapas fenológicas del cultivo	33
2.9.5	Riego.....	34
2.9.6	Coefficiente de cultivo (Kc).....	36
2.9.7	Zonas productoras en el Perú.....	37
III.	METODOLOGÍA	41
3.1	CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	41
3.1.1	Ubicación y acceso	41
3.1.2	Climatología	43
3.1.3	Topografía.....	47
3.1.4	Geología.....	48
3.1.5	Suelos.....	48
3.1.6	Ecología	49

3.1.7	Recurso hídrico	49
3.2	CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS DEL FONDO	51
3.2.1	Ubicación y linderos	51
3.2.2	Sistema hidráulico actual	51
3.2.3	Operación del sistema actual	56
3.2.4	Instalación de los árboles de tara	56
3.3	MATERIALES Y EQUIPOS.....	57
3.4	MÉTODOS	57
3.4.1.	Lámina de riego neta	57
3.4.2.	Evapotranspiración crítica del cultivo (ETc crítica).....	61
3.4.3.	Determinación de la precipitación efectiva	62
3.4.4	Volumen neto de riego por sector.....	62
3.4.5.	Volumen bruto de riego por sector.....	63
3.4.6.	Eficiencia de aplicación.....	64
3.4.7.	Uniformidad de distribución de agua	64
3.4.8.	Eficiencia de distribución	66
3.4.9.	Eficiencia de conducción.....	66
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	68
4.1	CARACTERÍSTICAS AGROLÓGICAS.....	68
4.2	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUELO.....	68
4.3	CONSTANTES HÍDRICAS	68
4.5	CAUDALES DE INGRESO Y PRESIONES EN LOS HIDRANTES	70
4.6	EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO	71
4.6.1	Evapotranspiración de referencia (ETo).....	71
4.6.2	Evapotranspiración del cultivo (ETc).....	71
4.7	PRECIPITACIÓN EFECTIVA	72
4.8	VOLUMEN NETO	72
4.9	AGUA APORTADA ACTUALMENTE AL CULTIVO.....	74
4.10	UNIFORMIDAD ACTUAL DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA.....	74
4.11	EFICIENCIA DE RIEGO	77
4.11.1	Eficiencia de aplicación	77
4.11.2	Eficiencia de distribución	78
4.11.3	Eficiencia de conducción	78
4.12	PLAN DE MEJORAS.....	80

4.12.1 Necesidades hídricas del cultivo	81
4.12.2 Mejoras en la programación de riego	81
4.12.3 Uniformidad de distribución de agua	81
4.12.4 Mejoras en la eficiencia de aplicación.....	82
4.12.5 Utilización de sistema de riego por goteo	85
4.12.6 Mejoras en la conducción de agua.....	85
4.13 INVERSIÓN PARA MEJORAR EL RIEGO POR GRAVEDAD	86
V. CONCLUSIONES	89
VI. RECOMENDACIONES	90
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	92
VIII. ANEXOS	97
ANEXO 1: COSTOS DE INSTALACIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	97
ANEXO 2: DENSIDAD APARENTE EN TRES CALICATAS	99
ANEXO 3: CAPACIDAD DE CAMPO	100
ANEXO 4: PRUEBA DE INFILTRACIÓN	100
ANEXO 5: PRUEBAS DE AVANCE	104
ANEXO 6: ANÁLISIS DE SUELO.....	106
ANEXO 7: PANEL FOTOGRÁFICO	107
ANEXO 8: DATOS TÉCNICOS DE LA BOMBA DEL FUNDO	111
ANEXO 9: PLANOS DE SISTEMA HIDRÁULICO ACTUAL.....	113

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Eficiencias de riego por gravedad	18
Tabla 2: Eficiencias de aplicación según tipo de riego	19
Tabla 3: Esquema de uniformidad en riego por gravedad	20
Tabla 4: Subproductos de la tara y sus usos	31
Tabla 5: Condiciones de requerimiento hídrico favorables para el cultivo	35
Tabla 6: Coeficientes de cultivo estimados a ser utilizados para la tara	37
Tabla 7: Zonas de producción de tara en el Perú	38
Tabla 8: Zonas de vida de la tara, según el diagrama de Holdridge	39
Tabla 9: Secuencia fenológica de la floración y fructificación en el Perú	39
Tabla 10: Valores meteorológicos promedios mensuales Estación San Miguel	45
Tabla 11: Valores meteorológicos promedios mensuales Estación Las Paltas	45
Tabla 12: Características hídricas del suelo	68
Tabla 13: Análisis químico de suelo	68
Tabla 14: Caudales y presiones en las válvulas de salida de agua	70
Tabla 15: Cálculo de la evapotranspiración de referencia	71
Tabla 16: Cálculo de la evapotranspiración del cultivo	72
Tabla 17: Cálculo de la precipitación efectiva	73
Tabla 18: Volumen neto por riego aplicado	73
Tabla 19: Estimación de la uniformidad actual de distribución de agua	74
Tabla 20: Cálculo de agua aportada en el Sector 1	75
Tabla 21: Resumen de volúmenes de agua aportados en todos los sectores	76
Tabla 22: Estimación de la eficiencia de aplicación	77
Tabla 23: Estimación de la eficiencia de distribución	79
Tabla 24: Estimación de la eficiencia de conducción	79
Tabla 25: Resumen de las eficiencias actuales del fundo	80
Tabla 26: Necesidades hídricas del cultivo	83
Tabla 27: Programación de riego para los cuatro sectores	84
Tabla 28: Estimación de la nueva uniformidad de distribución de agua	84

Tabla 29: Resumen de programación de riego por goteo para el cultivo de tara	87
Tabla 30: Resumen de calendario de riego por goteo para la campaña 1	88
Tabla 31: Resumen de calendario de riego por goteo para la campaña 2	88
Tabla 32: Inversión en accesorios para adopción de mejoras de aplicación	88
Tabla 33: Costo de la instalación del sistema de riego actual	97
Tabla 34: Costo de la operación y mantenimiento mensual actual	98
Tabla 35: Estimación de la densidad aparente del fondo	99
Tabla 36: Densidad aparente promedio	99
Tabla 37: Estimación de la capacidad de campo por el método gravimétrico	100
Tabla 38: Datos de prueba de infiltración	102
Tabla 39: Prueba de avance con 0,39 l/s	104
Tabla 40: Prueba de avance con 3 l/s	105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Triángulo textural	5
Figura 2: Perfil típico de la lámina de agua infiltrada al final del riego	9
Figura 3: Esquema de uniformidad en riego por gravedad	20
Figura 4: Bolsones de aire estacionarios	22
Figura 5: Modelos de ventosas automáticas	25
Figura 6: Modelos de ventosas bifuncionales	26
Figura 7: Modelos de ventosas trifuncionales	27
Figura 8: Árbol de tara en fase de desarrollo del cultivo	34
Figura 9: Kc estimado para los diferentes meses del año	37
Figura 10: Esquema de la ubicación del área de estudio	41
Figura 11: Mapa de ubicación	42
Figura 12: Ubicación de estaciones meteorológicas cercanas al área de estudio	44
Figura 13: Variaciones térmicas mensuales Estación San Miguel	46
Figura 14: Precipitación mensual Estación San Miguel	46
Figura 15: Precipitación mensual Estación Las Paltas	47
Figura 16: Esquema del recurso hídrico del fundo	49
Figura 17: Mapa de distribución de tara en Cajamarca	50
Figura 18: Linderos del área de estudio	51
Figura 19: Captación rudimentaria	52
Figura 20: Tubería de conducción	53
Figura 21: Pase aéreo en un tramo de la tubería de conducción	54
Figura 22: Tubería de distribución	54
Figura 23: Válvula de salida a los surcos	55
Figura 24: Sistema de pozas y surcos	55
Figura 25: Sectores del área de estudio	56
Figura 26: Procedimiento de prueba de capacidad de campo	59
Figura 27: Medición de profundidad de raíces	60

Figura 28: Procedimiento de muestreo para densidad aparente	61
Figura 29: Aforo volumétrico en las salidas de agua	64
Figura 30: Flujo de cálculos para la determinación de la eficiencia de aplicación	65
Figura 31: Perdidas de potencia, eficiencia volumétrica y desarrollada por altura	67
Figura 32: Eficiencia de aplicación actual del sistema	78
Figura 33: Resumen de eficiencias actuales en el fundo	80
Figura 34: Resumen de eficiencias de aplicación en el fundo después de mejoras	82
Figura 35: Curva de contenido de humedad para hallar la capacidad de campo	100
Figura 36: Pasos de prueba de infiltración	101
Figura 37: Gráfico y ecuación de velocidad de infiltración	102
Figura 38: Gráfico y ecuación de lámina infiltrada acumulada	103
Figura 39: Gráfico y ecuación de avance para caudal de 0,39 l/s	104
Figura 40: Gráfico y ecuación de avance para caudal de 3 l/s	105
Figura 41: Análisis de caracterización de suelo	106
Figura 42: Tubería de conducción en peñascos km 1.4	107
Figura 43: Tubería de conducción en peñascos km 1.8	107
Figura 44: Sistema de riego por surcos en contorno y pozas	108
Figura 45: Vaina de tara de árbol del fundo	108
Figura 46: Prueba de presión en válvula	109
Figura 47: Izquierda lote con riego, derecha lote sin riego	109
Figura 48: Camino hacia la toma rústica del río San Miguel	110
Figura 49: Bomba multietapa del fundo	110
Figura 50: Datasheet de la bomba multietapa del fundo MD12-25x3-parte 1	111
Figura 51: Datasheet de la bomba multietapa del fundo MD12-25x3-parte 2	112

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: COSTOS DE INSTALACIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	97
ANEXO 2: DENSIDAD APARENTE EN TRES CALICATAS	99
ANEXO 3: CAPACIDAD DE CAMPO	100
ANEXO 4: PRUEBA DE INFILTRACIÓN	101
ANEXO 5: PRUEBAS DE AVANCE	104
ANEXO 6: ANÁLISIS DE SUELO	106
ANEXO 7: PANEL FOTOGRÁFICO	107
ANEXO 8: DATOS TÉCNICOS DE LA BOMBA DEL FUNDO	110
ANEXO 9: PLANOS DE SISTEMA HIDRÁULICO ACTUAL	113

RESUMEN

La presente investigación se realizó en el fundo Tanón, distrito y provincia de San Miguel, región de Cajamarca; se estimó la eficiencia de riego por gravedad para el cultivo de tara (*Caesalpinia spinosa*) en un área de estudio de, aproximadamente, siete hectáreas. La aplicación se realizó por surcos que tienen diferentes longitudes, por este motivo el análisis se dividió en cuatro sectores, de acuerdo con la longitud promedio de cada uno de ellos. El cultivo está dispuesto en un marco de plantación de, aproximadamente, 5 m x 5 m y cada árbol cuenta, alrededor del tronco, con una pequeña poza dentro de los surcos en contorno. La lámina de riego se calculó en base a la evapotranspiración de referencia (ET_o) estimada por el método de Hargreaves, el K_c para el cultivo, los parámetros hídricos y físicos del suelo obtenidos de pruebas de campo. Se estimó las eficiencias actuales del fundo: conducción (90,00 por ciento), distribución (98,07 por ciento) y aplicación (27,40 por ciento), resultando la eficiencia de riego del sistema en 24,21 por ciento. Debido a la baja eficiencia del sistema se planteó mejoras: una programación de riego adecuada para las condiciones del suelo y las plantas en el fundo, la instalación de salidas de agua cada 20 m en la tubería de distribución para el manejo adecuado de cada surco en contorno, la implementación de riego por goteo para incrementar la eficiencia de aplicación y la instalación de ventosas a lo largo de la tubería de conducción para la eliminación del aire presente en el sistema de conducción.

Palabras clave: riego por gravedad, tara, eficiencia de riego, Hargreaves, surcos en contorno

SUMMARY

This research was carried out in the Tanon farm, district and province of San Miguel, Cajamarca department; gravity irrigation efficiency was estimated for the cultivation of tara (*Caesalpinia spinosa*) in a study area of approximately seven hectares. The application was made by furrows that have different length, for this reason the analysis was divided into four sectors, according to the average length of each of them. The crop is arranged in a planting frame of, approximately, 5 m x 5 m and each tree have, around the trunk, a small pool in the contour grooves. The irrigation sheet was calculated based on the reference evapotranspiration (ET_o) estimated by the Hargreaves method, the crop K_c, the water and physical parameters of the soil obtained from field tests. The current efficiencies of the farm were determined: conduction (90,00 percent), distribution (98,07 percent) and application (27,40 percent), and the irrigation efficiency of the system was 24,21 percent. Due to the low efficiency of the system, improvements were proposed: an adequate irrigation schedule for soil and plant conditions in the farm, the installation of water valves every 20 m in the distribution pipeline for the proper management of each furrow in contour, the implementation of drip irrigation in order to increase the efficiency of application and finally, the installation of air valves along the conduction pipeline for the elimination of the air present in there.

Key words: gravity irrigation, tara, irrigation efficiency, Hargreaves, contour furrow

I. INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

El desarrollo económico y social de un país depende de sus posibilidades de alcanzar una producción agropecuaria adecuada a sus necesidades de alimento y tentativamente contar con una sobreproducción para exportar. Para lograr esos niveles de producción se requieren incorporar superficies a la agricultura a través de proyectos de riego y mejorar los sistemas y prácticas de riego existentes, con el fin de asegurar un uso eficiente de este recurso escaso.

En el riego por gravedad el agua fluye por la superficie del terreno y se infiltra humedeciéndolo, el movimiento del agua depende de la pendiente del terreno y de la carga del agua (Olarte 1987). A los sistemas de riego por gravedad también se les conoce como riego de superficie o superficiales y se dividen en tres categorías: pozas, melgas y surcos.

Cada método de riego tiene ventajas y desventajas, por eso es necesario evaluar el proyecto y seleccionar el método que más se adapte a las condiciones locales y del cultivo. En el caso que ya exista un sistema de riego operando, se necesita realizar una evaluación y una reestructuración para obtener mejores eficiencias de riego.

El estudio de la eficiencia de un campo de cultivo es parte fundamental del manejo del agua y del potencial crecimiento del cultivo y la producción, con la medición de la eficiencia de riego se puede evaluar si se requiere o no un mejoramiento, ya sea tecnológico o de programación de riego.

En el Perú existen más de 1,5 millones de hectáreas que están siendo manejadas con riego por superficie, que representa el 88 por ciento del total de superficie agrícola bajo riego (INEI 2012). Por esta razón, es importante adoptar métodos de riego superficial, que bien manejados, pueden dar eficiencias altas ya que, con el uso adecuado y calculado del agua, se puede conseguir resultados de eficiencia de aplicación aceptables sin la necesidad de una gran inversión económica para el cambio a un sistema de riego por presión.

En el presente trabajo se realiza la evaluación de un sistema de riego en operación, el cual está ubicado en el fundo Tanón, distrito y provincia San Miguel, región Cajamarca. El predio, con una extensión de 10 ha, está ubicado en una ladera de la pampa Tanón, en el cual se ha implementado el cultivo de tara con un sistema de riego por gravedad y la fuente de agua proviene de una captación del río San Miguel, que por medio de, aproximadamente, 2,5 kilómetros de tuberías de HDPE conduce el agua hasta un reservorio construido en la parte inferior del predio, de donde se bombea el agua hasta la entrada de los surcos ubicados a lo largo de la ladera.

Los datos procesados de las pruebas y las muestras extraídas del campo de cultivo sirvieron para el replanteamiento del manejo del sistema de riego por superficie implementado en el campo de estudio. Con esta investigación se determinó la eficiencia actual promedio del sistema y se plantea las mejoras para que la eficiencia de riego llegue a ser la mayor posible.

1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1 Objetivo general

- Estimar la eficiencia del sistema de riego por gravedad en el cultivo de tara (*Caesalpinia Spinosa*), en el fundo Tanón.

1.2.2 Objetivos específicos

- Estimar la eficiencia de conducción del sistema de riego.
- Estimar la eficiencia de distribución del sistema de riego.
- Estimar la eficiencia de aplicación del sistema de riego.
- Plantear las mejoras y recomendaciones según los resultados obtenidos en la investigación.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 RIEGO POR GRAVEDAD

Faci y Playan (1994) explicaron que el riego por gravedad radica en la utilización de una variedad de tipos de riego con la característica común de que el agua aplicada en la superficie es distribuida por la fuerza de la gravedad, lo que implica dos ventajas frente a otros sistemas de riego: no se necesita de equipos complejos que representen un alto costo para el agricultor, ni se necesita bombear el agua por encima de la parcela, lo que lleva a un ahorro energético.

Santos *et al.* (2010) expusieron que este método continúa teniendo una destacada importancia en el desarrollo agrario, no solo porque corresponde al 80 por ciento de las áreas regadas del mundo, sino que además sigue siendo el método más apropiado, técnicamente, para suelos llanos y pesados.

2.1.1 Riego por surcos

Sandoval y Varas (1989) sostienen que este método consiste en proporcionar el agua desde un canal o acequia madre, por canales desde los puntos más altos a los bajos, facilitando la infiltración del agua y el humedecimiento del suelo. Se dirá que el riego es eficiente si este humedecimiento llega a la zona de raíces y además moja el suelo entre la hilera de las plantas.

Faci y Playan (1994) señalan que los surcos son pequeños canales abiertos de tierra por los cuales el agua fluye lentamente y se infiltra a través de su recorrido. Los surcos deben tener una pendiente uniforme y suave, además de ser alimentados por caudales pequeños para que el agua tenga más tiempo de infiltración a lo largo de la parcela.

El diseño y operación del sistema de riego se encuentra establecido por factores como textura, compactación y pendiente del suelo, variando la eficiencia de riego y la respuesta del cultivo. En este sistema se busca la combinación adecuada entre longitud, pendiente y pendiente del surco, además de la elección del caudal no erosionable que sea apropiado para el riego y que en las condiciones óptimas asegure una infiltración máxima y uniforme.

Sandoval y Varas (1989) exponen que el método riego por surcos en contorno es una variación del sistema de riego por surcos tradicional y que es apropiada para zonas de pendientes desuniformes de hasta 10 por ciento. Los surcos en contorno llevan pendientes bajas en el orden de 0,3 a 0,6 por ciento, siguiendo la dirección de las curvas de nivel del terreno.

Este método no es recomendable para suelos arenosos, ni aquellos que se agrieten al secarse, debido al peligro de erosión. De manera general se recomienda proporcionar caudales pequeños a cada surco para evitar el rebalse y la erosión.

2.2 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SUELOS

2.2.1 Textura

Jordán (2006) la define como la composición granulométrica de la fracción inorgánica del suelo, para la cual existe diversos tipos de clasificación, pero todas aceptan los términos de grava, arena, limo y arcilla, variando únicamente en los límites de clasificación para cada uno de ellos. Señala, además, que el conocimiento de esta característica es importante en cualquier estudio, ya sea para caracterizarlo o para su utilización en alguna aplicación.

Porta *et al.* (2003) explican que la granulometría expresa las proporciones relativas de las diferentes partículas minerales inferiores a 2 mm, que están agrupadas por clases y tamaños. La textura es la expresión sintética de las características de cada horizonte que dependen de la proporción de los distintos tamaños de partículas que las contienen.

De acuerdo a los criterios de la United States Department of Agriculture (USDA), en el triángulo textural se ha establecido los límites correspondientes a cada clase divididos por el porcentaje de arena, limo y arcilla que contengan (Figura 1).

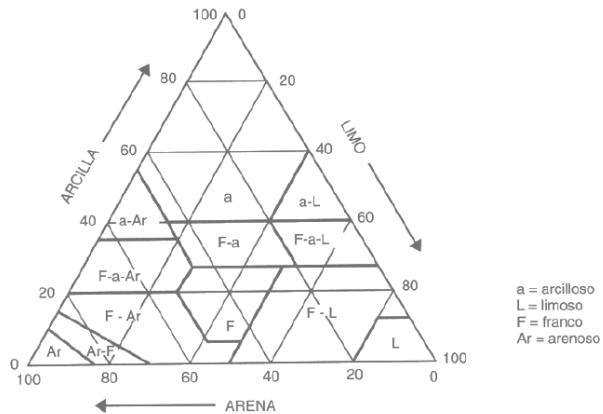


Figura 1: Triángulo textural

FUENTE: Porta *et al.* (2003)

2.2.2 Densidad aparente

Porta *et al.* (2003) definen a la densidad aparente como la masa por unidad de volumen. Este volumen es el que ocupa la muestra en campo y se calcula como:

$$da = \frac{Ms}{Vt} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

da = densidad aparente ($\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$)

Ms = masa de sólidos (g)

Vt = volumen total (cm^3)

El interés en el conocimiento de la densidad aparente es que da una referencia del grado de compactación que tienen los horizontes del suelo, lo que permite inferir las dificultades para el enraizamiento y la circulación del agua y el aire en el suelo.

Existen diferentes métodos para cuantificar la densidad aparente de los horizontes del terreno en estudio, entre los cuales el más empleado es el método del cilindro. Se utiliza un cilindro de paredes delgadas y rígidas, con borde biselado de, aproximadamente, 100 cm^3 . Para obtener un resultado estadísticamente representativo se deben extraer por lo menos tres muestras en cada horizonte. Este método consiste en tomar la muestra insertando el cilindro

lentamente en el horizonte a estudiar y si fuera posible con ayuda de un gato hidráulico. En horizontes donde predominan las gravas y arenas se recomienda un muestreador rotatorio.

2.3 CONSTANTES HÍDRICAS

2.3.1 Capacidad de campo

Es el contenido de agua capilar retenido en un suelo después de un riego fuerte o a la exposición de una lluvia intensa después de 48 horas del drenado natural del exceso del agua. Esta es la condición óptima en el cual la planta puede aprovechar el agua que está retenida en el suelo con fuerzas en un rango de 1/3 a 15 atmósferas. Este valor puede aproximarse en laboratorio, pero dado que el estado del campo influye en las condiciones de drenaje la mejor alternativa es calcularla in situ (Cerna, 2007; Porta *et al.*, 2003).

Se define como la máxima cantidad de agua que puede mantenerse retenida en la estructura del suelo en contra de la acción de la gravedad. Este valor está íntimamente ligado a la distribución, tamaño y forma de las partículas que integran el suelo (Jordán, 2006).

Vásquez *et al.* (2017) señalan que, para condiciones de evapotranspiración nula, se puede definir capacidad de campo como el contenido de humedad del suelo cuando la variación del contenido de humedad con respecto al tiempo tiende a cero ($\Delta\theta/\Delta t \rightarrow 0$). Esta variación se puede hallar de forma gráfica mediante una curva porcentaje de humedad vs tiempo, en la cual la capacidad de campo está determinada cuando dicha curva tiende a ser una recta.

2.3.2 Punto de marchitez

Es el contenido de humedad en un terreno que no tiene la suficiente cantidad de agua para un cultivo, es decir, es el agua adherida a las partículas del suelo con fuerzas mayores a 15 atmósferas, por lo que las plantas no pueden aprovechar dicha agua. Usualmente se toma el punto de marchitez como la mitad del valor de capacidad de campo de un terreno. Para fines prácticos, en condiciones de riego, no se debe esperar que el suelo esté seco, dado que implicaría que todas las plantas ya estarían muertas, por lo que se recomienda estimar un descenso tolerable de humedad para los cultivos (Cerna, 2007 y Olarte, 1987).

Silva *et al.* (1988) indica que su valor depende del tipo de suelo y es el límite de tensión hasta la que una planta puede extraer agua del suelo, la fórmula para su estimación es la siguiente:

$$PMP = 0,74 \times CC - 5 \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

PMP = Punto de marchitez permanente (%)

CC = Capacidad de campo (%)

2.4 MOVIMIENTO DEL AGUA EN EL RIEGO

2.4.1 Infiltración

La infiltración es un movimiento del agua que puede ser de riego o de lluvias, el cual penetra en forma vertical o inclinada en el suelo. El grado de infiltración depende de la permeabilidad del suelo que a su vez está ligada a propiedades, tales como: porosidad, estructura o grado de humedad (Jordán, 2006).

El método usual para la determinación de esta función es el de los cilindros infiltrómetros, que sigue los siguientes pasos:

- Selección de lugar, que tiene que ser representativo del terreno en estudio.
- Instalación de los cilindros, con el uso de una comba se procede a golpear la plancha metálica que se ha colocado sobre el cilindro exterior, el cual debe ser introducido hasta unos 15 cm, aproximadamente. Luego se introduce el cilindro interior.
- Una vez instalados los cilindros, se coloca una regla graduada en una pared del cilindro interior. El siguiente paso es colocar un plástico en el cilindro interior para proceder al llenado con agua del cilindro exterior e inmediatamente el cilindro interior, que debe alcanzar una lámina de 10 a 20 cm.

- Llenados los cilindros, se retira de manera uniforme el plástico para comenzar inmediatamente las lecturas de la carga de agua.

Una vez calculados los valores de lámina infiltrada, que es la suma de las lecturas tomadas en la prueba de campo, se grafican con respecto al tiempo correspondiente que se hicieron las lecturas. Luego se traza la curva que mejor se aproxime a los puntos determinados. La ecuación que se obtiene es de la forma:

$$v = at_o^b \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

- v = velocidad de infiltración (mm.h⁻¹, cm.h⁻¹)
- a = coeficiente empírico que representa la velocidad de infiltración para t_o igual a 1 min
- t_o = tiempo de oportunidad (min)
- b = exponente empírico de la función de infiltración (-1 < b < 0)

2.4.2 Lámina infiltrada

Faci y Playan (1994) exponen que es el agua infiltrada durante el tiempo de riego, debido a que está en contacto con el suelo, tiene la oportunidad de infiltrarse a un ritmo que el suelo admita, usualmente se mide en cm o mm. El perfil de la lámina infiltrada al final del riego es parecido al representado en la Figura 2, donde se puede apreciar que el punto situado junto a la cabecera del surco es el que recibe más agua, mientras que el punto más alejado tiene menos dosis de agua.

Es la capacidad de retención de agua que tiene el suelo en función a la profundidad de raíces, el descenso tolerable y el porcentaje de área mojada. Se estima mediante la siguiente fórmula:

$$Ln = \frac{(CC - PMP)}{100} \times D_a \times Prof. raíz \times D_t \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

- Ln = Lámina neta de riego (cm)
- CC = Capacidad de campo (%)
- PMP = Punto de marchitez (%)
- D_a = Densidad aparente (gr/cm^3)
- Prof.raíz = Profundidad de raíces (cm)
- D_t = Descenso tolerable (%)

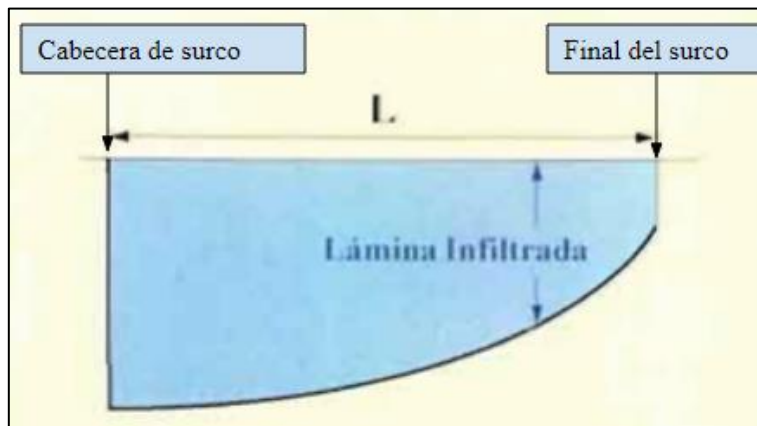


Figura 2: Perfil típico de la lámina de agua infiltrada al final del riego

FUENTE: Faci y Playan (1994)

2.4.3 Avance

Es el movimiento del agua a partir del momento en que comienza a ser aplicada y avanza por la superficie del suelo hasta alcanzar el punto más lejano. Se considera que ha finalizado el avance cuando todos los lugares que necesitan de riego se han mojado. La duración del avance puede ser diversa y depende de factores como el caudal aplicado, pendiente del terreno, longitud del camino del agua y capacidad de infiltración del suelo. Una vez que finaliza el avance el agua comienza a almacenarse sobre el suelo mientras continúa infiltrándose, hasta que se corta el suministro de agua cuando se ha alcanzado el tiempo de aplicación del riego, denominado tiempo de riego (Fernández *et al.*, 2010).

Usualmente, la prueba de avance se desarrolla para varios caudales por separado. Para el desarrollo de esta prueba se siguen los siguientes pasos:

- Selección del lugar donde se efectuarán las pruebas.

- Colocar estacas, señalizaciones o puntos de referencia cada 10 o 20 m, a lo largo de cada surco, según la longitud total de estos.
- Medición de la cantidad de agua que ingresa al surco.
- El tiempo se inicia con la entrada del agua al surco, luego se irá registrando el tiempo de llegada a cada punto de referencia. Se debe mantener constante el caudal seleccionado durante toda la prueba.

Con los datos registrados en las pruebas de avance, se tabulan los puntos en un gráfico que relaciona el tiempo con respecto a la longitud del surco. Luego se traza la curva que mejor se aproxime a los puntos. El caudal con el que se realizó la prueba tiene que ser registrado, dado que la curva hallada es para dicho caudal. La ecuación que se obtiene es de la forma:

$$X = At_a^B \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde:

- X = longitud del surco (m)
- A = coeficiente empírico de la función de avance para t_a igual a 1 min
- t_a = tiempo de avance (min)
- B = exponente empírico de la función de avance ($0 < B < 1$)

2.4.4 Recesión

Se denomina recesión al movimiento ulterior del agua una vez que se corta el suministro. La recesión es producida por el escurrimiento si es que existiera pendiente y la infiltración, lo que lleva a que el agua almacenada en la superficie desaparezca paulatinamente hasta que no quede ninguna película de agua en la superficie del suelo. Si la parcela está nivelada el receso ocurre simultáneamente en todos los puntos, por el contrario, en el caso de tener una pendiente lo normal es que el receso comience en la cabecera y termine en la cola (Fernández *et al.*, 2010).

2.5 MEDICIÓN DE CAUDALES

El agua destinada a riego puede proceder de diversas fuentes como de un cauce natural, un embalse, un depósito u otra fuente de abastecimiento. Usualmente, es necesario conducirla desde una toma hasta la parcela donde va a ser utilizada. La complejidad del sistema de transporte dependerá de los accidentes geográficos que haya que sobrepasar y del caudal requerido por el agricultor (Fernández *et al.*, 2010).

Existen diferentes métodos para medir el caudal que se entrega en un sistema de riego, entre los cuales están los aforadores, microcorrentómetros y el método volumétrico. En el caso de los sistemas de riego por gravedad es de gran importancia el conocimiento del caudal entregado, porque están íntimamente ligados a la eficiencia del sistema y a la prevención de la erosión del suelo (Santos *et al.*, 2010).

Según Hudson (1997) la forma más sencilla de calcular los caudales pequeños es la medición directa del tiempo que se tarda en llenar un recipiente de volumen conocido. La corriente de agua debe ser desviada hacia una cañería o canal que descargue en un recipiente adecuado y el tiempo que demora su llenado se mide con un cronómetro. Es recomendable un recipiente de 10 litros como mínimo para caudales de hasta 4 l.s^{-1} y de 200 litros para caudales de hasta 50 l.s^{-1} . El tiempo que se tarda el llenado debe ser medido con precisión, especialmente cuando sea de pocos segundos, la variación entre diversas mediciones efectuadas sucesivas proporcionará un indicador de la precisión de los resultados.

2.6 NECESIDADES HÍDRICAS

2.6.1 Evapotranspiración del cultivo

Allen *et al.* (2006) indican que la evaporación es un fenómeno por el cual las partículas de agua líquida se transforman en vapor y se retiran de la superficie evaporante, tales como cuerpos de agua, caminos, suelos y la superficie vegetal mojada. Para que el agua líquida se transforme en vapor de agua es necesario una cantidad de energía, que es proporcionada por la radiación solar directa y en menor medida por la temperatura ambiental. Sin embargo, parámetros climatológicos como la humedad atmosférica y la velocidad del viento, también,

influyen en la aceleración o la lentitud del proceso de evaporación y deben ser consideradas para su cálculo.

Así mismo, definen la transpiración como el proceso por el cual el agua líquida contenida en los tejidos de las plantas se vaporiza y se traslada al ambiente. Los cultivos realizan este traslado de gases a través de pequeñas aberturas en las hojas denominados estomas. El agua líquida absorbida por las raíces es utilizada para conducir los nutrientes dentro de la planta, sin embargo, la mayor parte de agua líquida absorbida por las plantas se pierde por transpiración y solo una pequeña parte de esta pasa a formar parte de los tejidos vegetales.

También, mencionan que los parámetros que influyen en la transpiración son los mismos que en la evaporación, pero además de estos se debe tomar en cuenta el contenido de humedad y salinidad del suelo, la capacidad del suelo de conducir el agua y el agua utilizada para el riego. Características como el medio donde se produce, las prácticas de manejo y el estado de desarrollo del cultivo, también, son importantes para evaluar la transpiración.

Allen *et al.* (2006) denominan evapotranspiración a la suma de dos procesos por los cuales se pierde agua, de la evaporación del suelo y de la transpiración del cultivo. Se distinguen dos conceptos fundamentales para el riego: evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o) y evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (ET_c).

a. Evapotranspiración del cultivo de referencia

Según Allen *et al.* (2006) la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o) se define como la tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia, que ocurre sin restricciones de agua. La superficie de referencia corresponde a un cultivo hipotético de pasto con características específicas.

Este concepto se introdujo para estudiar la demanda de evapotranspiración de la atmósfera, independientemente del tipo y desarrollo del cultivo, y de las prácticas de manejo. El relacionar la evapotranspiración a una superficie específica permite tener una referencia para asociar la evapotranspiración de otras superficies. Se elimina la necesidad de definir un nivel de evapotranspiración para cada cultivo y periodo de crecimiento.

Los únicos factores que afectan la ETo son los parámetros climáticos. Por lo tanto, la ETo es también un parámetro climático que puede ser calculado a partir de datos meteorológicos. Expresa el poder evaporante de la atmósfera en una localidad y época del año específicas, y no considera ni las características del cultivo, ni los factores del suelo.

Dentro de las ecuaciones y procedimientos basados en los datos de radiación, la ecuación de Penman brinda resultados más próximos a la realidad; dado que en ella se combinan los principales factores climatológicos que influyen en la evapotranspiración. Sin embargo, por ser un método demasiado complicado y requerir demasiada información climática, se recomienda emplear el método de Hargreaves, basado en registros de radiación media mensual en $\text{cal.cm}^{-2}.\text{día}^{-1}$.

Olarte (1987) expuso que en 1975 Hargreaves modificó el procedimiento original con la intención de hacer más aplicable el desarrollo metodológico de Christiansen y para anular el proceso convectivo de la altura y por tanto el incremento de la ETo. La ecuación de Hargreaves debe emplearse sólo en lugares donde no exista información de radiación directamente medida pero que pueda ser calculada a partir de los registros de horas de sol y ajustadas por altura. Esta ecuación ha sido comparada experimentalmente con ensayos de cultivo de pasto en lisímetros en dos localidades de la sierra: Huayao (Huancayo) y Weberbauer (Cajamarca), por el Ing. Abelardo de la Torre V. del Programa de Asistencia Técnica CID-ATA/CLASS del Plan Meris I, en 1978.

La fórmula de Hargreaves (Hargreaves y Samani, 1985) para evaluar la evapotranspiración de referencia necesita solamente datos de temperatura y de radiación solar. La expresión general es la siguiente:

$$ETo = 0.0135(t_{med} + 17.78)R_s \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde:

ETo = evapotranspiración de referencia diaria (mm.día^{-1})

t_{med} = temperatura media ($^{\circ}\text{C}$)

R_s = radiación solar incidente (mm.día^{-1})

La radiación solar incidente (R_s) se evalúa a partir de la radiación solar extraterrestre (que llega a la parte exterior de la atmósfera, que sería la que llegaría al suelo si no existiera atmósfera); ésta última aparece según los autores como R_0 o R_a y se obtienen a partir de tablas en función de la latitud del lugar y del mes.

Según Samani (2000) la radiación solar incidente (R_s) puede ser calculada mediante la siguiente fórmula:

$$R_s = R_0 * KT * (t_{m\acute{a}x} - t_{m\acute{i}n})^{0.5} \quad (\text{Ecuación 7})$$

Donde:

- R_s = radiación solar incidente (mm.día^{-1})
- R_0 = radiación solar extraterrestre ($\text{MJm}^{-2}\text{día}^{-1}$)
- KT = coeficiente
- $t_{m\acute{a}x}$ = temperatura diaria máxima ($^{\circ}\text{C}$)
- $t_{m\acute{i}n}$ = temperatura diaria mínima ($^{\circ}\text{C}$)

Puesto que los valores de R_0 están tabulados y las temperaturas máximas y mínimas son datos relativamente fáciles de obtener a partir de la estación meteorológica más cercana, la dificultad para aplicar esta sencilla expresión se encuentra en el coeficiente KT .

KT es un coeficiente empírico que se puede calcular a partir de datos de presión atmosférica, pero Hargreaves (citado en Samani, 2000) recomienda $KT = 0,162$ para regiones del interior y $KT = 0,19$, para regiones costeras.

b. Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar

Según Allen *et al.*, (2006) la evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (ET_c) se refiere a la evapotranspiración de cualquier cultivo cuando se encuentra exento de enfermedades, con buena fertilización y que se desarrolla en parcelas amplias, bajo óptimas condiciones de suelo y agua, alcanzando la máxima producción de acuerdo a las condiciones climáticas reinantes. Se puede estimar en base a la siguiente fórmula:

$$ET_c = ET_o \times K_c \quad (\text{Ecuación 8})$$

Donde:

ETc = Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

ETo = Evapotranspiración de referencia (mm/día)

Kc = Coeficiente del cultivo

La evapotranspiración del cultivo puede ser estimada a partir de datos climáticos e integrando directamente los factores de la resistencia del cultivo, albedo y resistencia del aire en el enfoque de Penman-Monteith. Debido a que todavía existe falta de información para los diferentes cultivos, el método de Penman-Monteith se utiliza solo para la estimación de la tasa de evapotranspiración del cultivo estándar de referencia (ETo).

2.6.2 Coeficiente del cultivo

La relación ETc/ETo, que puede ser determinada experimentalmente para diferentes cultivos, es conocida como coeficiente del cultivo (Kc) y se utiliza para relacionar ETc a ETo, de manera que $ETc = Kc \times ETo$.

Es un coeficiente único que depende de cada cultivo y que varía a lo largo de su ciclo agronómico según crece y se desarrolla. La variación también depende de la cobertura de la superficie de suelo por la vegetación. En consecuencia, se ha visto necesario realizar el cálculo de la variación de Kc a lo largo del ciclo agronómico de cada cultivo; sin embargo, aún existen cultivos que no tienen un Kc calculado (Olarte, 1987; Santos *et al.*, 2010).

Integra características del cultivo y los efectos de evapotranspiración en el suelo, considerando que no experimenta ninguna condición negativa. El valor del Kc es necesario para la planificación del riego, definición de calendarios de riego y la mayoría de los estudios de balance hídrico (Allen *et al.*, 2006).

2.6.3 Precipitación efectiva

El método FAO, según Brouwer y Heibloem (1986), es la fracción de precipitación total aprovechable por las plantas, que depende de factores como pendiente del terreno, intensidad de la precipitación, contenido de humedad actual del suelo, entre otros, su estimación para

pendientes mayores a cinco por ciento y climas secos se realiza mediante las siguientes ecuaciones:

$$Pe = Nula, Si Pp < 5 mm \quad (Ecuación 9)$$

$$Pe = 0,75x(Pp - 5 mm), Si Pp > 5 mm \quad (Ecuación 10)$$

Donde:

Pe = Precipitación efectiva (mm/mes)

Pp = Precipitación (mm/mes)

2.6.4 Frecuencia de riego

El intervalo de riego o frecuencia de riego se define como el número máximo de días transcurridos entre dos riegos consecutivos. En suelos de textura gruesa con alta permeabilidad y baja capacidad de retención se necesitan riegos más frecuentes para evitar la percolación del agua; en riego por goteo usualmente se realiza con una frecuencia alta, debido a la disponibilidad del agua y que no se quiere tener estresada a la planta.

Se calcula mediante la expresión:

$$Fr = \frac{La}{ETc} \quad (Ecuación 11)$$

Donde:

Fr = frecuencia de riego (días)

La = lámina de agua a restituir (mm)

ETc = evapotranspiración del cultivo en el periodo considerado (mm.día⁻¹)

2.7 EFICIENCIA DE RIEGO

Vásquez *et al.* (2017) indican que también es llamada eficiencia del proyecto o del campo de cultivo y se expresa usualmente en porcentaje. Sirve para responder preguntas, tales como

¿cuál es la demanda de agua del proyecto?, ¿qué cantidad de agua se aplicará en el riego?, ¿cuál será la frecuencia entre riegos?, etc. Está dada por la siguiente relación:

$$Er(\%) = Ec * Ed * Ea * 100 \quad (\text{Ecuación 12})$$

Donde:

- Er = eficiencia de riego (%)
- Ec = eficiencia de conducción (%)
- Ed = eficiencia de distribución (%)
- Ea = eficiencia de aplicación (%)

Los mismos autores mencionan que un sistema de riego está constituido, normalmente, por dos tipos de canales: de conducción (referidas al canal madre principal y a los canales laterales) y de distribución (aquellos de menor orden hasta el nivel parcelario mismo). En la Tabla 1 se presenta los rangos de eficiencias de riego por gravedad.

2.7.1 Eficiencia de conducción

La eficiencia de conducción permite evaluar el estado de operación y mantenimiento del canal principal desde la toma de agua hasta el final del canal de conducción. El PSI (2004), indica que es mayor cuanto mejor sea el estado del canal que conduce el agua, tomando medidas, tales como:

- Que de preferencia sea revestido, para evitar que haya pérdidas de infiltración.
- Que no existan roturas en ninguna parte del canal.
- Que no tenga mucho espejo de agua expuesto para evitar la evaporación.
- Que no existan hurtos de agua en el recorrido.
- Que se deriven los caudales mínimos recomendables técnicamente, para tener una velocidad aceptable y no producir sedimentación.

Vásquez *et al.* (2017) exponen que las eficiencias de conducción en canales varían de 0,60 a 0,80 y en tuberías de 0,90 a 0,95. Estos valores están sujetos a una buena administración del canal y diseños adecuados.

Tabla 1: Eficiencias de riego por gravedad

Textura del suelo y topografía	Sistema de riego		
	Melgas	Surco	Melgas en contorno
Arenoso			
Bien nivelado	40	40-50	40
Nivelación insuficiente	20-30	30	30
Quebrado o con pendiente	-	20-30	20
Media y profundo			
Bien nivelado	45-55	50-60	50-55
Nivelación insuficiente	35-45	30-50	30-40
Quebrado o con pendiente	-	20-30	20-30
Media y poco profundo			
Bien nivelado	60	50	45
Nivelación insuficiente	40-50	35	35
Quebrado o con pendiente	30	30	30
Pesado			
Bien nivelado	50-60	50-65	40-60
Nivelación insuficiente	40-50	45-55	30-45
Quebrado o con pendiente	20-40	25-45	20-30

FUENTE: Vásquez *et al.* (2017)

2.7.2 Eficiencia de distribución

Según Vásquez *et al.* (2017) la eficiencia de distribución está referida a los canales o tuberías de menor orden hasta nivel parcelario y su evaluación se realiza mediante la relación entre los volúmenes de agua entregados a nivel de cabecera de los campos de cultivo y los entregados a los canales de distribución.

Núñez (2015) afirma que la eficiencia de distribución mide la pérdida que se produce entre la toma lateral del canal principal hasta la entrega a las parcelas o chacras de los usuarios.

2.7.3 Eficiencia de aplicación

Según Vásquez *et al.* (2017) la eficiencia de aplicación es la que está directamente relacionada con los agricultores. Se define por la relación entre el volumen del agua retenida en la zona de raíces y que será utilizada para la evapotranspiración del cultivo (V_1), más el volumen de agua necesario para mantener un balance apropiado de sales en el perfil enraizado (V_2), y el volumen total de agua aplicado en el riego (V_o). Se utiliza V_2 , cuando se tiene agua o suelos con altos contenidos de sales, en caso contrario $V_2 = 0$. La Tabla 2 muestra los rangos de eficiencia de aplicación de los sistemas de riego convencionales.

La relación utilizada para la determinación de la eficiencia de aplicación es la siguiente:

$$E_a = \frac{V_1 + V_2}{V_o} \times 100 \quad (\text{Ecuación 13})$$

Donde:

E_a = eficiencia de aplicación (%)

V_1 = volumen de agua retenida en la zona de raíces

V_2 = volumen de agua aplicada para mantener un balance de sales apropiado en la zona de raíces

V_o = volumen total de agua aplicado en el riego

Tabla 2: Eficiencias de aplicación según tipo de riego

Método de riego	Rango de eficiencia de aplicación (%)
Superficial	
Tradicional o tendido	10-30
En curvas de nivel	
Bordes	40-80
Surcos	40-85
Presurizado	
Aspersión	50-90
Microjet	60-95
Goteo	65-95

FUENTE: Núñez (2015)

2.7.4 Uniformidad de distribución del agua

Según Fernández *et al.* (2010) cuando se aplica riego por gravedad es imposible que todos los puntos reciban la misma cantidad de agua, por lo tanto, nunca se alcanzará una uniformidad del cien por ciento, principalmente por la diferencia de tiempos de infiltración a lo largo de la parcela que provoca diversas infiltraciones, aunque la cantidad de agua aportada sea igual.

En el riego por surcos en particular, al aplicarse el agua desde un extremo de la parcela, se cubrirá con agua en distintos tiempos todo el largo del surco, lo que lleva a la conclusión que la cantidad de agua infiltrada es variable a lo largo del surco (Figura 3). En las zonas próximas a la cabecera del surco por lo general se infiltrará mayor cantidad de agua que en las zonas de la cola. En la Tabla 3 se muestra uniformidades aproximadas de acuerdo a la relación de avance, tiempo de riego entre tiempo de avance, de acuerdo al tipo de suelos donde se aplica el riego.

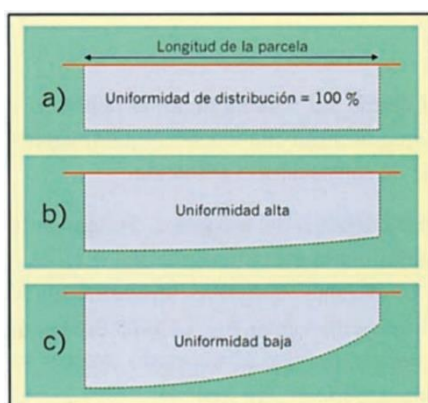


Figura 3: Esquema de uniformidad en riego por gravedad

FUENTE: Fernández *et al.* (2010)

Tabla 3: Uniformidad en riego por surcos

Uniformidad en Riego por Surcos (%)	Relación de avance			
	Mayor de 2		Menor de 2	
Suelos con velocidad de infiltración alta	Pendiente uniforme	Pendiente no uniforme	Pendiente uniforme	Pendiente no uniforme
Suelo homogéneo	80	70	60	60
Suelo algo heterogéneo	65	60	55	50
Suelo muy heterogéneo	45	45	45	45

FUENTE: Adaptado de Fernández *et al.* (2010)

2.8 AIRE EN TUBERÍAS

Gilles (2005) expone que el aire en las tuberías aparece y está presente, principalmente, como bolsones grandes y estacionarios o como burbujas grandes o pequeñas móviles.

Cuando el aire se junta en diferentes partes de la tubería genera una obstrucción; al punto que el agua no fluya en absoluto o puede circular escurriéndose por debajo de los bolsones de aire. Cuando el agua fluye por la tubería a una velocidad suficientemente alta, los bolsones de aire no pueden permanecer estacionario y son empujados junto con el agua. En ese caso la presencia del aire en la tubería no afecta la salida de agua, sin embargo, también existe la posibilidad ante caudales bajos en la conducción de que las bolsas de aire se mantengan atrapadas en las tuberías.

También, indica que, usualmente, este problema se presenta al llenar por primera vez la línea de conducción de un sistema de distribución de agua por gravedad recién construido, ya que estará al menos parcialmente llena de aire.

En la Figura 4 se aprecia el fenómeno de llenado, el perfil tiene un punto máximo local (punto B) entre el manantial S y el tanque T, a medida que el agua comienza a fluir de S, el agua se acumulará en el punto bajo de A y posteriormente llenará la tubería a los lados de A.

El aire será expulsado progresivamente de esta sección de la tubería mientras esta se llena, hasta que no quede más aire entre A y B y el agua llegue al nivel de la parte inferior de la tubería en el punto B. La sección BC' continuará llena de aire y el agua comenzará a escurrir lentamente por debajo del aire, un pequeño caudal no será capaz de expulsar totalmente este aire. El flujo del agua terminará llenando el fondo de la tubería en C', ocurriendo así el aislamiento del aire en la tubería.

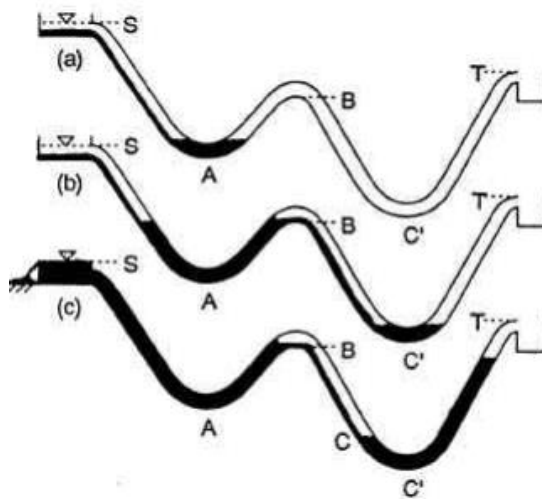


Figura 4: Bolsones de aire estacionarios

FUENTE: Gilles (2005)

Gandarillas (2011) señala que muchas veces las conducciones deben salvar desniveles importantes del terreno teniendo un perfil muy irregular, lo cual facilita la concentración de bolsas de aire en los puntos altos de las mismas. Así mismo, el posterior arranque una vez que la instalación haya permanecido fuera de servicio, trae consigo la presencia de aire atrapado en las tuberías.

Asimismo, indica que el agua contiene aire disuelto en condiciones normales (el nivel de saturación del aire disuelto en el agua es aproximadamente de un dos por ciento, a presión atmosférica). En los sistemas de distribución y conducción de agua, la cantidad de aire disuelto puede superar el valor de saturación de la disolución a dicha presión y temperaturas o sujetos a variaciones térmicas importantes. Además, el aire puede entrar en la conducción en el transcurso de su funcionamiento normal debido a eventuales vórtices en la aspiración de bombas, operación de ventosas admitiendo aire, roturas de las tuberías o pequeñas fisuras en zonas de presión negativa.

También, afirma que en una instalación o red hidráulica pueden darse problemas tales como roturas repetitivas de tuberías, consumo excesivo del grupo de bombeo, caudales anormalmente bajos, desgaste y cavitación destructiva de los materiales, etc., a los cuales muchas veces no se puede dar una explicación lógica y razonable.

El factor más importante es recordar que dentro de una red hidráulica, además del agua se puede encontrar aire formando bolsas o burbujas, y su presencia puede afectar de forma importante el comportamiento de la instalación. Los problemas más habituales pueden ser:

- Reducción de la sección transversal efectiva de la tubería, que implica una disminución de la capacidad de transporte.
- Las propiedades del fluido cambian al estar constituido por una mezcla de aire y agua, la densidad del fluido disminuye mientras su elasticidad aumenta.
- Cambia la estructura de la turbulencia del flujo y modifica la fricción con la pared de la tubería.
- Las burbujas de aire se desplazan debido a su flotación lo cual puede modificar el campo de velocidades del flujo.
- La acumulación de aire puede causar vibraciones y daños estructurales.
- Las burbujas de aire pueden quedar atrapadas en los filtros de arena reduciendo su eficiencia.
- La presencia de aire puede reducir la eficiencia de bombas y turbinas. La reducción del rendimiento de la instalación como consecuencia del aire atrapado además de incrementar las pérdidas de carga aumenta los ciclos de bombeo y por tanto el consumo de energía.
- Algunos estudios realizados apuntan que en redes de distribución de agua el aire atrapado puede reducir la eficiencia de la tubería hasta incluso un 30 por ciento y que la mayoría de los sistemas de distribución de agua funcionan con bolsas de aire que ocupan el 15 y 20 por ciento del volumen total de la instalación.
- El aire puede producir errores en dispositivos de lectura o de medición tales como contadores de agua y caudalímetros.

2.8.1 Dispositivos existentes para solucionar el problema de aire atrapado

Gandarillas (2011) expone que una de las soluciones, mayormente usadas para el problema de las sobrepresiones producidas en las conducciones a presión, como consecuencia del aire atrapado, es la instalación de válvulas de aire o ventosas en aquellos puntos estratégicos de la instalación. Así mismo, son una solución fiable para evitar las presiones subatmosféricas que se producen en las operaciones de vaciados intencionados o accidentales, o los fenómenos de cavitación que suelen suceder en los puntos altos de las conducciones.

Las ventosas son los dispositivos básicos para realizar el control de la presencia de aire en las conducciones. Existen dos tipos de válvulas: las de efecto automático o de funcionamiento a alta presión y las de efecto cinético o de funcionamiento a baja presión. Según esta tipología, las válvulas de aire pueden clasificarse en tres tipos fundamentales:

- Ventosas automáticas, también denominados purgadores.
- Ventosas bifuncionales, también llamadas de “gran orificio” o “de aire y vacío”.
- Ventosas de doble efecto o trifuncionales.

a. Ventosas automáticas

Son sistemas hidromecánicos que evacuan, de forma automática, pequeñas bolsas de aire que se acumulan en los puntos elevados de una tubería cuando esta se encuentra en operación y, por lo tanto, presurizada. Se caracterizan por tener un orificio de paso de aire pequeño (generalmente hasta 25 mm de diámetro). Dependiendo del tamaño del orificio, la capacidad de purga variará. Por lo general, un mayor orificio significa una capacidad de purga de aire mayor, pero también implica presiones de trabajo menores.

Son útiles para sacar pequeñas cantidades de aire de la tubería generadas principalmente por causas propias del fluido, aun existiendo presión en el sistema. Se fundamentan en una boya o flotador que es empujado por el agua de la tubería que llega a la válvula. Durante la operación normal del sistema, pequeñas cantidades de aire entran y se acumulan en la válvula. Cada partícula de aire que llega desplaza un volumen igual de agua de la válvula, lo cual hace descender el flotador de acuerdo al nivel de líquido (Figura 5).



Figura 5: Modelos de ventosas automáticas

FUENTE: Gandarillas (2011)

Cuando todo el aire ha sido expulsado, el agua ocupa su lugar y hace ascender de nuevo el flotador, cerrando así el orificio evitando la salida de agua. Este ciclo se repite de forma automática las veces que sea necesario a medida que el aire se va acumulando en la válvula.

Las ventosas automáticas, debido a que su orificio es de pequeño diámetro, no están normalmente recomendadas para la protección del vacío (colapso de la tubería) o para eliminar grandes volúmenes de aire en el caso de llenado de tuberías de gran diámetro.

b. Ventosas bifuncionales

Los procesos de llenado y vaciado de tuberías, son dos de las operaciones más críticas en toda instalación, que se realizan con las llamadas ventosas bifuncionales (Figura 6), o de “gran orificio”, de “baja presión” o de “aire y vacío”.

Durante el proceso de llenado, el aire que ocupa las tuberías deber ser evacuado a medida que el agua va entrando. Esto debe realizarse de manera contralada y eficaz para evitar

sobrepresiones y golpes de ariete, de forma que el agua pueda llenar completamente la conducción sin dejar aire atrapado.

Durante el proceso de vaciado de tubería se debe permitir la entrada de aire para llenar el vacío dejado por el agua y evitar la formación de depresiones que podrían producir el colapso de la tubería. La entrada de aire es esencial para poder drenar la tubería de forma efectiva y evitar la separación de la columna líquida, la cual puede ser tan dañina como la sobrepresión.



Figura 6: Modelos de ventosas bifuncionales

FUENTE: Gandarillas (2011)

Las ventosas bifuncionales operan únicamente cuando no existe presión dentro de la tubería. Se caracterizan por tener un orificio de paso de aire grande. El diámetro del orificio es esencial para determinar la capacidad de evacuación y admisión de aire. Se fundamentan en una boya o flotador que es empujado por el agua de la tubería. Cuando no llega agua a la válvula, el flotador desciende y abre el orificio permitiendo la entrada o salida de aire. Cuando llega el agua a la válvula esta hace ascender el flotador cerrando el orificio de salida de aire impidiendo la salida de agua.

c. Ventosas de doble efecto o trifuncionales

Las ventosas trifuncionales combinan las funciones de las dos válvulas, anteriormente presentadas. Poseen dos orificios uno para la evacuación y la admisión del aire en llenados y vaciados de la tubería y otro para la función de purga automática. Lo más habitual es encontrarse con ventosas trifuncionales que incluyen dos cuerpos diferenciados, uno para

cada función, aunque existen diseños que integran ambas funcionalidades en un único cuerpo y un único flotador (Figura 7).

Durante el llenado de las tuberías el agua va empujando el aire, el cual va siendo evacuado a la atmósfera a través del orificio más grande de la ventosa. El pequeño orificio de efecto automático permanece abierto durante este proceso.



Figura 7: Modelos de ventosas trifuncionales

FUENTE: Gandarillas (2011)

Cuando la tubería se llena completamente, los dos orificios se cierran por la acción del agua sobre los flotadores. Una vez presurizada la tubería, el aire que va acumulándose en la válvula va siendo evacuado a través del pequeño orificio de efecto automático. La válvula de aire y vacío permanece completamente cerrada y no se abre de nuevo hasta que el sistema esté siendo drenado o aparezca una presión negativa, repitiéndose este ciclo cuantas veces sea necesario.

2.8.2 Colocación y dimensionamiento de las ventosas

Monge (2017) indica que las ventosas se localizarán según el perfil longitudinal que presente la instalación, según los fenómenos expuestos que ocurren dentro de la tubería y los usos, ya mencionados, de cada tipo de válvula.

El mismo autor menciona algunas recomendaciones sobre donde ubicar las ventosas:

- Puntos en que la línea de corriente varía respecto a la línea piezométrica (tanto

incrementando como disminuyendo la pendiente): válvulas trifuncionales.

- Puntos elevados de la tubería (arqueta-válvula): válvulas trifuncionales.
- Ramales largos de pendiente uniforme: válvulas trifuncionales cada 500 a 1000 m.
- Salida de los grupos de bombeo: efecto cinético (gran orificio) en un punto alto antes de la válvula de retención.
- A la entrada de instrumentos de medición (contadores): válvulas trifuncionales.
- A la salida de válvulas reductoras de presión: válvulas automáticas.
- Reducciones de diámetro de la tubería: válvulas automáticas.
- Cabezales de filtración: válvulas trifuncionales en un punto alto.

2.9 CULTIVO DE TARA

2.9.1 Generalidades

La tara es un árbol rústico y perenne cuyo fruto procesado tiene un alto valor en el mercado global. Es un cultivo autóctono de Sudamérica, que se desarrolla en zonas áridas que abarca desde el norte de Chile hasta Venezuela y es cultivado en ciertas áreas de Asia y África. Históricamente, el fruto de la tara ha sido recolectado de árboles que crecen de forma natural y vendidos a acopiadores o procesadores. No obstante, en años recientes se ha desarrollado una gran cantidad de investigaciones con respecto a los subproductos de este árbol, aumentando así su demanda mundial y contribuyendo al surgimiento de productores comerciales en todo el Perú (Villanueva, 2007).

Barriga (2008), citado por Mancero (2009), indica que, una de sus ventajas es adaptarse a una variedad de climas y suelos; es rústica, exige poco en cuanto a calidad de suelos; se desarrolla en suelos superficiales, ácidos y hasta de baja fertilidad; y es de uso múltiple, se

aprovecha su fruto (vaina y semillas), es fijadora de nitrógeno y buena productora de polen y néctar; se puede usar en sistemas agroforestales (asociada con otros cultivos).

Su taxonomía es:

Nombre común: tara, taro o taya

Nombre científico: *Caesalpinia spinosa*

Autority: (Molina) Kuntze

Familia: Caesalpinioideae

2.9.2 Importancia mundial y económica

Villanueva (2007) expone que el tema de responsabilidad social en las empresas es un aspecto destacado, debido a que el concepto de su riqueza no está ligada solo al capital económico, sino también, al capital humano, social y ambiental. En consecuencia, las empresas mineras en el Perú han comenzado a trabajar con este cultivo en el ámbito de responsabilidad social.

La tara, por ser un cultivo nativo y altamente resistente a la sequía y plagas, permite una protección y conservación de los suelos andinos. Además, puede ser generadora de un nuevo ingreso económico para los agricultores. Se debe tener en cuenta que el cultivo está teniendo una fuerte participación en programas de responsabilidad social y ambiental, lo que genera una mejor calidad de vida y ambiente del poblador, incentivando a los agricultores a insertarse en un cultivo de agro exportación.

Por ser uno de los cultivos de mayor uso en la industria mundial, la promoción en la investigación y desarrollo agrícola en el país es muy importante, debido a que si se cumplen los estándares de calidad nacional e internacional resulta una buena alternativa de inversión debido a la insatisfecha demanda mundial.

Mancero (2009) menciona que la tara tiene un gran potencial por la utilización de sus derivados en la industria mundial, pues las características de su vaina y semilla la convierten en materia prima de excelente calidad para diferentes usos.

En cuanto a rendimientos en la etapa industrial, por cada 100 kg de vaina cosechada de tara se obtienen entre 60 y 64 por ciento de polvo de tara, entre 34 y 38 por ciento de semilla y 2 por ciento de desecho. Del polvo de tara se obtiene entre 45 y 50 por ciento de extracto tánico y de la semilla se obtiene aproximadamente 24 por ciento de goma de tara.

El mismo autor indica que los subproductos de la tara son la vaina y la semilla, a partir de los cuales, por medio de procesos industriales, se obtienen otros subproductos. A nivel internacional, los principales mercados son las industrias de curtiembre y alimenticia, por lo cual los dos subproductos más importantes son (Tabla 4):

- El polvo de tara, se utiliza en la industria de la curtiembre. La ventaja del tanino de la tara en polvo es que carece, prácticamente, de sustancia colorante, por lo que, combinado con la piel, produce un cuero muy claro, suave al tacto y dedicado, principalmente, a la industria de cueros de lujo. Se obtiene de la molienda del fruto del árbol mediante un proceso mecánico simple de trituración de la vaina después de ser despepitada; consiguiendo un aserrín amarillento que contiene entre 45 a 50 por ciento de tanino. Los productos que se obtienen son: tara en polvo grueso, que solo requiere de un despepitador con una criba de agujeros de 2 mm de diámetro; y, tara en polvo fino (100 a 200 mesh).
- La goma de tara, como producto natural, al ser un ingrediente útil en la industria alimenticia como agente espesante y estabilizador en la preparación de helados, sopas en polvo y líquidas, mostazas, salsas, entre otros. Sus principales propiedades son como espesante, gelificante, estabilizante, termoestable, estable a un pH mayor a 3,5; agente de retención de agua, soluble en frío; no modifica sabores.

Tabla 4: Subproductos de la vaina de tara y sus usos

Subproductos		Usos
Vaina (60-64%)	Tara en polvo fino (5%)	Tara en polvo Taninos finos
	Tara en polvo grueso (95%)	Extracto tánico
		Curtido de cueros finos
		Industria cervecera: aditivo de coloración
		Industria de colorantes: preparación
		Industria alimenticia: antioxidante
		Industria fotográfica: agente de revelado
Semilla (34-38 %)	Endospermo (24%)	Goma de tara (85%) (hidrocoloides)
		Espesante de soluciones: alimentos lácteos, confitería, cereales. Panadería, carne, bebidas, aderezos y salsas, productos farmacéuticos y cosméticos
	Germen limpio (4%)	Fuente alimenticia proteica
	Germen con cascarilla (24%)	Costo alternativo Soya
	Cáscara (44%)	Alimento animal
Desecho (2%)		Poder de combustión de 3700 kcal/kg
		Poder de combustión

FUENTE: Adaptado de Flores *et al.* (2005), citado por Goycochea (2010)

2.9.3 Aspectos agroclimáticos

Villanueva (2007) señala que la tara se desarrolla en climas subtropicales y semitropicales, entre los cuales Perú tiene las mayores áreas productivas. Sin embargo, este cultivo ya se encuentra en otros lugares del mundo tales como Italia, Sudáfrica, Kenia, Marruecos, Argelia y China, por la importancia industrial que tienen sus subproductos.

En el Perú se viene cultivando en la costa, sierra y selva alta; habiéndose producido un gran crecimiento en las laderas y valles interandinos de la vertiente del Pacífico, entre 800 y 2000 m.s.n.m. y en los valles de la vertiente del Atlántico, entre 1800 y 2000 m.s.n.m.

De la Cruz (2004), citado por Goycochea (2010), señala que la tara es una especie poco exigente en calidad de suelo, crece en suelos pedregosos y degradados, con baja producción; a pesar de ello, las condiciones óptimas para un desarrollo robusto de la planta son en los suelos de cultivo, es decir, suelos franco y franco arenosos.

Villanueva (2007) indica algunas condiciones para el buen desarrollo de este cultivo:

- **Altitud:** se trata de un cultivo con un espectro de altitud muy grande, que va desde el nivel del mar hasta 2800 m.s.n.m. Existen casos de plantaciones en zonas de mayor altitud, sin embargo, la mayor eficiencia productiva se produce entre 800 a 2600 m.s.n.m.
- **Temperatura:** es un aspecto fundamental que debe ser considerado antes de la instalación de una plantación de tara. Este cultivo se desarrolla en el rango de 12 a 28 °C; sin embargo, en valles interandinos no se ha visto afectado en un rango de 16 a 24 °C. Cabe destacar, que es un cultivo bastante tolerante a un amplio rango de temperaturas; sin embargo, el rendimiento y calidad se verá afectado por temperaturas extremas.
- **Luz o radiación solar:** la intensidad, calidad, duración e interceptación de la luz son parámetros muy influyentes en el crecimiento y productividad de los árboles de tara.

Esta característica se relaciona a la eficiencia fotosintética de la planta, factor importante en el rendimiento de las vainas y el contenido de taninos.

- **Humedad relativa:** es un cultivo que puede desarrollarse en un amplio rango de humedad, sin embargo, el cultivo responde de buena manera a una humedad de 60 a 80 por ciento. Si se desarrolla en rangos superiores, debe tenerse especial cuidado con enfermedades relacionadas a hongos y líquenes en la corteza de los árboles.
- **Suelo:** por ser un cultivo rústico, tiene la capacidad de desarrollarse en una gran variedad de suelos; sin embargo, se han reportado los mayores rendimientos en suelos de textura franca, franco arcillosa y franco arenosa. El rango de pH óptimo para establecer campos de cultivo de tara es de 7 a 9, pero el árbol puede soportar un rango de pH de 5 a 12.
- **Viento:** es un factor mecánico que influye directamente en el desarrollo de la copa del árbol e indirectamente afecta la captación de la radiación solar. Por lo que es recomendable la utilización de cortinas rompe viento para minimizar la acción negativa del viento.

2.9.4 Etapas fenológicas del cultivo

Mitma (2015) señala que la tara tiene cuatro fases durante el ciclo productivo:

- **Fase inicial:** empieza el desarrollo de la vaina vegetativa, yema floral, racimo floral hasta la formación de racimos en apertura floral, con una duración de alrededor de 45 días.
- **Fase de desarrollo del cultivo:** empieza el desarrollo del racimo floral, hasta la formación de racimos en apertura floral, con una duración de alrededor de 28 días (Figura 8).
- **Fase de mediados del periodo:** en esta etapa sucede el crecimiento y llenado de vainas, con una duración de alrededor de 65 días.

- Fase final del ciclo: finalmente se tiene las vainas llenas y se produce la madurez fisiológica y la madurez de cosecha, con una duración de alrededor de 33 días.

2.9.5 Riego

La Tara es un árbol de climas áridos por excelencia y soporta fuertes sequías, no obstante, para la producción con un buen rendimiento, necesita de riegos abundantes y distanciados. Puede tener un rango de requerimiento hídrico que varía de 200 a 1400 mm por campaña, los cuales proporcionan resultados de producción diferentes; requerimientos hídricos inferiores solo para subsistencia del cultivo y entre rangos medios y altos para producción.

Villanueva (2007) indica que existen algunos aspectos en el manejo del agua para la tara que tienen que ser incorporados en una plantación, para tener un mejor rendimiento.

- Efecto del suministro de agua en la distribución de la raíz: el sistema de riego por gravedad se adapta muy bien para este cultivo, debido a la naturaleza pivotante de su raíz, que se puede desarrollar de 2 a 4 m de profundidad (bajo un sistema de riego por gravedad) y, aproximadamente, hasta los 60 cm, con riego por goteo.
- Efecto de suministro de agua en el tamaño del fruto: requiere de riegos constantes para su acondicionamiento en un terreno definitivo y luego para una buena producción de frutos. En condiciones de riego se puede diferenciar cuatro etapas fenológicas en la planta: racimo floral, frutos en formación, frutos verdes formados y frutos maduros.

La diferencia en las etapas fenológicas se ven favorecidas con un riego eficiente que cubra sus necesidades hídricas, por el contrario, el deficiente riego o la carencia de agua retrasa los procesos fisiológicos. La etapa crítica donde a la planta no le debe faltar agua es desde el inicio de la floración hasta el llenado de vaina (Marquina, 2013).

Con relación al riego, la Asociación Tecnológica y Desarrollo (1994), citado por Villanueva (2007), señala que la especie necesita de riegos constantes (permanentes) para su establecimiento y producción. En trabajos experimentales en campo, observaron que plantaciones con riegos regulares cada 10 días, producen casi todo el año.



Figura 8: Árbol de tara en fase de desarrollo del cultivo

Barriga (2008), citado por Goycochea (2010), menciona que para el cultivo se hace necesario manejar de forma adecuada el agua, cuyo requerimiento está entre 5000 a 6000 m³/ha/año. De igual forma, Mancero (2009) menciona que los requerimientos de agua en un sistema de producción intensivo de monocultivo, son diferentes según las características de suelo, drenaje, clima, viento, entre otros, pero en promedio, varían de 4000 a 6000 m³/ha/año, lo cual puede ser compensado en parte por la lluvia de cada zona (Tabla 5).

Tabla 5: Condiciones de requerimiento hídrico favorables para el cultivo

	Distribución natural			Plantaciones
	Bolivia	Ecuador	Perú	Perú
Altitud (m.s.n.m.)	1200 - 3000	1400 - 2800	500 - 3200	50 - 2800
Precipitación promedio (mm)	200 - 700	400 - 1000	250 - 1100	Disponibilidad de agua en plantación 5000-6000 m ³ /ha/año, al secano y bajo riego por gravedad, microtubo, goteo. Requiere

buen drenaje, no resiste inundaciones periódicas.

FUENTE: Adaptado de Mancero (2009)

REDFOR (1996), citado por Goycochea (2010), señala que el desarrollo óptimo del cultivo requiere de lugares con precipitación de 400 a 600 mm, pero también se encuentran en zonas que presentan desde 200 a 750 mm de promedio anual.

Córdova (2009)¹, especialista en el manejo de tara, señala que, para casos de una plantación intensiva, tipo frutales, el requerimiento del cultivo va de 800-1200 mm por campaña, datos de operación de fundo Corban en Ica, para obtener un óptimo crecimiento y rendimiento del cultivo.

Así mismo, Young (Comunicación personal, 28 de diciembre de 2017), señala que en el fundo El Recuerdo, ubicado en Ica, la tara se viene regando con 14 000 m³/ha/año, con un marco de plantación de 4,5 m x 2,5 m.

2.9.6 Coeficiente de cultivo (Kc)

Se cuenta con pocos estudios sobre el coeficiente de cultivo para la tara, sin embargo, Mitma (2015) expone coeficientes de cultivo para diferentes frecuencias de riego de 10, 20 y 30 días, en una zona de estudio con un marco de plantación de 4 m x 4 m, en la localidad de Pacaycasa – Ayacucho, se seleccionó los coeficientes estimados con la frecuencia de riego de 20 días debido a que son los que se ajustan más a las condiciones óptimas para el cultivo, siendo para la etapa inicial del cultivo (Kc ini), 0,55; para la etapa de mediados y desarrollo del cultivo (Kc med), 0,68; y, para la etapa final (Kc fin), 0,65; para una campaña de 171 días, teniendo un requerimiento hídrico de cultivo de 492,16 mm/campaña (Tabla 6). En la Figura 9 se puede observar las etapas fenológicas y su correspondiente Kc, donde destaca la

¹ Fuente derivada de intranet (No accesible públicamente) de Corban Inc. Proyecto de factibilidad y requerimiento hídrico del cultivo de Tara en Ica. Lima, Perú.

etapa de mediados del cultivo con los valores más elevados debido a que es una fase crítica donde sucede el crecimiento y el llenado de vainas.

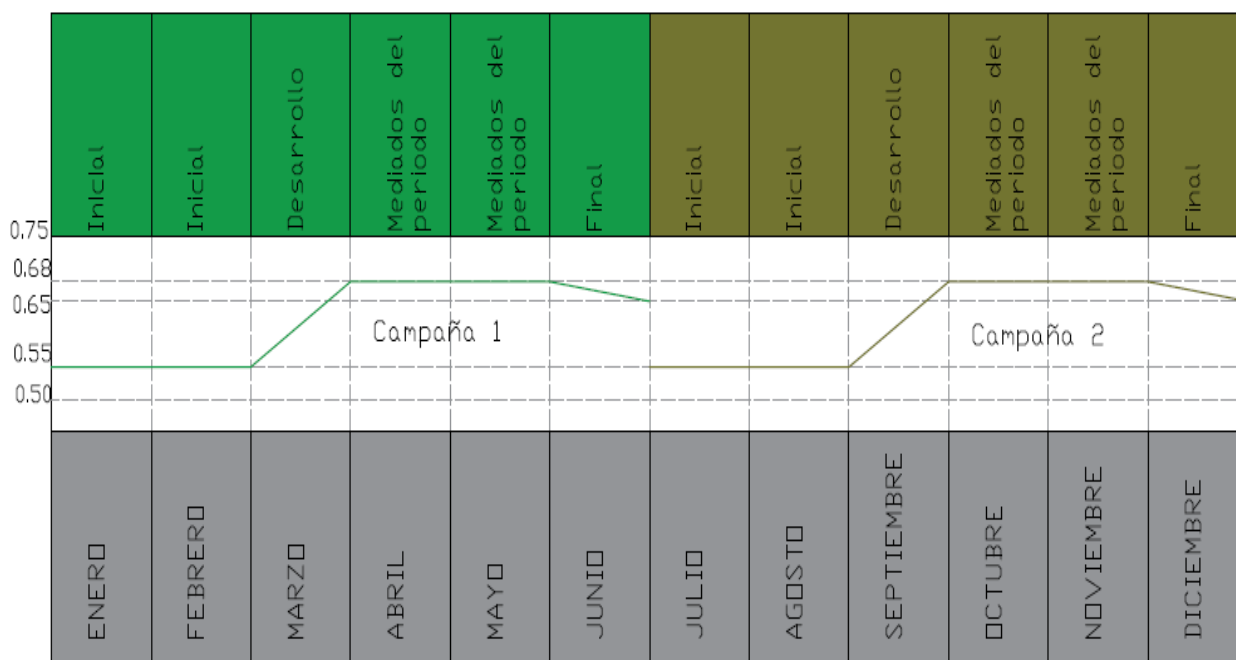


Figura 9: Kc estimado para los diferentes meses del año

FUENTE: Elaboración propia con datos de Mitma (2015)

Tabla 6: Coeficientes de cultivo estimados a ser utilizados para la tara

Cultivo	Kc ini	Kc med	Kc fin
Tara a 2760 m.s.n.m.	0,55	0,68	0,65

FUENTE: Elaboración propia con datos de Mitma (2015)

2.9.7 Zonas productoras en el Perú

Villanueva (2007) indica que las zonas de mayor producción se encuentran ubicadas en la sierra del Perú, destacando las regiones de Cajamarca, La Libertad, Lambayeque, Ayacucho y Huánuco, con 40, 30, 22,8 y 5 por ciento, de la producción nacional, respectivamente (Tabla 7).

Flores *et al.* (2005), citado por Goycochea (2010), mencionan las cinco zonas de vida según Holdridge en las que habita la tara (Tabla 8).

Barriga (1994), citado por Goycochea (2010), señala que la producción de los frutos de tara se inicia desde el tercer año; sin embargo, existen plantas que a partir del segundo año presentan una pequeña producción de 20 gr de fruto/planta.

Tabla 7: Zonas de producción de tara en el Perú

Región	Producción (Tn)	Porcentaje (%)
Cajamarca	4353,58	40
La Libertad	2503,30	30
Lambayeque	2394,46	22
Ayacucho	870,71	8
Huánuco	544,19	5
Otros	217,67	2

FUENTE: Villanueva (2007)

Villanueva (2007) indica que en el Perú la cosecha de tara se registra durante todo el año y varía según la zona donde se cultiva (Tabla 9).

En una plantación comercial se cosecha tres veces al año, con rendimientos máximos de 46 kg/planta-campaña, de setiembre a noviembre. La cosecha, usualmente, se realiza cuando el color de las vainas cambia hacia un tono rojizo, además de presentar un crujido característico que se observa al romperse con la mano, usualmente, se realiza de forma manual, recubriendo la superficie del árbol para reducir la probable contaminación de la vaina con el contacto de agentes patógenos.

REDFOR (1996), citado por Goycochea (2010), expone que la producción de frutos de tara aumenta mientras avanzan los años, aproximadamente a los 8 años con 10 kg/planta/año. Sin embargo, la producción entre árboles es variable y oscila entre 25 a 100 kg/planta/año, en dos cosechas de 4 meses cada una, que varían de acuerdo a la zona.

Tabla 8: Zonas de vida de la tara, según el diagrama de Holdridge

Zonas de vida (Holdridge)	Símbolo	Precipitación (mm)	Bio – Temp. (°C)
Estepa espinosa-Montano Bajo Tropical	cc-MBT	250-500	12-18
Bosque seco - Montano Bajo Tropical	bs-MBT	500-700	12-18
Matorral desértico - Montano Bajo Tropical	md-MBT	200-250	13-18
Monte espinoso - Premontano Tropical	me-PT	350-500	18-20
Matorral desértico - Montano Tropical	md-MT	200-250	18-21

FUENTE: Flores *et al.* (2005), citado por Goycochea (2010)

Tabla 9: Secuencia fenológica de la floración y fructificación en el Perú

Región	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Huánuco	flor	flor	flor	frut	frut	frut	frut	frut	frut	frut	frut	flor
Ayacucho	flor	flor	flor	flor	frut	frut	frut	frut				flor
Junín	flor	flor	flor	flor		frut	frut	frut				flor
Cuzco	flor	flor	flor			frut	frut	frut				flor
Cajamarca				frut	frut	frut			flor	flor	frut	
Ica				frut	frut						frut	frut
Nazca			frut	frut						frut	frut	
Lima												
Cañete					flor	flor					frut	frut
Huaral					flor	flor					frut	frut
Arequipa	frut	frut						flor	flor			
Piura												
Silvestre	flor	flor	flor	flor			frut	frut	frut	frut	flor	flor

FUENTE: Villanueva (2007)

2.9.8 Sistemas de producción del cultivo

Mancero (2009) menciona cuatro sistemas de producción de este cultivo:

a. Manejo y cosecha en bosques naturales y en árboles existentes en el campo

Este sistema, después de haberse verificado el estado del bosque, incluye el conjunto de labores planificadas y continuas necesarias para tener una planta en buen estado y sanidad adecuada con el fin de incrementar la producción.

b. Producción en el marco de sistemas agroforestales de uso múltiple

Son plantaciones dentro de un sistema productivo, pudiéndose establecer plantaciones de tara en asociación con cultivos como maíz, papa, habas, sorgo o pastos. No ejerce mucha competencia con los cultivos por su raíz pivotante y profunda y es, además, una especie fijadora de nitrógeno; su copa, al no ser muy densa deja pasar la luz. Debido a su pequeño porte, es preferida para barreras vivas, control de cárcavas, cortinas rompe vientos y otras prácticas vinculadas a la conservación de suelos, sobre todo en zonas áridas o semiáridas.

c. Producción en sistemas intensivos de monocultivo tipo fruticultura

Plantaciones intensivas establecidas con fines industriales. En este caso, se recomienda que la plantación sea realizada en terreno bajo riego y/o con un riego eventual, para que la tara alcance su desarrollo en menor tiempo y comience la producción de manera óptima.

Los terrenos para la plantación deben estar por debajo de los 2800 m.s.n.m. y deben ser ligeramente profundos, con buen drenaje y de reacción ligeramente ácida, como la mayoría de los suelos de la sierra. Deben tener riego para obtener la rentabilidad adecuada para el agricultor. Cuando se trabaja en zonas semiáridas, es conveniente instalar la plantación con técnicas de conservación del suelo y agua, para lo cual se recomienda hacer acequias o zanjas de infiltración de 30 cm x 40 cm, transversales a la pendiente de la ladera, para lo cual se puede usar el nivel A.

d. Producción para recuperación de zonas degradadas

La tara puede ser utilizada en la protección de suelos, especialmente cuando no se dispone de agua de riego, a fin de proteger muchas tierras que hoy están en proceso de erosión y darles una alternativa económica.

III. METODOLOGÍA

3.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO

3.1.1 Ubicación y acceso

El presente estudio se desarrolló en el fundo Tanón, en una plantación existente de tara de 7 ha (ver Figura 10), ubicado sobre la margen derecha del río San Miguel, a 80 km de la ciudad de Cajamarca, en el caserío Tanón, distrito y provincia San Miguel, región Cajamarca.

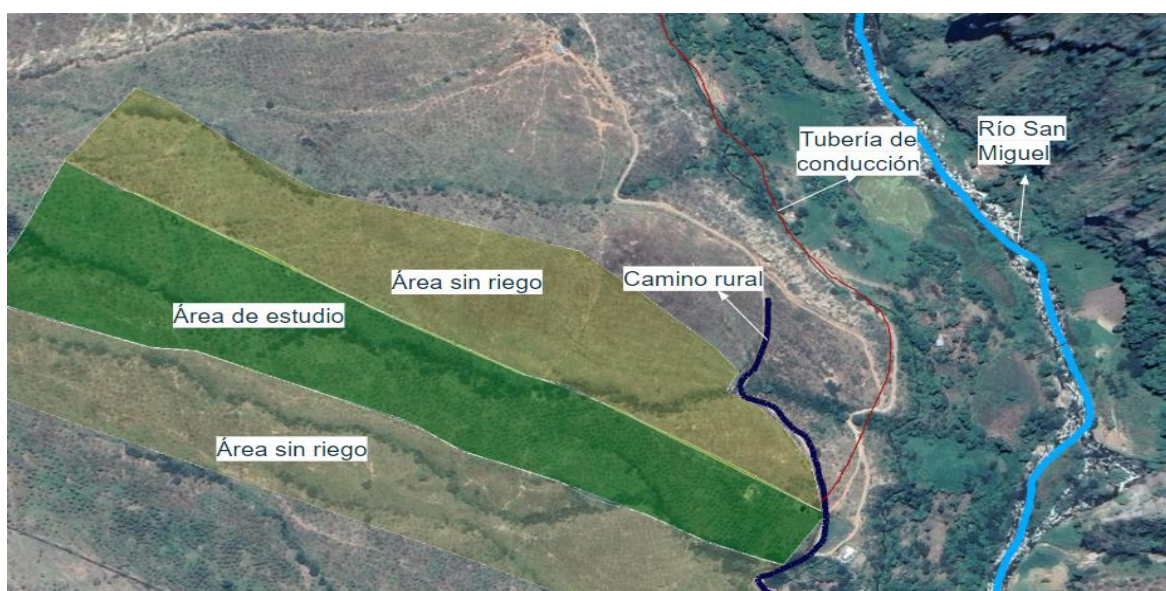


Figura 10: Esquema de ubicación del área de estudio

FUENTE: Elaboración propia con imagen satelital de Google Earth

Hidrográficamente, el área de estudio se encuentra dentro de la cuenca Jequetepeque, subcuenca San Miguel (Figura 11).

El acceso principal al área de estudio es por medio de la carretera de Lima hacia Cajamarca, hasta el pueblo de Lllallán (a 10 min de Chilete), con un viaje en camioneta por 10 horas, desde este punto se puede acceder hasta el lugar denominado Las Paltas, a 30 minutos de viaje en camioneta o motocicleta. Después, usualmente, se continúa 30 minutos con motocicleta por un camino rural hasta llegar al caserío Pampa Tanón. También, se puede acceder con vehículos particulares por la ruta Chilete-San Miguel-Pampa Tanón, en 5 horas.

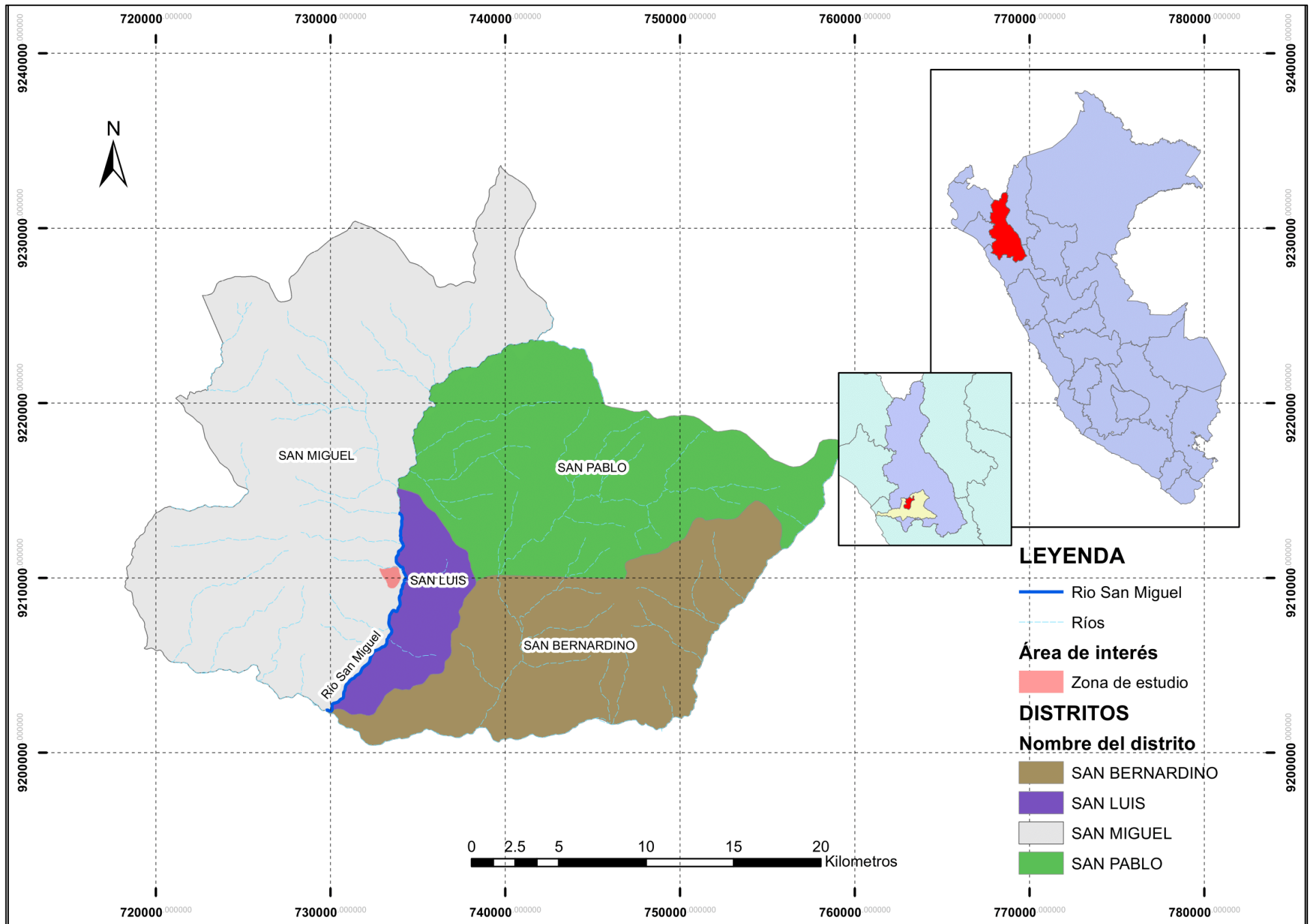


Figura 11: Mapa de ubicación

3.1.2 Climatología

El clima es templado y seco, con un invierno frío y verano lluvioso, de enero a marzo. Además, por encontrarse en plena ladera, tiene intensa neblina, de octubre a mayo.

La información utilizada para el estudio es una serie de cinco años, del 2012 al 2017, obtenida de la Estación Meteorológica Convencional San Miguel, que se ubica en el distrito y provincia San Miguel, región de Cajamarca; geográficamente, en 6°59'51" Latitud Sur y 78°51'11" Longitud Oeste, a una altitud de 2560 m.s.n.m. Así mismo, se utilizó una serie de datos de precipitación obtenida de la Estación Meteorológica Convencional Las Paltas, debido a que se encuentra a una altitud similar a la zona en estudio, ubicada en el distrito San Luis, provincia San Pablo, región Cajamarca; geográficamente, en 7°11'28" Latitud Sur y 78°54'4" Longitud Oeste; a una altitud de 750 m.s.n.m. La Figura 12 muestra la ubicación de las dos estaciones con respecto al área de estudio.

Los valores meteorológicos promedios mensuales se presentan en las Tablas 10 y 11.

a. Temperatura

Presenta una fluctuación media mensual muy baja, siendo ligeramente uniforme a lo largo del año, obteniéndose las siguientes observaciones (Figura 13):

- Temperatura promedio anual 14,7 °C, con variación promedio mensual de 14,2 a 15,3 °C (febrero y setiembre).
- Temperatura máxima promedio anual 19,0 °C, con variación mensual de 17,8 a 20,4 °C (marzo y setiembre).
- Temperatura mínima promedio mensual 10,4 °C, con variación mensual de 9,6 a 11 °C (julio y marzo).

b. Precipitación

La precipitación anual media de la estación San Miguel es de 908,74 mm/año; con valores mensuales más altos en enero, febrero y marzo (120,38; 169,96 y 277,92 mm/mes, respectivamente) y los más bajos en junio, julio y agosto (9; 1,4 y 4 mm/mes, respectivamente). Ver Figura 14. La precipitación anual media de la estación Las Paltas es de 207,23 mm/año; con valores mensuales más altos en enero, febrero y marzo (31,05; 36,60 y 80,18 mm/mes, respectivamente) y más bajos en junio, julio y agosto (8; 0,47 y 0 mm/mes, respectivamente). Ver Figura 15.



Figura 12: Ubicación de estaciones meteorológicas cercanas al área de estudio

FUENTE: Elaboración propia con imagen satelital de Google Earth

Tabla 10: Valores meteorológicos promedios mensuales Estación San Miguel (2012-2017)

PARÁMETRO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Temperatura (°C)												
Máxima	18,09	17,88	17,83	18,64	18,84	19,68	19,90	20,07	20,39	18,84	18,91	18,77
Mínima	10,55	10,47	10,97	10,73	10,57	10,07	9,59	9,83	10,16	10,84	10,41	10,29
Media	14,32	14,17	14,40	14,69	14,71	14,88	14,74	14,95	15,27	14,84	14,66	14,53
Precipitación (mm)	120,38	169,96	277,92	86,12	37,54	9,00	1,40	4,00	15,12	70,04	47,72	69,54
Precipitación total (mm)	908,74											
Humedad Relativa (%)												
a las 07 horas	89,28	85,31	92,15	88,81	86,51	82,13	77,59	78,55	80,46	85,55	83,61	85,68
a las 13 horas	83,44	85,42	86,77	84,44	82,07	72,37	66,66	70,30	70,91	78,54	76,20	78,90
a las 19 horas	96,17	97,30	99,69	96,76	94,80	90,63	85,69	87,22	88,59	92,92	91,19	94,44
HR promedio (%)	89,63	89,34	92,87	90,00	87,79	81,71	76,65	78,69	79,99	85,67	83,67	86,34
Vel viento (m/s) - 13 hrs	3,34	2,96	2,67	2,56	2,62	3,11	3,74	3,27	2,67	2,67	2,53	2,39

FUENTE: Elaboración propia con información de SENAMHI

Tabla 11: Valores meteorológicos promedios mensuales Estación Las Paltas (2012-2017)

PARÁMETRO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Precipitación (mm)	31,05	36,60	80,18	15,48	4,90	0,80	0,47	0,00	1,77	4,55	15,13	16,33
Precipitación total (mm)	207,23											

FUENTE: Elaboración propia con información de SENAMHI

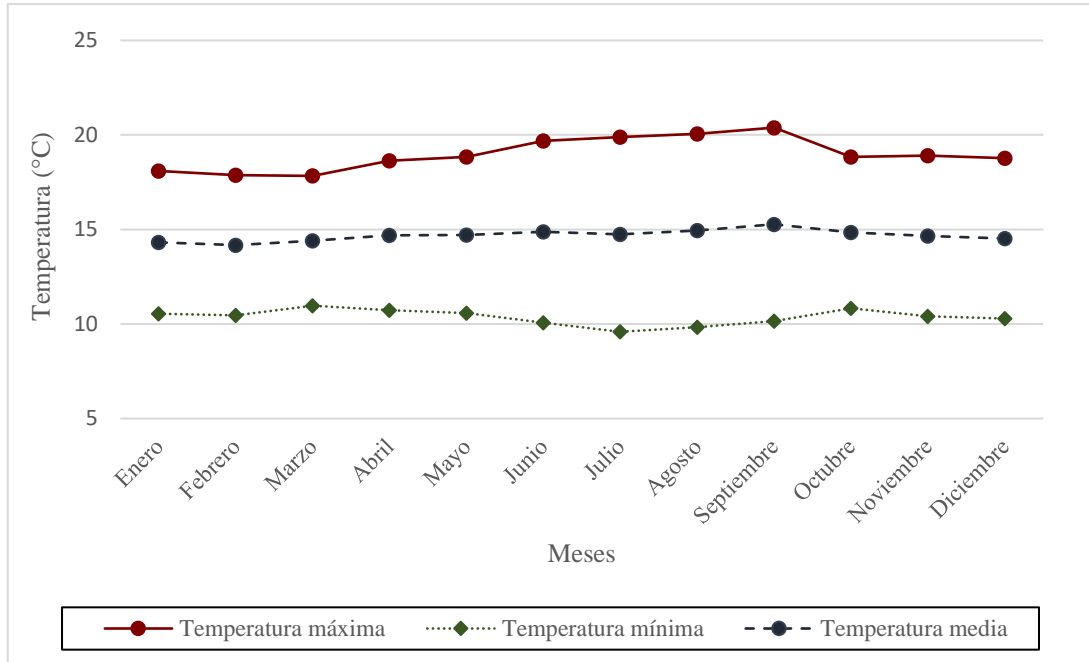


Figura 13: Variaciones térmicas mensuales estación San Miguel

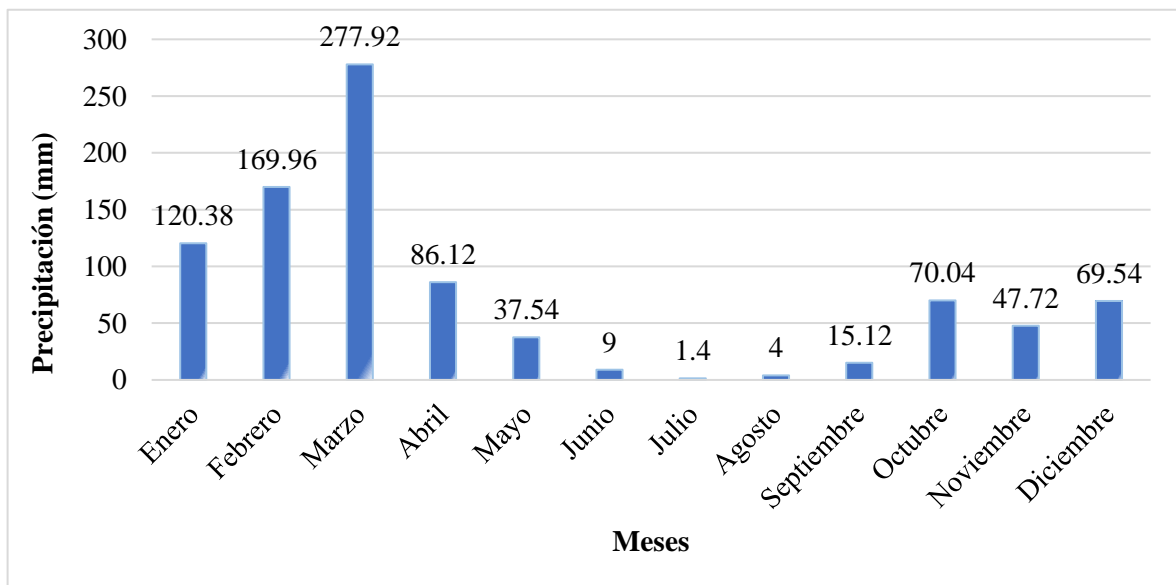


Figura 14: Precipitación mensual estación San Miguel

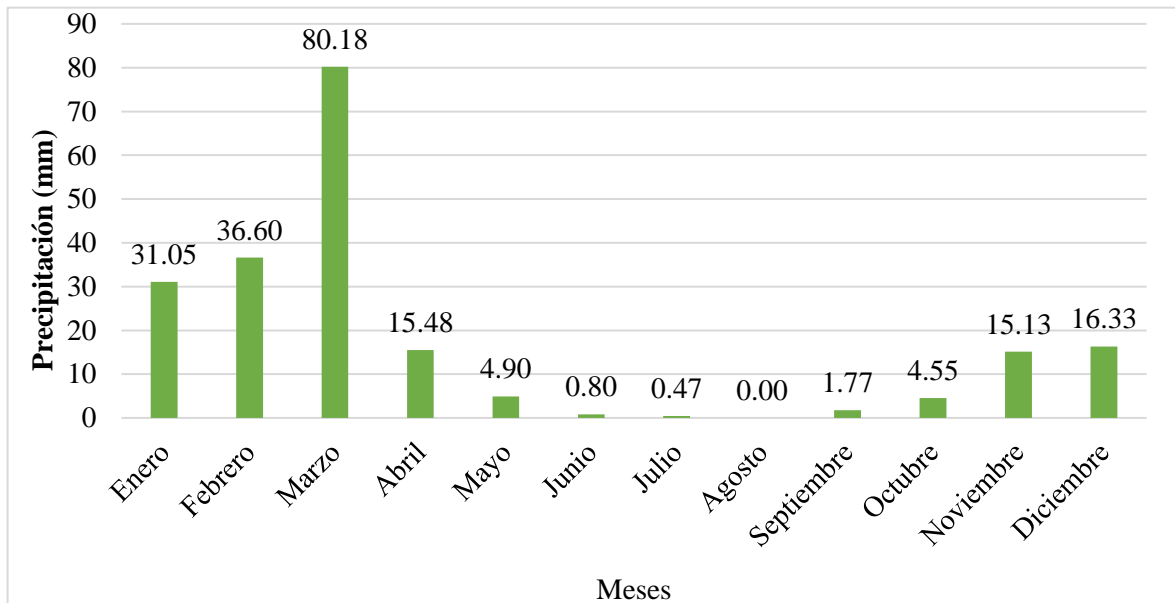


Figura 15: Precipitación mensual estación Las Paltas

c. Humedad relativa

La humedad relativa promedio presenta fluctuación a lo largo de los meses, debido a que el terreno en estudio está en una zona de sierra donde la incidencia del sol en las épocas de julio, agosto y setiembre comienza desde muy temprano, por lo que la humedad relativa tiende a disminuir desde estas horas. La humedad relativa promedio anual es de 85,20 por ciento, con una variación de 76,65 a 92,87 por ciento (julio y marzo).

d. Velocidad del viento

La velocidad del viento tiene poca variación, con un valor promedio anual de 2,9 m/s a las 13 horas y con una variación de 2,4 y 3,7 m/s en diciembre y julio.

3.1.3 Topografía

Al ser parte de una ladera, la topografía del terreno es inclinada, con pendiente aproximada de 12,5 por ciento, con sentido predominante de sureste a noroeste y con algunas depresiones muy pronunciadas en ciertas partes del terreno. Los árboles de tara se encuentran unidos por surcos, siguiendo las curvas de nivel del terreno, distribuidas en toda la ladera.

3.1.4 Geología

Según el Mapa Geológico del cuadrángulo de Cajamarca 15f (INGEMMET 2017), el área de estudio abarca tres unidades estratigráficas:

- **Formación Chulec (Ki-chu):** clasificada en la época Inferior, sistema Cretáceo, era Mesozoico, caracterizada por contener calizas, areniscas, calcáreas, margas y lutitas. Es de color blanquecina a gris parduzco.
- **Volcánico Chilete (Pe-vch):** pertenece al Grupo Calipuy, clasificado en la época Eoceno, sistema Paleógeno, era Cenozoico y es una gruesa serie de derrames andesíticos de color blanco grisáceo.
- **Depósitos Coluviales (Qh-co):** clasificado en la época Holoceno, sistema Cuaternario, era Cenozoico; constituidos por material detrítico subanguloso y con la presencia en menor cantidad de material limoarcilloso y arenoso. Este tipo de terreno está presente irregularmente en las vertientes de territorio montañoso y su formación corresponde a la alteración y desintegración in situ de las rocas ubicadas en la parte superior de laderas y la acción de la gravedad (movimiento del material suelo y transporte de agua no canalizada), debido a esto corresponden a una capa de suelo acumulado en el tiempo con un transporte insignificante y un pequeño espesor.

3.1.5 Suelos

Geomorfológicamente, el fundo está catalogado como un cono de detritos presentes en una ladera de pendiente pronunciada. El material del suelo aprovechable es de textura franco arenosa de origen coluvial, en contacto con el macizo rocoso o, en algunos casos, poco erosionado. Se puede observar suelos con perfiles A y C, donde el horizonte A, apto para el cultivo, se caracteriza por ser de poca profundidad, en promedio de 30 cm, debido al origen coluvial y por estar en contacto con un macizo rocoso o de detritus rocoso. De acuerdo a la clasificación de suelos de la United States Department of Agriculture (USDA), se trata de Entisoles, en cuya litología prevalecen rocas sedimentarias (calizas y su descomposición) y en menor grado de rocas volcánicas (Andesitas).

3.1.6 Ecología

Según el sistema de clasificación de las zonas de vida del Dr. Holdridge en el Mapa Ecológico del Perú (ONERN, 1976), el área de estudio está clasificada como Monte espinoso – premontano tropical (Figura 17), que se encuentra en un rango de altitud de 500-2300 m.s.n.m. presenta biotemperaturas máxima y mínima de 24,5 y 18,8 °C y la precipitación máxima y mínima son de 532,8 y 226 mm respectivamente.

Según el Mapa de Zonificación Ecológica Económica de la Región Cajamarca (GRC, 2012), el área de estudio se ubica en una zona para producción forestal, con calidad agrológica baja asociada a tierras de protección, y zonas de potencial energético renovable y minero, que comprende las provincias de San Ignacio, Cutervo y San Miguel, entre 1100 y 3700 m.s.n.m. Posee un clima templado a húmedo frío y suelos superficiales, con pendiente moderada a empinada; cubierto por bosques y pastos naturales, además de cultivos agrícolas.

3.1.7 Recurso hídrico

Existen dos fuentes de agua superficial principales para el riego en el área de estudio (Figura 16):

- La primera, viene a ser agua del río San Miguel.
- La segunda, proviene de una laguna en la parte superior de la ladera.



Figura 16: Esquema del recurso hídrico del fundo
FUENTE: Elaboración propia con imagen satelital de Google Earth

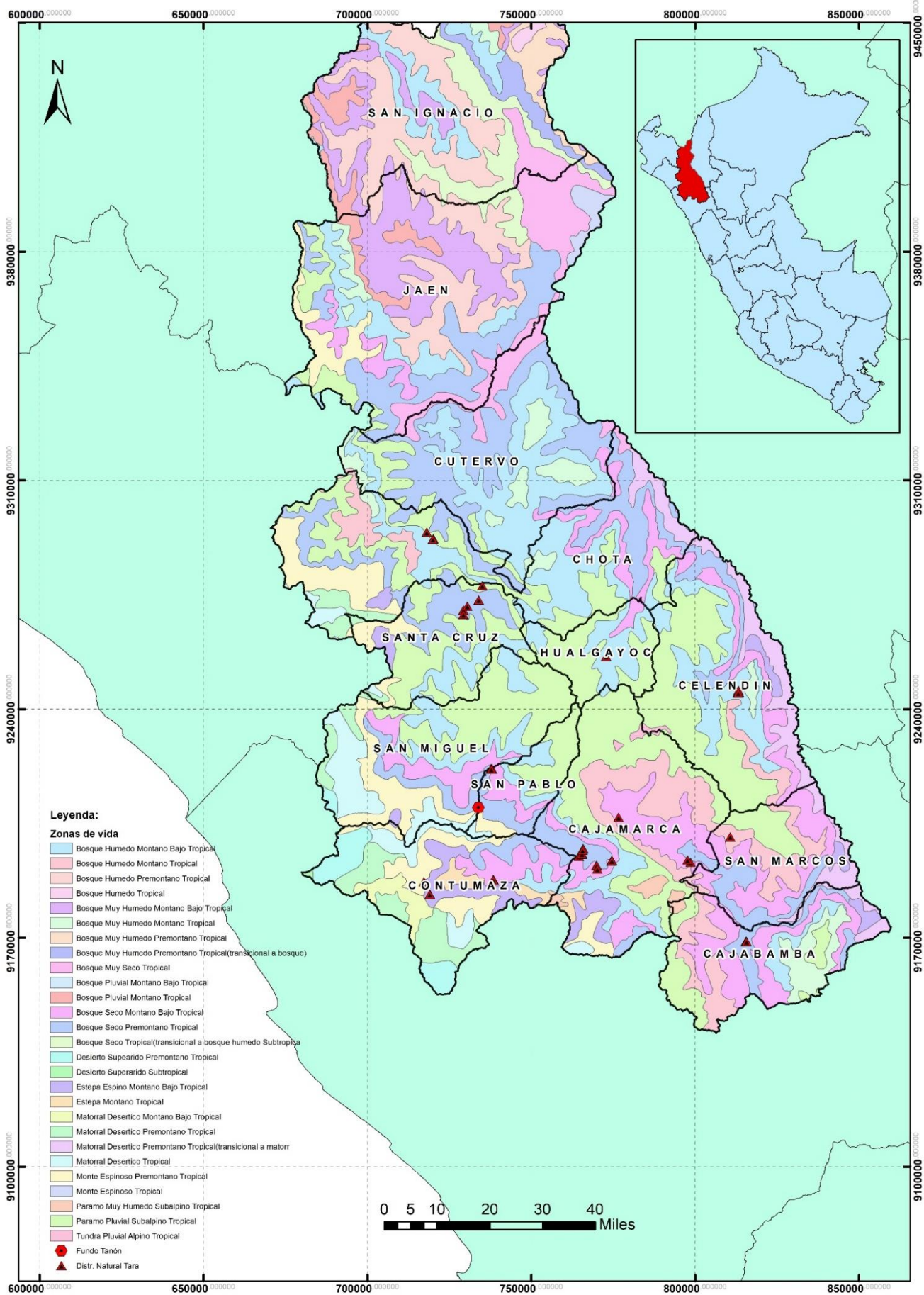


Figura 17: Mapa de distribución de tara en Cajamarca

Fuente: Elaboración propia con datos de Villena (2018)

3.2 CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS DEL FUNDO

3.2.1 Ubicación y linderos

Geográficamente, el fundo se encuentra ubicado en las siguientes coordenadas:

Latitud: 7°08' Sur

Longitud: 78°53' Oeste del meridiano de Greenwich

Los linderos del proyecto son (Figura 18):

Por el norte: cultivo de tara sin riego (Lote N° 2)

Por el sur: cultivo de tara sin riego (Lote N° 4)

Por el este: camino rural

Por el oeste: cima de ladera

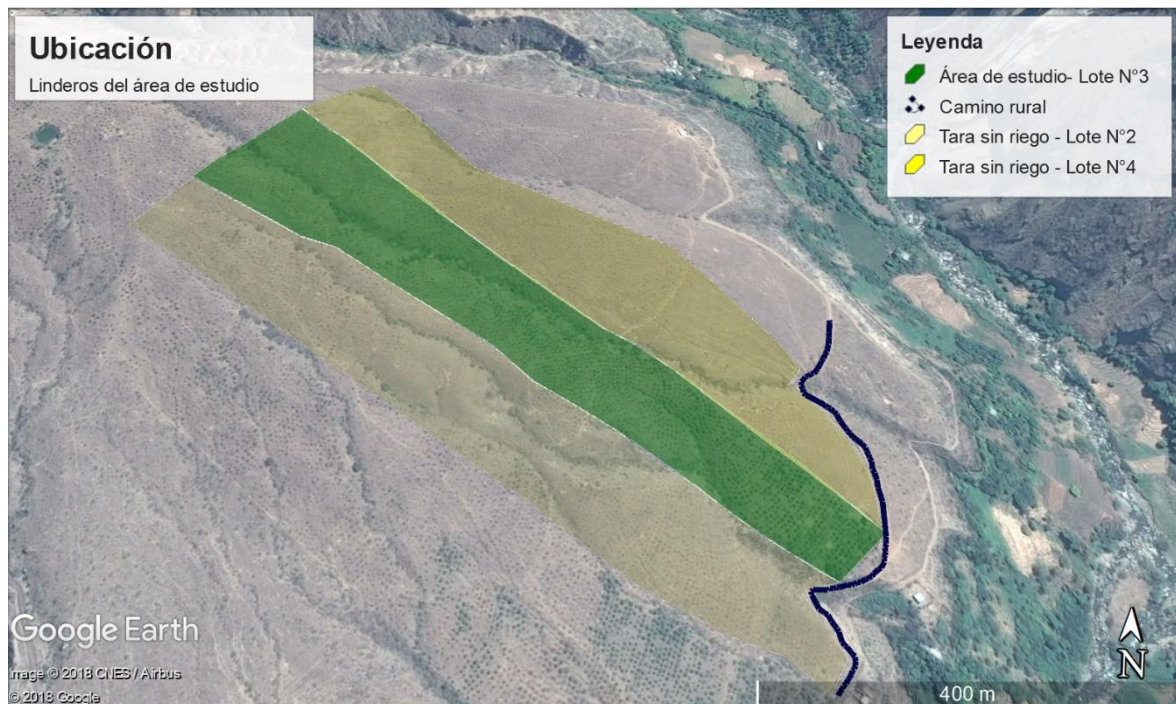


Figura 18: Linderos del área de estudio

FUENTE: Elaboración propia con imagen satelital de Google Earth

3.2.2 Sistema hidráulico actual

a. Captación de agua

Existen dos fuentes de agua superficiales principales para el riego en el fundo:

- La primera, proviene de una captación rústica aguas arriba del río San Miguel. Esta fuente es utilizada para el riego de las 7 ha en estudio (Figura 19).
- La segunda, proviene de una laguna que es conducida y almacenada en un reservorio en la parte superior de la ladera. Esta fuente es utilizada como riego de subsistencia para los árboles de tara ubicadas en la parte superior del fundo.

b. Conducción

Parte de la captación rústica (Figura 20) hasta el reservorio en el predio, está compuesta de dos tramos: la primera, con una tubería de cuatro pulgadas de diámetro de HDPE de 2,1 km de longitud y la segunda, con dos tuberías de dos pulgadas de diámetro de 400 metros de longitud en la parte más cercana al reservorio.

La tubería de conducción ha sido instalada en forma empírica (Figura 21), dispuesta de tal forma que el eje siga el recorrido, en la mayor parte de su longitud, de un canal ubicado 10 m por debajo.



Figura 19: Captación rústica

c. Distribución

Es la continuación del sistema de conducción, constituida por una tubería de HDPE de dos pulgadas de diámetro, tiene un km de longitud en la parte noreste del predio y que finaliza en válvulas, de regulación manual, para la distribución al surco (Figuras 22 y 23).

d. Aplicación

Se inicia en las válvulas, dispuestas siguiendo el criterio empírico del operador de riego con espaciamientos entre 30 a 80 m, que suministran el agua a los surcos en contorno, por los cuales el agua es conducida hasta llegar a cada árbol de tara (Figura 24).

e. Obras de regulación

Existe un reservorio en el fondo, de 5 m x 7 m x 1,9 m, el cual está revestido con geomembrana, que almacena agua que es bombeada hasta el sector 4 del predio.



Figura 20: Tubería de conducción



Figura 21: Pase aéreo en un tramo de la tubería de conducción

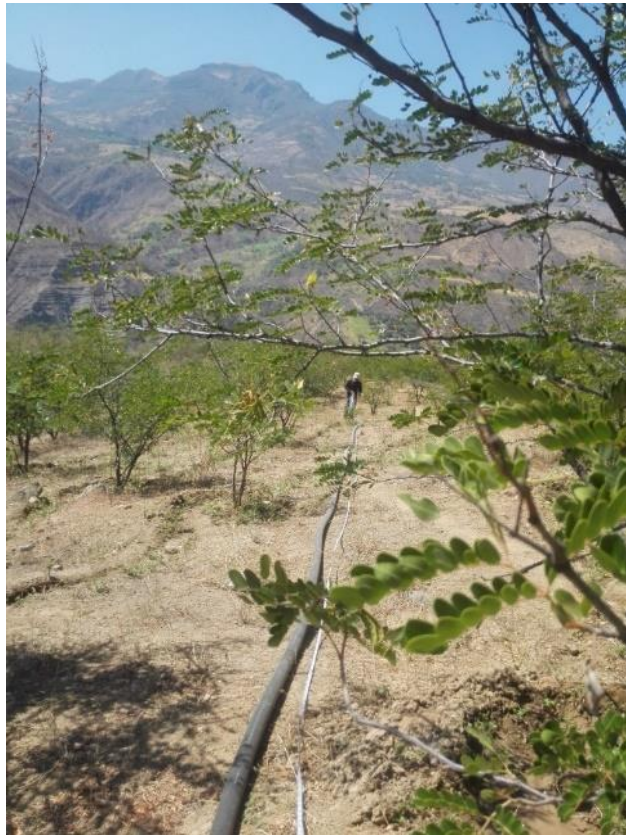


Figura 22: Tubería de distribución



Figura 23: Válvula de salida a los surcos



Figura 24: Sistema de pozas y surcos

3.2.3 Operación del sistema actual

Se realiza por dos trabajadores, el primero encargado de realizar el riego de producción con una frecuencia semanal en los sectores del 1 al 4 (Ver Figura 25 y Anexo 9), y el segundo se encarga de realizar el riego de subsistencia con agua de la laguna, mediante una manguera, por encima del sector 4.

El riego de producción se realiza de acuerdo a la longitud de cada surco; en los más cortos, se abarca 2 a 4 surcos con una misma válvula y, en los más largos, de 1 o 3 (debido a la longitud del surco el operador tiene mayor dificultad para controlar y distribuir el agua en varios surcos).

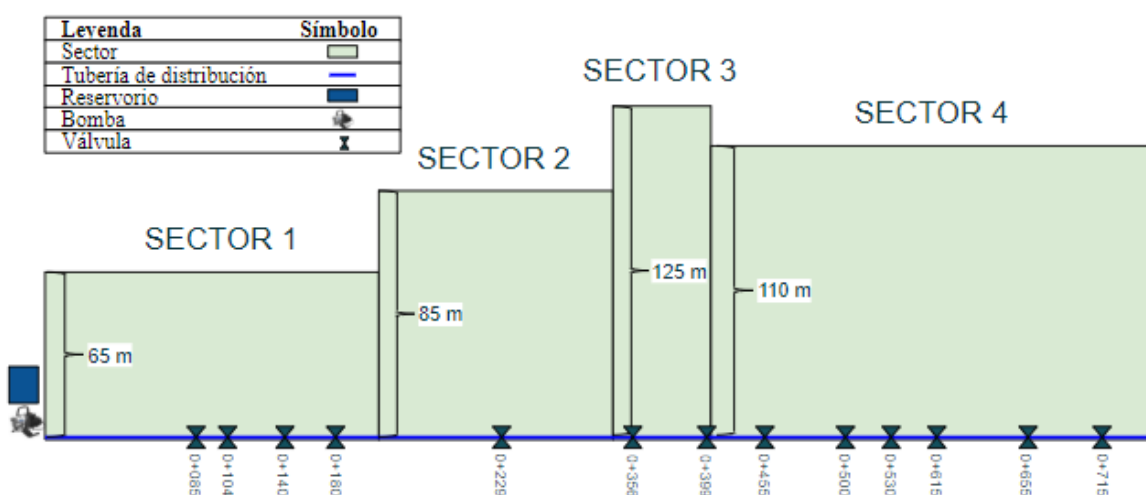


Figura 25: Sectores del área de estudio

3.2.4 Instalación de los árboles de tara

La plantación en estudio fue realizada el 2006, contando con 13 años en la actualidad, siendo parte de un proyecto de 100 ha (en toda la ladera). Con esta edad los árboles ya deberían estar en su etapa de alta productividad, sin embargo, debido al abandono de esta plantación los árboles subsistieron bajo secano hasta el 2016 que se implementó el sistema de riego señalado en este estudio. El fundo viene manejando este sistema de riego de tal manera que se pueda suministrar la suficiente agua para que las plantas produzcan, no llegando aún al rendimiento esperado por los dueños.

3.3 MATERIALES Y EQUIPOS

Los materiales y equipos utilizados para las diferentes pruebas fueron:

- Tuberías HDPE 2” y 4”
- Válvulas de agua
- 1 balde de metal
- 1 regla graduada
- 1 cronómetro
- 1 comba
- 2 baldes graduados de 15 litros
- Pala
- Balanza de campo
- Tornillo muestreador
- Plástico de 3x3 m
- Anillo de metal de 5 pulgadas de diámetro
- 1 wincha de 50 metros
- 1 tubo corrugado de 2 pulgadas
- 1 manómetro
- 1 libreta de campo

3.4 MÉTODOS

3.4.1. Lámina de riego neta

a. Capacidad de campo

Se utilizó el método gravimétrico (Figura 26) para la obtención del contenido de humedad en tres pozas diferentes.

- Se saturaron las tres pozas por dos días y se colocó un plástico que cubriera la superficie de cada una con el fin de hermetizarla y que no existan pérdidas por evaporación.

- Se extrajo de muestras durante 5 días en bolsas de papel a una profundidad de 20 y 40 cm, debido a que profundidades mayores el suelo era roca agrietada y cascajos y solo se perdía el agua por percolación.
- Las muestras obtenidas fueron pesadas en campo.
- En el laboratorio, las muestras fueron colocadas en una estufa, durante 24 horas a una temperatura de 105 °C, luego se volvió a pesar.
- El análisis de humedad se realizó en base a la siguiente fórmula:

$$W_s = \frac{M_{sh} - M_{ss}}{M_{ss}} \times 100 \quad (\text{Ecuación 14})$$

Donde:

W_s = Contenido de humedad del suelo (%)

M_{sh} = Masa de suelo húmedo (gr)

M_{ss} = Masa de suelo seco (gr)

- Se utilizó los resultados de contenido de humedad para elaborar un gráfico de porcentaje de humedad.

b. Punto de marchitez permanente

Se determinó mediante la ecuación 2, tomando como base el valor de la capacidad de campo obtenido en campo.



a. Acumulación de material



b. Saturación del suelo



c. Tapado de la poza



c. Extracción de muestras

Figura 26: Procedimiento de prueba de capacidad de campo

c. Profundidad de raíz del cultivo

Se midió de la profundidad de raíz realizando una excavación en el terreno de quince plantas en la parte baja, media y alta del fundo; y, se determinó que la profundidad promedio. Ver Figura 27.



a. Prof de raíces del Sector 2

b. Prof de raíces del Sector 3

Figura 27: Medición de profundidad de raíces

d. Densidad aparente

Se utilizó el método del cilindro (Figura 28) en tres diferentes calicatas, en la parte baja, media y alta del fundo.

- Se excavó calicatas de 70 cm de profundidad.
- Se utilizó 20 cm como profundidad efectiva.
- Se extrajo tres muestras a la misma profundidad para obtener un valor promedio.
- Las muestras fueron llevadas al laboratorio y colocadas en una estufa durante 24 horas a una temperatura de 105 °C, luego se volvió a pesar.
- El análisis de humedad se realizó en base a la siguiente Ecuación 1.

- Se utilizó un promedio de los tres resultados de densidad aparente.

e. Lámina neta de riego

Se estimó en base a la ecuación 4, se consideró un agotamiento del 50 por ciento para riego por gravedad.



Figura 28: Procedimiento de muestreo para densidad aparente

3.4.2. Evapotranspiración crítica del cultivo (ET_c crítica)

a. Evapotranspiración de referencia (ET_o)

Se utilizó el método de Hargreaves según las ecuaciones 6 y 7, para estimar la evapotranspiración de referencia a partir de la información de la estación meteorológica San Miguel y la consideración del KT para regiones del interior.

b. Coeficiente del cultivo (Kc)

Se utilizó los datos de Kc estimados por Mitma (2015) para el riego de producción de la tara en Ayacucho.

c. Etc Crítica

La Etc crítica considerada corresponde al valor más alto de los cálculos mensuales de Etc, determinados mediante la ecuación 8.

3.4.3. Determinación de la precipitación efectiva

Su estimación se realizó según el método FAO utilizando las ecuaciones 9 y 10, con datos de la Estación Meteorológica Las Paltas, debido a la similitud en altitud con el área de estudio.

3.4.4 Volumen neto de riego por sector

a. Frecuencia de riego ajustada

Se estimó como la relación entre la lámina neta de riego y el ETc crítico, redondeándolo al menor número entero.

b. Lámina de riego ajustada

Se estimó a partir de la multiplicación de la frecuencia de riego ajustada y el Etc crítico.

c. Área de riego

Se estimó como las áreas donde el agua se infiltra, siendo la sumatoria de las áreas de los surcos en contorno, a partir de las dimensiones promedio medidas en campo.

d. Volumen neto de riego por sector

Se estimó como el producto de la lámina de riego ajustada y el área de riego total de un sector, según la siguiente ecuación:

$$V_n = \frac{L_{ra} \times A_r \times N^{\circ} \text{Surcos}}{1000} \quad (\text{Ecuación 15})$$

Dónde:

V_n = Volumen neto de riego (l)

L_{ra} = Lámina neta de riego ajustada (m)

A_r = Área de riego (m²)

$N^{\circ} \text{Surcos}$ = Número de surcos por sector

3.4.5. Volumen bruto de riego por sector

a. Caudal promedio

Se realizó aforos volumétricos (Figura 29) y medición de la presión en cada válvula, de la tubería de distribución, con un balde graduado, una tubería corrugada y un cronómetro. Se realizaron tres mediciones por punto, para obtener un promedio representativo del caudal.

b. Tiempo de riego

Se estimó como el promedio del tiempo por sector medido durante 4 semanas en campo, se tiene condiciones especiales debido a las costumbres típicas del lugar (los martes y domingo no son laborables).

c. Volumen bruto de riego por sector

Se estimó como el producto del caudal promedio, de salida de las válvulas, y el tiempo de riego por sector de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$V_b = Q_p \times T_r \quad (\text{Ecuación 16})$$

Dónde:

V_b = Volumen bruto por sector (l)

Q_p = Caudal promedio entregado al sector (l/s)

T_r = Tiempo de riego por sector (s)



Figura 29: Aforo volumétrico en las válvulas

3.4.6. Eficiencia de aplicación

El valor de la eficiencia de aplicación se estimó por la relación del volumen bruto aplicado en la poza y el volumen neto de agua (óptimo teórico), mediante la siguiente ecuación:

$$E_a = \frac{V_n}{V_b} \times 100 \quad (\text{Ecuación 17})$$

Dónde:

E_a = Eficiencia de aplicación (%)

V_n = Volumen neto por sector (l)

V_b = Volumen bruto por sector (l)

3.4.7. Uniformidad de distribución de agua

La uniformidad se estimó como la relación entre la lámina infiltrada neta y la semisuma de las láminas infiltradas al inicio y final del surco. La lámina infiltrada neta se estimó con la lámina de riego calculada, según la ecuación 4, siendo la referencia del cien por ciento de

uniformidad, las láminas infiltradas al inicio y final del surco se obtuvieron con las ecuaciones de infiltración y avance según los tiempos de riego críticos.

Según la siguiente ecuación se estimó la uniformidad de distribución de agua:

$$UR (\%) = \frac{L_r}{\frac{L_i + L_f}{2}} \times 100 \quad (\text{Ecuación 18})$$

Donde:

- UR = Uniformidad de distribución de agua (%)
- L_r = Lámina de riego (mm)
- L_i = Lámina infiltrada al inicio del surco (mm)
- L_f = Lámina infiltrada al final del surco (mm)

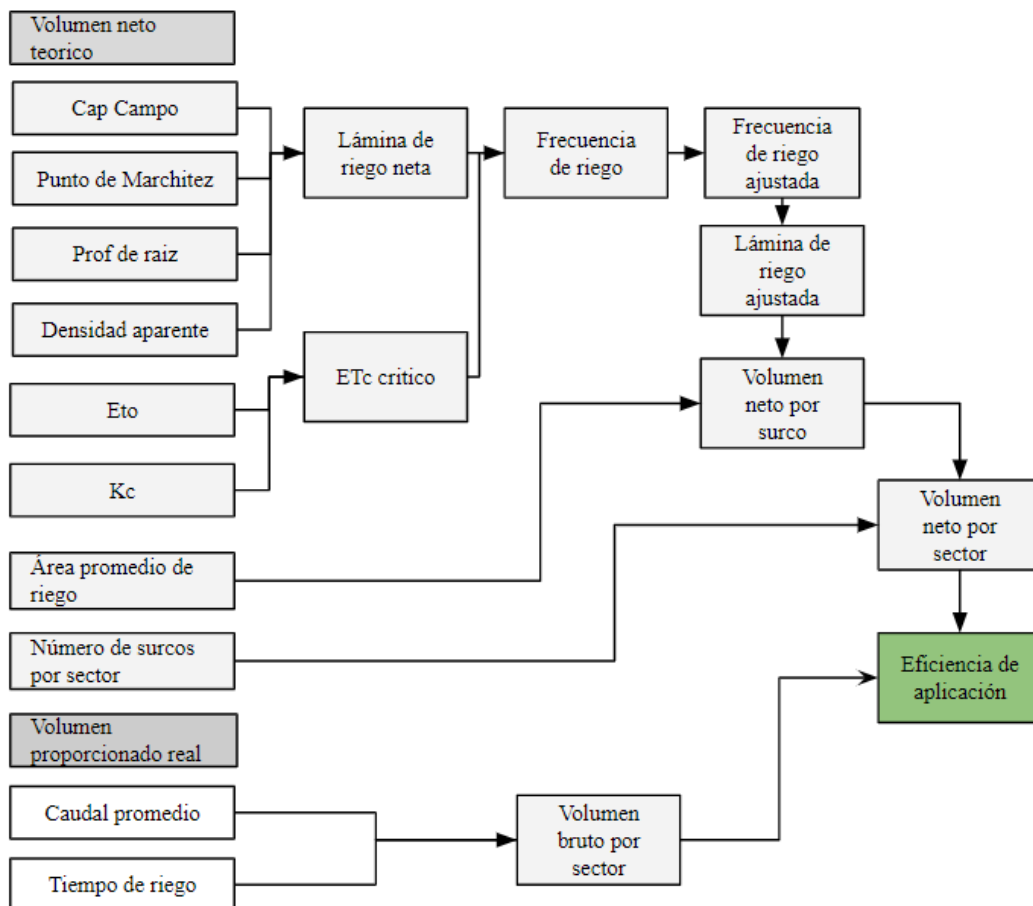


Figura 30: Flujo de cálculos para la determinación de la eficiencia de aplicación

3.4.8. Eficiencia de distribución

La eficiencia de distribución se estimó como la relación entre el caudal bombeado desde el reservorio y el valor de caudal aforado en la primera salida de agua.

El caudal bombeado es calculado por las condiciones de operación dados en el manual de la bomba MD12-25x3, las pérdidas de potencia y eficiencia del motor por la altura (Ver Figura 31).

Según las siguientes ecuaciones se estimó la eficiencia de distribución:

$$Q_e = \frac{Pot \times n \times 745.7 \times 1000}{\gamma \times H_b \times 9.81} \quad (\text{Ecuación 19})$$

Donde:

- Q_e = Caudal entregado de la bomba (m^3/s)
- Pot = Potencia entregada por el motor (HP)
- γ = Peso específico del agua (kg/m^3)
- Hb = Altura de elevación (m)
- n = rendimiento de la bomba (%)

$$E_d = \frac{Q_e}{Q_s} \times 100 \quad (\text{Ecuación 20})$$

Donde:

- Ed = Eficiencia de distribución (%)
- Q_e = Caudal entregado de la bomba (m^3/s)
- Q_s = Caudal de salida en la tubería de distribución (m^3/s)

3.4.9. Eficiencia de conducción

Se estimó como la relación entre el caudal que ingresa por el canal de conducción desde el río San Miguel y el caudal que llega al fundo.

La estimación se realizó mediante la siguiente ecuación:

$$E_c = \frac{Q_e}{Q_s} \times 100 \quad (\text{Ecuación 21})$$

Donde:

Ec = Eficiencia de conducción (%)

Qe = Caudal de ingreso por la tubería (l/s)

Qs = Caudal de salida de la tubería o de llegada al fondo (l/s)

Altura (m)	Potencia Desarrollada	Eficiencia Volumétrica	Eficiencia Desarrollada
0	100.00%	100.00%	100.00%
500	93.53%	99.19%	94.30%
1000	87.45%	98.37%	88.90%
1500	81.65%	97.55%	83.70%
2000	76.12%	96.73%	78.70%
2500	70.97%	95.90%	74.00%
3000	66.15%	95.05%	69.60%
3500	61.52%	94.22%	65.30%
4000	57.24%	93.38%	61.30%
4500	53.12%	92.54%	57.40%

Figura 31: Pérdidas de potencia, eficiencia volumétrica y desarrollada por altura

FUENTE: Bardález (2012)

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CARACTERÍSTICAS AGROLÓGICAS

La zona del proyecto pertenece a la Clase III, según el Soil Conservation Service de USA, con pendiente de 12,5 por ciento; con suelo muy superficial y poco pedregoso, con un horizonte A, de 10 a 30 cm de espesor, franco arenoso, que reposa sobre un horizonte C, arenoso-cascajoso-gravoso, con un drenaje excesivo y requerimientos hídricos elevados, de mediana a baja productividad; generalmente, sin problemas de salinidad. El color, en húmedo, del horizonte A es pardo oscuro; y, del horizonte C de gris a violeta.

4.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUELO

De acuerdo a los análisis edafológicos realizados, se tienen las siguientes características físicas del suelo a una profundidad de 20 cm:

- Textura: franco arenosa
- Densidad aparente: 1,57 mg/m³
- Color: 10YR 7/4 en seco
10YR 4/4 en húmedo

4.3 CONSTANTES HÍDRICAS

Los valores de capacidad de campo, punto de marchitez permanente e infiltración básica se muestran en la Tabla 12.

4.4 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

Los resultados del análisis químico de suelo del fundo Tanón, se presentan en la Tabla 13.

Tabla 12: Características hídricas del suelo

Coefficientes hídricos	Símbolo	Unidad	Cantidad
Capacidad de Campo	CC	%	16,5
Punto de Marchitez Permanente	PMP	%	7,21
Densidad aparente	Da	gr/cc	1,57
Infiltración básica	Ib	cm/hr	6,43

Tabla 13: Análisis químico de suelo

Parámetro de análisis	Símbolo	Unidad	Valor	Rango normal	Condición
Conductividad Eléctrica	CE	dS/m	0,40	4-8	Muy ligeramente salino
Reacción del Suelo	pH	meq/l	7,61	6,6-7,3	Medianamente alcalino

Análisis Mecánico

Textura: Franco -arenoso

Arena % 69,28

Limo % 20,72

Arcilla % 10,00

Análisis QuímicoCalcáreo Total CaCO₃ % 0,45 1-5 Bajo

Materia Orgánica MO % 0,99 2-4 Bajo

Fósforo Disponible P ppm 46,34 7-14 Alto

Potasio Disponible K ppm 786,00 100-240 Alto

Cationes Solubles

Capacidad de CIC cmol(+)/kg 36.90

Intercambio CatiónicoCalcio Ca⁺⁺ cmol(+)/kg 18.81 4-6 AltoMagnesio Mg⁺⁺ cmol(+)/kg 4.58 1-3 AltoPotasio K⁺ cmol(+)/kg 1.21 0,2-0,5 AltoSodio Na⁺ cmol(+)/kg 0.15

FUENTE: Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertirriego. Facultad de Ingeniería Agrícola

4.5 CAUDALES DE INGRESO Y PRESIONES EN LOS HIDRANTES

En la Tabla 14 se observa los caudales bombeados desde el reservorio del predio hacia las válvulas de salida, que proporcionan agua a los surcos.

Se aprecia que estos caudales presentan poca variación y el valor promedio es de 3,05 l/s, el cual se conduce hasta las válvulas de la tubería de distribución para su aplicación por gravedad. Se observa también la presión en la bomba y en cada válvula, estos valores son inferiores con respecto al de la bomba debido a la pérdida por fricción y desnivel que existe en la tubería de distribución.

La bomba del fundo trabaja adecuadamente en la distribución del agua a nivel del predio, distribuyendo un caudal medio y con suficiente potencia para abastecer los cuatro sectores del presente estudio.

Tabla 14: Caudales y presiones en las válvulas de salida de agua

Presión en la bomba	Válvula	Q (l/s)	Presión (bar)
4,5 bar	0+085 m	3,01	3,75
	0+104,3 m	3,09	3,30
	0+140 m	3,08	2,80
	0+179,6 m	3,42	2,30
	0+228,6 m	2,95	2,60
	0+284,6 m	2,76	0,95
	0+355,5 m	2,63	0,85
6 bar	0+399,0 m	3,21	3,50
	0+454,5 m	3,56	3,00
	0+500 m	3,11	2,25
	0+530 m	2,68	1,75
8,5 bar	0+615 m	3,02	3,70
	0+655 m	3,05	3,25
	0+715 m	2,95	2,80
	Q prom	3,05	

4.6 EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO

4.6.1 Evapotranspiración de referencia (ET_o)

En la Tabla 15 se presentan los valores para el cálculo de la evapotranspiración de referencia, con datos meteorológicos del 2012 al 2017.

Los valores de la ET_o fueron estimados con el método de Hargreaves debido a que utiliza como datos de entrada valores de temperatura y radiación que son los valores meteorológicos que tienen mayor influencia en zonas de la sierra, además, anteriormente ha sido comprobado cerca de la zona en estudio como lo menciona Olarte (1987).

Tabla 15: Cálculo de la evapotranspiración de referencia

Mes	T° máx (C°)	T° mín (C°)	Kt	Rad extr MJ·m ⁻² ·día ⁻¹	Rs	ET _o (mm/día)	ET _o (mm/mes)
Enero	18,088	10,546	0,162	16,8	7,475	3,239	100,403
Febrero	17,880	10,467	0,162	16,3	7,190	3,101	86,841
Marzo	17,834	10,968	0,162	15,2	6,452	2,803	86,900
Abril	18,645	10,727	0,162	13,4	6,108	2,677	80,317
Mayo	18,842	10,570	0,162	11,6	5,405	2,370	73,481
Junio	19,681	10,075	0,162	10,7	5,372	2,369	71,058
Julio	19,895	9,589	0,162	11,0	5,721	2,512	77,864
Agosto	20,067	9,832	0,162	12,5	6,479	2,863	88,739
Setiembre	20,387	10,161	0,162	14,4	7,460	3,329	99,867
Octubre	18,842	10,838	0,162	15,8	7,241	3,189	98,856
Noviembre	18,913	10,405	0,162	16,6	7,844	3,435	103,049
Diciembre	18,767	10,286	0,162	16,8	7,926	3,457	107,159
Total							1 074,52

4.6.2 Evapotranspiración del cultivo (ET_c)

La estimación de la evapotranspiración del cultivo tuvo como datos de entrada el K_c estimado según la etapa fenológica y la evapotranspiración del cultivo de referencia utilizando el método de Hargreaves. Se puede observar en la Tabla 16 que el valor de ET_c crítico se da en noviembre, con un valor de 70,08 mm/mes o 2,34 mm/día.

Tabla 16: Cálculo de la evapotranspiración del cultivo

Etapa	Mes	Kc*	ET_o (mm/día)	ET_o (mm/mes)	ET_c (mm/día)	ET_c (mm/mes)
Inicial	Enero	0,55	3,24	100,40	1,78	55,22
Inicial	Febrero	0,55	3,10	86,84	1,71	47,76
Desarrollo	Marzo	0,62	2,80	86,90	1,72	53,44
Mediados	Abril	0,68	2,68	80,32	1,82	54,62
Mediados	Mayo	0,68	2,37	73,48	1,61	49,97
Final	Junio	0,65	2,37	71,06	1,54	46,19
Campana 1				498,99		307,19
Inicial	Julio	0,55	2,51	77,86	1,38	42,82
Inicial	Agosto	0,55	2,86	88,74	1,57	48,81
Desarrollo	Setiembre	0,62	3,33	99,87	2,05	61,42
Mediados	Octubre	0,68	3,19	98,86	2,17	67,22
Mediados	Noviembre	0,68	3,43	103,05	2,34	70,08
Final	Diciembre	0,65	3,46	107,16	2,25	69,65
Campana 2				575,53		359,99
Total				1 074,52		667,18

*Valor estimado de coeficiente de cultivo

4.7 PRECIPITACIÓN EFECTIVA

En la Tabla 17 se observa que existe una precipitación muy baja en la época de lluvias, debido a que el terreno en estudio se encuentra en la parte baja de la microcuenca San Miguel. También se aprecia que no existe precipitación significativa de mayo a octubre; en vista de estos resultados, el requerimiento de agua de las plantas tiene que ser cubierto en gran medida por el riego.

4.8 VOLUMEN NETO

Se estimó en base a las dimensiones de los surcos en contorno, así como la profundidad promedio de raíces, resultando los valores máximos 682,5; 900,9; 1337,7 y 1173,9 litros para los sectores 1, 2, 3 y 4 respectivamente (Tabla 18). Este volumen neto estimado indica el volumen de agua óptimo de acuerdo a las condiciones de la planta y del suelo y se calculó mediante la ecuación 15.

El volumen de agua por riego estimado es el necesario para cumplir los requerimientos hídricos críticos del sistema (hasta la última planta de cada surco y por defecto de todas las anteriores) con el fin de que las pérdidas por infiltración sean las menores a lo largo del surco en contorno.

Tabla 17: Estimación de la precipitación efectiva

Mes	Precipitación (mm/mes)	Precip. Efectiva (mm/mes)
Enero	31,05	19,54
Febrero	36,60	23,70
Marzo	80,18	56,38
Abril	15,48	7,86
Mayo	4,90	0,00
Junio	0,80	0,00
Julio	0,47	0,00
Agosto	0,00	0,00
Setiembre	1,77	0,00
Octubre	4,55	0,00
Noviembre	15,13	7,59
Diciembre	16,33	8,49
Total (mm/año)	207,26	123,56

Tabla 18: Volumen neto por riego aplicado

	Sector 1	Sector 2	Sector 3	Sector 4
K _c *	0,68	0,68	0,68	0,68
E _{to} (mm/día)	3,2	3,2	3,2	3,2
E _{tc} (mm/día)	2,17	2,17	2,17	2,17
P _e (mm/día)	0,0	0,0	0,0	0,0
Lámina de riego (mm)	20,5	20,5	20,5	20,5
Frecuencia de riego (día)	9	9	9	9
Número de riego	3	3	3	3
Volumen de riego neto (l/surco)	682,5	900,9	1 337,7	1 173,9

*Valor estimado de coeficiente de cultivo para el mes crítico

4.9 AGUA APORTADA ACTUALMENTE AL CULTIVO

Se estimó las cantidades de agua aportadas actualmente en el fundo, divididos por sectores de acuerdo a los tiempos de riego por sector, se consideró el total de agua aportada al cultivo como la suma del agua aportada por la precipitación efectiva y por el riego, en la Tabla 20 se muestra los cálculos del sector 1. En la Tabla 21 se observa un resumen de los volúmenes totales de agua para la primera campaña son 269,6; 272,8; 444,8 y 299,1 mm/ha y para la segunda campaña son 178,2; 181,4; 353,4 y 207,7 mm/ha para los sectores 1, 2, 3 y 4 respectivamente. Estos valores indican que el agua total suministrada por el riego actual no satisface el requerimiento hídrico necesario para una plantación de producción intensiva señalado por Barriga (2008) y Mancero (2009) con rangos entre 400 a 600 mm/ha para y por Córdova (2009) y Young (2017) entre 800 a 1400 mm/ha-campaña (en climas más cálidos) con riego por goteo.

4.10 UNIFORMIDAD ACTUAL DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA

Se estimó las uniformidades actuales de 56,8; 49,4; 23,9 y 38,9 por ciento para los sectores 1, 2, 3 y 4 respectivamente (Tabla 19). Estos indican una uniformidad baja, principalmente en los sectores 3 y 4 que tienen longitudes de surco mayores, de 125 y 110 m en promedio, y que actualmente son regados con tiempos inadecuados provocando pérdidas por infiltración profunda.

Tabla 19: Estimación de la uniformidad actual de distribución de agua

Sector	Tr medio surco (min)	T _a (min)	T _o (min)	L _i (cm)	L _f (cm)	L _r (cm)	UR (%)
1	12	7,3	4,7	4,6	2,8	1,95	52,7
2	16	10,3	5,7	5,4	3,1	1,95	45,9
3	48	16,7	31,3	9,8	7,8	1,95	22,2
4	24	14,2	9,8	6,7	4,1	1,95	36,1
Promedio							39,2

Los valores calculados están por debajo del 60 por ciento presentado en la Tabla 3 por Fernández *et al.* (2010) para relación de avance menor de 2 y pendiente uniforme. Por lo que se puede inferir que estos pueden ser mejorados en base al manejo adecuado de la aplicación de riego.

Tabla 20: Cálculo de agua aportada en el Sector 1

Mes	Qe (l/s)	Dist plant (m)	Dist surc (m)	FR (día)	N° de riegos	Área (ha)	Pe (mm/mes)	Tr (hr)	Vol agua / riego (m ³)	Vol agua / mes (m ³)	Agua aportada por riego (mm/ha)	Agua aportada total (mm/ha)
Enero	3,05	5	5	7	4	1,275	19,5	8	87,84	351,36	27,03	46,6
Febrero	3,05	5	5	7	4	1,275	23,7	8	87,84	351,36	27,03	50,7
Marzo	3,05	5	5	7	4	1,275	56,4	8	87,84	351,36	27,03	83,4
Abril	3,05	5	5	7	4	1,275	7,9	8	87,84	351,36	27,03	34,9
Mayo	3,05	5	5	7	4	1,275	0,0	8	87,84	351,36	27,03	27,0
Junio	3,05	5	5	7	4	1,275	0,0	8	87,84	351,36	27,03	27,0
Subtotal por campaña 1							107,5	48,0	527,0	2108,2	162,2	269,6
Julio	3,05	5	5	7	4	1,275	0,0	8	87,84	351,36	27,03	27,0
Agosto	3,05	5	5	7	4	1,275	0,0	8	87,84	351,36	27,03	27,0
Setiembre	3,05	5	5	7	4	1,275	0,0	8	87,84	351,36	27,03	27,0
Octubre	3,05	5	5	7	4	1,275	0,0	8	87,84	351,36	27,03	27,0
Noviembre	3,05	5	5	7	4	1,275	7,6	8	87,84	351,36	27,03	34,6
Diciembre	3,05	5	5	7	4	1,275	8,5	8	87,84	351,36	27,03	35,5
Subtotal por campaña 2							16,1	48,0	527,0	2108,2	162,2	178,2
Total anual							123,6	96,0	1 054,0	4 216,0	324,4	447,8

Tabla 21: Resumen de volúmenes de agua aportados en todos los sectores

Mes	Sector 1		Sector 2		Sector 3		Sector 4	
	Vol por riego (mm/ha)	Vol total (mm/ ha)	Vol por riego (mm/ha)	Vol total (mm/ ha)	Vol por riego (mm/ha)	Vol total (mm/ ha)	Vol por riego (mm/ha)	Vol total (mm/ ha)
Enero	27,0	46,6	27,6	47,1	56,2	75,8	31,9	51,5
Febrero	27,0	50,7	27,6	51,3	56,2	79,9	31,9	55,6
Marzo	27,0	83,4	27,6	83,9	56,2	112,6	31,9	88,3
Abril	27,0	34,9	27,6	35,4	56,2	64,1	31,9	39,8
Mayo	27,0	27,0	27,6	27,6	56,2	56,2	31,9	31,9
Junio	27,0	27,0	27,6	27,6	56,2	56,2	31,9	31,9
Subtotal campaña 1	162,2	269,6	165,3	272,8	337,3	444,8	191,7	299,1
Julio	27,0	27,0	27,6	27,6	56,2	56,2	31,9	31,9
Agosto	27,0	27,0	27,6	27,6	56,2	56,2	31,9	31,9
Setiembre	27,0	27,0	27,6	27,6	56,2	56,2	31,9	31,9
Octubre	27,0	27,0	27,6	27,6	56,2	56,2	31,9	31,9
Noviembre	27,0	34,6	27,6	35,1	56,2	63,8	31,9	39,5
Diciembre	27,0	35,5	27,6	36,0	56,2	64,7	31,9	40,4
Subtotal campaña 2	162,2	178,2	165,3	181,4	337,3	353,4	191,7	207,7
Total anual	324,3	447,9	330,7	454,3	674,6	798,2	383,3	506,9

4.11 EFICIENCIA DE RIEGO

4.11.1 Eficiencia de aplicación

Se estimó como el promedio ponderado de los valores de eficiencia de aplicación y el área de riego de cada uno de los sectores. En la Tabla 22 y Figura 32 se observa las eficiencias de aplicación estimadas de 31,1; 30,8; 15,2 y 26,7 por ciento para los sectores 1, 2, 3 y 4 respectivamente, obteniendo una eficiencia de aplicación del fondo de 27,4 por ciento, lo que indica que las plantas solo aprovechan el 27,4 por ciento de toda el agua suministrada a los surcos.

Tabla 22: Estimación de la eficiencia de aplicación

	Sector 1	Sector 2	Sector 3	Sector 4
Lamina neta de riego (mm)	20,5	20,5	20,5	20,5
Volumen de riego neto (l/surco)	682,5	900,9	1337,7	1173,9
Volumen de riego neto (l/sector)	27 300,0	27 027,0	13 377,0	46 956,0
Volumen de riego bruto (l/sector)	87 840,0	87 840,0	87 840,0	175 680,0
Eficiencia de aplicación actual (%)	31,1	30,8	15,2	26,7
Área de riego	1,3	1,28	0,63	2,2
Eficiencia de aplicación promedio (%)	27,4			

En la Figura 32 se observa que el valor promedio de la eficiencia de aplicación es bajo (27,4 por ciento) para el método por surcos en contorno, ya que según Nuñez (2015), este método puede alcanzar entre 30 y 60 por ciento con un manejo adecuado.

La razón de la eficiencia baja del fondo es debido a los tiempos de riego actuales, la longitud y pendiente de los surcos en contorno. El sector 1 tiene la menor longitud de surcos y su eficiencia es la más alta y por el contrario el sector 3 tiene la mayor longitud de surcos y su eficiencia es la más baja.

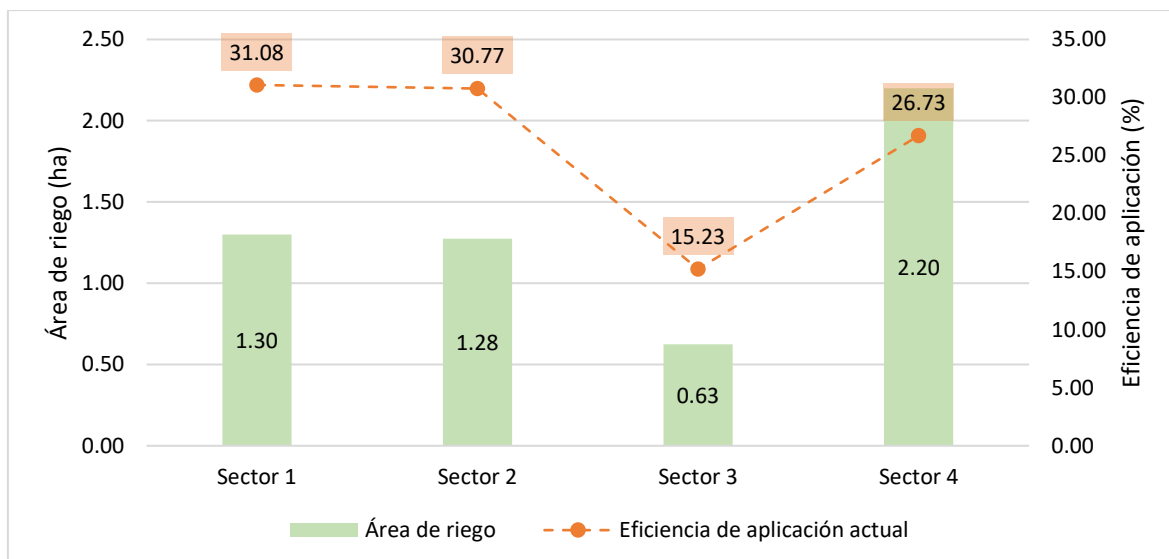


Figura 32: Eficiencia de aplicación actual del sistema

4.11.2 Eficiencia de distribución

Para su estimación se utilizó los valores de pérdidas de la potencia y eficiencia desarrollada por el motor de la bomba, por efectos de la altura, de la Figura 31 y datos de condiciones de operación del catálogo de la bomba. Así, por medio de la relación entre caudal en la salida y la entrada, se estimó el valor de 98,07 por ciento de eficiencia de distribución en el sistema. Ver Tabla 23.

Vásquez *et al.* (2017) indican que la eficiencia de distribución para tuberías está entre 90 y 95 por ciento, por lo tanto, se puede afirmar que el sistema de distribución del agua en el predio funciona adecuadamente.

4.11.3 Eficiencia de conducción

Se realizó un aforo volumétrico en la salida de la tubería de conducción, sin embargo, por las condiciones de la zona y operación resultó imposible realizar un aforo a la entrada de la tubería. Debido a esto se asumió la eficiencia de conducción de 90 por ciento, valor que está dentro del rango de 0.9 a 0.95 para tuberías (Vásquez *et al.*, 2017).

En la Tabla 24 se muestra la eficiencia de conducción y el caudal estimado a la entrada de la tubería. La diferencia entre el caudal de entrada y salida se deben principalmente a pequeñas filtraciones encontradas a lo largo de toda la tubería de conducción.

En orden del mejoramiento de la operación del sistema como sugiere Gandarillas (2011) es recomendable la instalación de ventosas de aire, de esta manera se extraerá el aire de la tubería y se aumentará el flujo de entrada al sistema de conducción.

Tabla 23: Estimación de la eficiencia de distribución

Parámetros	
Potencia (Kw)	8,91
Altura (m.s.n.m.)	1000,00
Peso específico del agua (kg/m ³)	1000,00
Rendimiento (%)	44
Altura de elevación (m)	100
Capacidad (l/s)	4
Potencia (Hp)	11,95
Potencia perdida por altitud (%)	1,5
Potencia real (Hp)	10,45
Rendimiento perdido por altitud (%)	4,88
Rendimiento real (%)	39,12
Caudal entrada (l/s)	3,11
Caudal a la salida (l/s)	3,05
Eficiencia de distribución (%)	98,07

Tabla 24: Estimación de la eficiencia de conducción

Parámetros	
Volumen de salida (l/s)	2,30
Volumen de entrada (l/s)	2,56
Eficiencia de conducción (%)	90,00

4.11.4 Cálculo de la eficiencia de riego

La eficiencia de riego del sistema actual es de 24,21 por ciento y se estimó como el producto de las eficiencias de conducción, distribución y aplicación (Tabla 25 y Figura 33).

Tabla 25: Resumen de las eficiencias actuales del fondo

Descripción	(%)
Eficiencia de conducción	90,00
Eficiencia de distribución	98,07
Eficiencia de aplicación	27,40
Eficiencia de riego	24,21

La eficiencia de riego corresponde a la eficiencia actual con las prácticas adoptadas por los regantes sin un cálculo técnico. Al utilizar un riego por gravedad y tener instaladas tuberías de HDPE tanto en conducción como distribución se esperaba una eficiencia más alta; sin embargo, la eficiencia de aplicación baja reduce la eficiencia de riego considerablemente siendo esta inferior al rango señalado por Vásquez *et al.* (2017) de 35 a 50 por ciento para surcos.

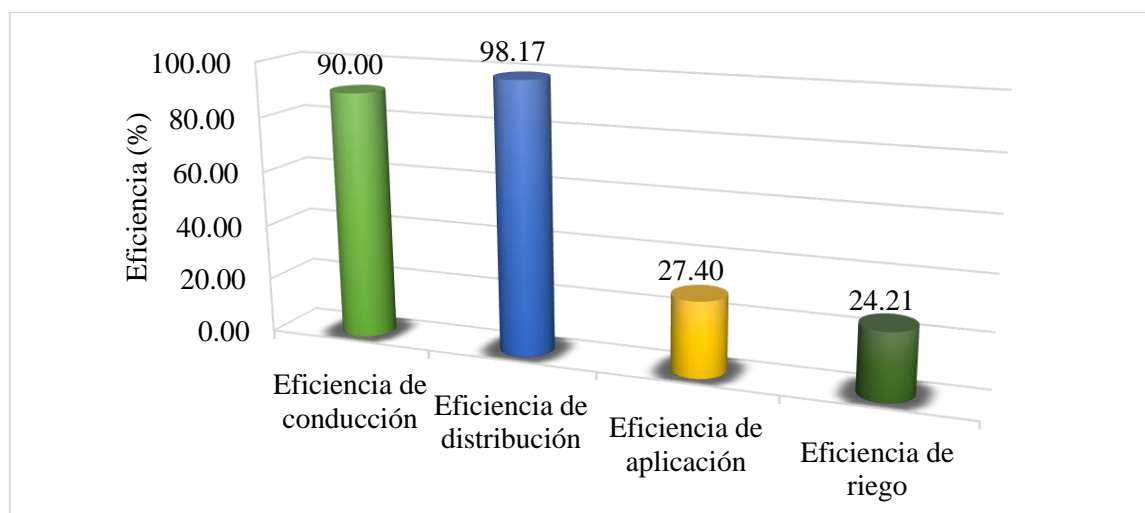


Figura 33: Resumen de eficiencias actuales en el fondo

4.12 PLAN DE MEJORAS

Las mejoras planteadas se basan en los resultados obtenidos en la presente investigación. Para mejorar la eficiencia se planteó una serie de recomendaciones como: utilización de tiempos de riego óptimos, instalación de válvulas de salida en la tubería de distribución e implementación de un sistema de riego por goteo.

Se realizó la estimación de la eficiencia de aplicación, para cada sector, bajo condiciones óptimas de tiempos de riego según la longitud de los surcos, tipo de terreno, profundidad efectiva, etc.

4.12.1 Necesidades hídricas del cultivo

Las necesidades hídricas del cultivo se estimaron como la diferencia entre la evapotranspiración del cultivo y la precipitación efectiva en la zona de estudio. En la Tabla 26 se observa la existencia de necesidades de agua durante casi todo el año, debido a la poca precipitación en la zona, por lo que es importante satisfacer las necesidades hídricas mediante el uso adecuado de un sistema de riego. Así mismo, se muestra la estimación de las necesidades netas del fundo por campaña, obteniendo 202,66 y 343,91 mm/ha para la primera y segunda campaña respectivamente y un total de 546,57 mm/ha-año, las necesidades de riego anuales son 14 123,27 m³/ha considerado la eficiencia de aplicación mejorada del sistema, cubriendo mayores necesidades que en la operación actual. Los valores de necesidades netas están dentro del rango entre 400 a 600 mm/ha para una plantación de producción intensiva señalado por Barriga (2008) y Mancero (2009).

4.12.2 Mejoras en la programación de riego

El cálculo del tiempo de riego es fundamental debido a que influye directamente con el agua proporcionada y es la suma de dos tiempos: el de llenado y el de avance. En la Tabla 27 se presentan la estimación de los tiempos adecuados de riego para cubrir las necesidades hídricas de todas las plantas de un surco, siendo para el mes crítico (octubre) de 10, 13, 19 y 17 min para los sectores 1, 2, 3 y 4 respectivamente.

4.12.3 Uniformidad de distribución de agua

Se estimó las uniformidades de distribución de agua actuales de 61,9; 56,5; 55,0 y 54,9 por ciento para los sectores 1, 2, 3 y 4 respectivamente (Tabla 28). Estos son los valores máximos

de uniformidad según las características actuales del sistema de riego con la menor pérdida de agua por infiltración profunda.

Los valores calculados son cercanos al 60 por ciento presentado en la Tabla 3 por Fernández *et al.* (2010) para relación de avance menor de 2 y pendiente uniforme. Por lo que se puede inferir que corresponden a un manejo adecuado de la aplicación de riego.

4.12.4 Mejoras en la eficiencia de aplicación

En la Figura 34 se presenta las eficiencias de aplicación mejoradas, estimadas con la programación del riego en cada sector, obteniendo un promedio ponderado de 38,71 por ciento, en el análisis se observó que el tiempo avance y llenado es un factor limitante para el incremento de la eficiencia la cual está en el rango de 30 y 60 por ciento Señalado por Nuñez (2015) para el método por surcos en contorno.

Para poder conseguir las mejoras en eficiencia planeadas es necesario la instalación de válvulas cada 20 m en la tubería de distribución, para poder regar un surco a la vez con tiempos de riego cortos, con estos tiempos se estimó eficiencias de aplicación mayores de 37,30; 37,87; 38,47 y 40,09 por ciento en los sectores 1, 2, 3 y 4 respectivamente (Figura 34).

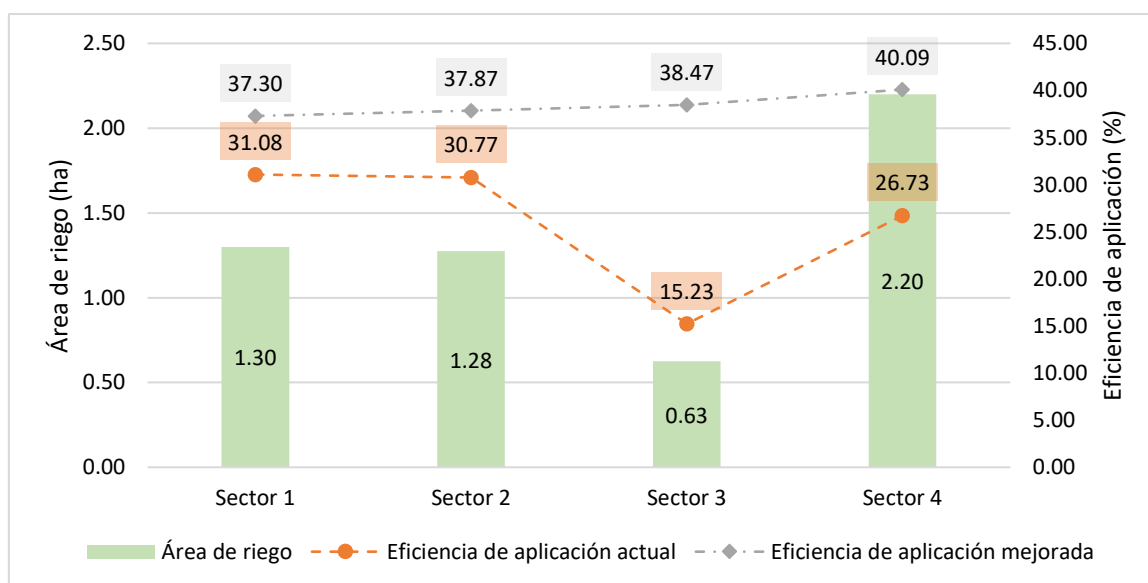


Figura 34: Resumen de eficiencias de aplicación en el fundo después de mejoras

Tabla 26: Necesidades hídricas del cultivo

Mes	ETo (mm/día)	ETo (mm/mes)	Kc*	ETc (mm/día)	ETc (mm/mes)	Pe (mm/mes)	Nn (mm/mes)	Nh (mm/mes)	Nh (m ³ /ha)
Enero	3,24	100,40	0,55	1,78	55,22	19,54	35,68	92,21	922,07
Febrero	3,10	86,84	0,55	1,71	47,76	23,70	24,06	62,18	621,76
Marzo	2,80	86,90	0,62	1,72	53,44	56,38	0,00	0,00	0,00
Abril	2,68	80,32	0,68	1,82	54,62	7,86	46,76	120,82	1 208,25
Mayo	2,37	73,48	0,68	1,61	49,97	0,00	49,97	129,11	1 291,14
Junio	2,37	71,06	0,65	1,54	46,19	0,00	46,19	119,35	1 193,47
Campaña 1	16,56	499,00		10,18	307,20	107,48	202,66	523,67	5 236,69
Julio	2,51	77,86	0,55	1,38	42,83	0,00	42,83	110,66	1 106,60
Agosto	2,86	88,74	0,55	1,57	48,81	0,00	48,81	126,11	1 261,14
Setiembre	3,33	99,87	0,62	2,05	61,42	0,00	61,42	158,70	1 587,04
Octubre	3,19	98,86	0,68	2,17	67,22	0,00	67,22	173,70	1 737,00
Noviembre	3,43	103,05	0,68	2,34	70,07	7,59	62,48	161,45	1 614,45
Diciembre	3,46	107,16	0,65	2,25	69,65	8,49	61,16	158,03	1 580,35
Campaña 2	18,78	575,53		11,75	360,00	16,09	343,91	888,66	8 886,58
Total	35,34	1 074,53		21,94	667,20	123,56	546,57	1 412,33	14 123,27

*Valor estimado de coeficiente de cultivo

4.12.5 Utilización de sistema de riego por goteo

La instalación de riego por goteo se plantea con el fin de incrementar la eficiencia de aplicación y cumplir los requerimientos hídricos con menor uso de agua.

Los resultados de la medición de presiones en las válvulas de salida en la tubería de distribución (ver Tabla 14) indican que se cuenta con presiones en un rango de 2 y 3 bares por lo que se planteó la implementación de un sistema de riego por goteo para alcanzar eficiencias de aplicación superiores al riego por gravedad, sin embargo, el diseño hidráulico deberá ser refinado tomando consideraciones topográficas y pérdidas de carga por fricción.

La Tabla 29 resume la programación del riego por goteo diseñada con el cual se cubre el requerimiento hídrico. Así mismo, se muestra la estimación de las necesidades netas anuales del fundo, obteniendo 546,57 mm/ha y las necesidades hídricas anuales de 6 073,01 m³/ha, cubriendo las necesidades con menor uso de agua que en la operación actual. El valor de necesidades hídricas es cercano al rango de 8 000 a 14 000 m³/ha-campaña señalado por Córdova (2009) y Young (2017) con riego por goteo, se considera adecuado ya que los valores del rango expuesto son de operaciones en zonas más cálidas que en la del estudio.

En las Tablas 30 y 31 se muestran los calendarios de riego que detallan los tiempos, la frecuencia y la cantidad en la que se debe aplicar el riego, para la primera campaña se necesita aplicar riegos que varían entre 2,7 y 3,0 horas y para la segunda campaña que varían entre 2,6 y 3,0 horas.

4.12.6 Mejoras en la conducción de agua

Debido a que la tubería de conducción no tiene un diseño hidráulico adecuado y no se ha recopilado información topográfica, las mejoras no pueden ser calculadas con exactitud; sin embargo, se pueden tomar medidas para mejorar la operación. Debido a la disposición de la tubería se considera que existen fenómenos de bolsas de aire y sedimentación, el sistema actual cuenta con tres válvulas de purga cercanas al fundo y ninguna ventosa de aire.

Se descartaron problemas de sobrepresiones en la tubería porque lleva funcionando tres años desde su puesta en marcha y no ha sufrido ninguna falla de este tipo, sin embargo, para mejorar la conducción se deben tomar las siguientes medidas:

- Instalación de válvulas de doble función en tres puntos elevados que fueron identificados junto al operador: ~0+050 km, ~0+760 km y ~1+200 km.
- Instalación de una válvula automática antes de la división de la tubería de cuatro pulgadas: ~1+500 km
- Instalación de una válvula de doble función en cada tubería de 2" (Después de la separación de la tubería de cuatro pulgadas): ~2+000

4.13 INVERSIÓN PARA MEJORAR EL RIEGO POR GRAVEDAD

En la Tabla 32, se presenta la inversión para la implementación de las mejoras de aplicación, programación de riego y mejoramiento de la conducción de agua tomando en cuenta la adquisición de válvulas y ventosas para una operación más adecuada del sistema actual.

Tabla 29: Resumen de programación de riego por goteo para el cultivo de tara

Mes	Ea (%)	Eto (mm/mes)	Kc*	Etc (mm/mes)	Pp (mm/mes)	Nn (mm/mes)	Nh (mm/mes)	Nh (m ³ /ha)
							**	**
Enero	90,00	100,40	0,55	55,22	19,54	35,68	39,65	396,49
Febrero	90,00	86,84	0,55	47,76	23,70	24,06	26,74	267,36
Marzo	90,00	86,90	0,62	53,44	56,38	0,00	0,00	0,00
Abril	90,00	80,32	0,68	54,62	7,86	46,76	51,95	519,55
Mayo	90,00	73,48	0,68	49,97	0,00	49,97	55,52	555,19
Junio	90,00	71,06	0,65	46,19	0,00	46,19	51,32	513,19
Campaña 1		499,00	3,73	307,20	107,48	202,66	225,18	2 251,78
Julio	90,00	77,86	0,55	42,83	0,00	42,83	47,58	475,84
Agosto	90,00	88,74	0,55	48,81	0,00	48,81	54,23	542,29
Setiembre	90,00	99,87	0,62	61,42	0,00	61,42	68,24	682,43
Octubre	90,00	98,86	0,68	67,22	0,00	67,22	74,69	746,91
Noviembre	90,00	103,05	0,68	70,07	7,59	62,48	69,42	694,21
Diciembre	90,00	107,16	0,65	69,65	8,49	61,16	67,95	679,55
Campaña 2		575,53		360,00	16,09	343,91	382,12	3 821,23
Total		1 074,53		667,20	123,56	546,57	607,30	6 073,01

*Valor estimado de coeficiente de cultivo

**Calculadas con una eficiencia de aplicación por goteo de 90 por ciento

Tabla 30: Resumen de calendario de riego por goteo para la campaña 1

Descripción	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
ETc (mm/día)	1,78	1,71	1,72	1,82	1,61	1,54
ETc (mm/mes)	55,22	47,76	53,44	54,62	49,97	46,19
Dosis (l/planta)	191,8	191,0	0,0	173,2	179,1	171,1
Tr (hr)	3,0	3,0	0,0	2,7	2,8	2,7
FR	6	8	0	4	4	4
N°riegos	5	3	0	7	7	7

Tabla 31: Resumen de calendario de riego por goteo para la campaña 2

Descripción	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
ETc (mm/día)	1,38	1,57	2,05	2,17	2,34	2,25
ETc (mm/mes)	42,83	48,81	61,42	67,22	70,07	69,65
Dosis (l/planta)	191,9	174,9	170,6	180,7	173,6	164,4
Tr (hr)	3,0	2,7	2,7	2,8	2,7	2,6
FR	5	4	3	3	3	3
N°riegos	6	7	10	10	10	10

Tabla 32: Inversión en accesorios para adopción de mejoras de aplicación

Insumos	Cant	P.U. (S/.)	Parcial (S/.)
Ventosa trifuncional 2" UNIRRAIN	5	230,00	1 150,00
Ventosa automática 2" UNIRRAIN	1	88,00	88,00
Collarín HDPE 110mm x 1"	3	12,00	36,00
Collarín HDPE 63mm x 1/2"	3	5,00	15,00
Tee manguera -manguera 63 mm ³	39	21,00	819,00
Adaptador hembra-macho 2"	39	4,00	156,00
Válvulas de bola PVC	39	22,00	858,00
Total (sin IGV)			3 122,00

V. CONCLUSIONES

1. El sistema de riego en el fundo Tanón presenta una eficiencia de riego estimada de 24,21 por ciento. Este porcentaje es bajo para un sistema de riego por gravedad, principalmente, debido al manejo actual del sistema de aplicación y la falta de ventosas en el sistema de conducción.
2. La eficiencia de conducción estimada es de 90,00 por ciento, valor tomado de rangos usuales para conducción por tubería, como consecuencia de las fugas a lo largo de la tubería.
3. La eficiencia de distribución estimada es de 98,07 por ciento, que indica el adecuado funcionamiento del sistema y operación de la bomba del fundo.
4. Las eficiencias de aplicación estimadas para los sectores de riego 1, 2, 3 y 4 fueron de 31,1; 30,8; 15,2 y 26,7 por ciento, respectivamente. El promedio ponderado fue de 27,4 por ciento, valor por debajo del rango esperado para un sistema de riego por surcos en contorno.
5. Con el buen manejo del recurso hídrico se estimaron las eficiencias de aplicación mejoradas con los tiempos de riego calculados mediante las ecuaciones de infiltración y de avance en los surcos. Estos fueron de 37,3; 37,9; 38,5 y 40,1 por ciento para los sectores 1, 2, 3 y 4, respectivamente. El promedio ponderado estimado fue de 38,7 por ciento, el cual es bajo, pero dentro del rango esperado, para un sistema de riego por surcos en contorno.

VI. RECOMENDACIONES

1. Con la finalidad de mejorar la estimación de los requerimientos hídricos de la tara este trabajo se puede tomar como punto de partida para investigaciones futuras sobre el requerimiento del cultivo y su rendimiento.
2. Se requiere la determinación de coeficientes de cultivo o coeficientes en riego de tara para tener mejores estimaciones sobre el requerimiento hídrico del cultivo con fines de producción de vainas en sistemas intensivos de monocultivo.
3. Realizar un mejoramiento del suelo mediante un programa de fertilización, adición de materia orgánica, compost y micronutrientes, puesto que bajo agricultura intensiva el cultivo consumirá los nutrientes del suelo en cada campaña.
4. Se requiere capacitación a los trabajadores del fundo para la adopción de los planes de mejoras y que puedan seguir correctamente las nuevas costumbres de riego.
5. Contar con un programa de mantenimiento del sistema de bombeo, para evitar paralizaciones en la operación por fallas mecánicas.
6. Realizar un estudio topográfico del eje de la tubería de conducción para el análisis de los fenómenos de aire y acumulación de sedimentos para su replanteo.
7. Implementar el sistema de riego por goteo debido a los gastos por bombeo y la baja eficiencia de aplicación del sistema actual, así mismo, cubrir las necesidades del cultivo con menor cantidad de agua.
8. Realizar los estudios de topografía para efectuar el diseño hidráulico adecuado del sistema de riego por goteo.

9. Instalación de ventosas de aire y válvulas de purga en la tubería de conducción para incrementar la capacidad del sistema eliminando las obstrucciones de la sección hidráulica por bolsas de aire y sedimentos.

10. Analizar la viabilidad de la instalación de un cultivo asociado de raíces superficiales en los surcos para el aprovechamiento del agua infiltrada en los surcos entre árboles de tara.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, R; Pereira, L; Raes, D; Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo: Guías para determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO riego y drenaje Manual 56. Roma.
- Arango, J. (1998). Métodos de riego. (p 17-33). Recuperado de <http://bdigital.unal.edu.co/7682/4/70064357>. 1998 Parte2.pdf
- Bardález, A. (2012). Estudio teórico del efecto de la altitud y la utilización de mezclas Bx sobre el funcionamiento de motores encendido por compresión (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú. Recuperado de http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/1535/BARDALEZ_BARDALEZ_ALVARO_MEZCLAS_BX_MOTORES_COMPRESION.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Browder, C; Heibloem M. (1986). Irrigation Water Management. Roma, Italia.
- Cerna, L. (2007). Agrotecnia sostenible. Universidad Privada Antenor Orrego. (p 120-135). Trujillo, Perú.
- Faci, J; Playan, E. (1994). Principios básicos del riego por superficie. Madrid, España. Recuperado de https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1994_10-11.pdf
- Fernández, R; Milla, M; Ávila, R; Berengena, J; Gavilán, P; Oyonarte, N. (2010). Manual de riego para agricultores módulo 2 Riego por superficie. Sevilla, España. Recuperado de

https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160940Riego_por_superficie_e_baja.pdf

- Gandarillas, I. (2011). Problemas típicos de las ventosas, soluciones técnicas disponibles y criterios de selección de válvulas de aire. Recuperado de <http://cidta.usal.es/cursos/tuberias/PDFs/Unidad%203/u3c3/T11.09.pdf>
- Gilles, C. 2005. Aire en tuberías de agua. (2° ed.). U.S.A. Recuperado de <https://aplv.org/files/Aire%20En%20Tuberias.pdf>
- Goycochea, R. (2010). Evaluación de taninos y goma de fruta de la tara *Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze provenientes de las lomas de Atiquipa, Arequipa-Perú. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- GRC (Gobierno Regional de Cajamarca, Perú). (2012). Zonificación Ecológica Económica de la Región Cajamarca. Cajamarca, Perú. (Mapas de ordenamiento territorial de la región Cajamarca).
- Hargreaves, G; Samani, Z. (1985). Reference crop evapotranspiration from temperature. (p 96-99). doi: 10.13031/2013.26773
- Hudson, N. (1997). Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y la escorrentía. Bedford, Reino Unido. Recuperado de <http://www.fao.org/3/T0848S/T0848S00.htm>.
- INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática, Perú). (2012). Resultados Definitivos IV Censo Nacional Agropecuario. Recuperado de <https://www.agrorural.gob.pe/dmdocuments/resultados.pdf>
- INGEMMET (Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, Perú). (2017). Mapa Geológico del cuadrángulo 15-f de Cajamarca. Lima, Perú.

- Jordán, A. (2006). Manual de edafología. Sevilla. España. Recuperado de <http://files.infoagroconstanza.webnode.es/200000017-c2dccc3d62/edafologia%20del%20suelo.pdf>
- Mancero, L. (2008). La Tara (*Caesalpinia spinosa*) en Perú, Bolivia y Ecuador: Análisis de la Cadena Productiva en la Región. Quito, Ecuador: Programa Regional ECOBONAINTERCOOPERATION. Recuperado de: <https://www.asocam.org/sites/default/files/publicaciones/files/bcbe5cf56c6e85153383169ed426f265.pdf>
- Marquina, P. (2013). Manejo agronómico del cultivo de tara (*Caesalpinia spinosa* Molina) en la comunidad San Pedro de Morrope, distrito de Morrope. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima. Perú.
- Mitma, S. (2015). Requerimiento hídrico y programación de riego en el cultivo de tara (*Caesalpinia spinosa*). Pacaycasa-Ayacucho 2760 msnm. (Tesis de pregrado, Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga). Recuperada de http://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/handle/UNSCH/3121/TESIS%20AG1197_Mit.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Monge, M. (2017). El aire en las tuberías. [Artículo en línea]. Recuperado de <https://www.universidadderiego.com/el-aire-en-las-tuberias/>
- Nuñez, A. (2015). Manual de cálculo de eficiencia para sistemas de riego. Lima, Perú. Recuperado de https://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/manual-riego/manual_determinacion_eficiencia_riego.pdf
- Olarte, W. (1987). Manual de riego por gravedad. Lima, Perú: COMISION DE COORDINACION DE TECNOLOGIA ANDINA. Recuperado de <https://es.slideshare.net/MARISTELAQC/manual-de-riego-por-gravedad-walter-olarte-1987>

- Porta, J; López, M; Roquero, C. (2003). Edafología para la agricultura y el medio ambiente. (3° ed.). Barcelona, España: Ediciones Mundi Prensa.
- ONERN (Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales, Perú). (1976). Mapa Ecológico del Perú. Lima, Perú. Recuperado de <http://mapasplanosperu.blogspot.com/2011/02/mapa-ecologico-del-peru-onern-1976.html>
- PSI (Programa Subsectorial de Irrigación, Perú). (2004). Programa de Entrenamiento en Servicio – PES. Determinación de eficiencias de conducción y distribución. Lima, Perú: PROYECTO SUBSECTORIAL DE IRRIGACION. Recuperado de http://www.psi.gob.pe/wp-content/uploads/2016/03/biblioteca_manuales_determinacion_eficiencias.pdf
- Sandoval, J; Varas, E. (1989). Riego por surcos. Temuco, Chile.
- Santos, L; De Juan, J; Picornell, R; Tarjuelo, J. (2010). El riego y sus tecnologías. Centro Regional de Estudios del Agua. Albacete, España: CREA-UCLM
- Samani, Z. (2000). Estimating solar radiation and evapotranspiration using minimum climatological data. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. doi: 10.1061/(ASCE)0733-9437(2000)126:4(265)
- Silva, A; Ponce de León, J; García, F; Durán, A. (1988). Aspectos metodológicos en la determinación de la capacidad de retener agua de los suelos del Uruguay. Montevideo, Uruguay: Universidad de la República, Facultad de Agronomía
- Vásquez, A; Vásquez, I; Vásquez, C; Cañamero, M. (2017). Fundamentos de ingeniería de riegos. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima.
- Villanueva, C. (2007). El oro verde de los incas. Lima, Perú: AGRUM

- Villena, J. (2018). Variabilidad morfológica de la taya, *Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze, en bosques naturales de nueve provincias de Cajamarca, Perú (Tesis de maestría, Universidad Nacional de Cajamarca). Recuperada de <http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/2235/TESIS%20MAESTRIA%20VILLENNA%20VEL%c3%81SQUEZ%20JIM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

VIII. ANEXOS

ANEXO 1: COSTOS DE INSTALACIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

El costo de la instalación del sistema de riego se presenta en la Tabla 33, comprende la adquisición de las tuberías de HDPE que constituyen los sistemas de conducción y distribución de agua para el fundo, además de la compra de una bomba centrífuga y un motor diésel utilizados para la distribución hasta las salidas de agua.

Tabla 33: Costo de la instalación del sistema de riego actual

Descripción del insumo	Cantidad (m)	Costo unitario (S/.)	Costo parcial (S/.)
Tuberías			51 424,41
Tubería HDPE 110 MM (4") PN 8 SDR 17, ISO 4427-2008 Rollo x 100 m	1100	16,63	18 288,60
Tubería HDPE 63 MM (2") PN 6 SDR 21 87 PSI, ISO 4427-2008 Rollo X 100 m	1500	4,39	6579,00
Unión PP P / HDPE 110MM (4")	10	129,20	1292,00
Unión PP P / HDPE 63MM (2")	10	28,44	284,41
Tubería HDPE80 110MM PN8, ISO 4427 rollo x 100 m	1000	14,31	14 314,00
Tubería HDPE80 63MM PN10, ISO 4427 rollo x 100 m	500	5,64	2822,00
IGV (18%)			7844,40
Equipos			7334,18
Bomba centrífuga, Hunan Credo PUMP, MD12-25*3	1	4787,79	4787,79
Base de acero, S/M, S/M	1	299,24	299,24
Motor eléctrico, Siemens China, S/M	1	1823,55	1823,55
Aduanas	1	423,6	423,6
Total			58 758,59

Se presenta en la Tabla 34 el costo promedio mensual para la operación del sistema, donde los gastos más elevados son el costo de combustible y de la mano de obra.

Tabla 34: Costo de la operación y mantenimiento mensual actual

Costo de operación y mantenimiento	Unidad	Cantidad	Precio unitario (S/.)	Precio parcial (S/.)
Costo de mano de obra				1875,0
Trabajadores	jornal	2	750,0	1500,0
Guardianía y almacenero	jornal	0.5	750,0	375,0
Combustible para riego				1000,0
Petróleo	glb	1	1000,0	1000,0
Gastos administrativos				210,0
Administrador	glb	1	100,0	100,0
Servicios contables	glb	1	100,0	100,0
Otros gastos administrativos	glb	5%	200,0	10,0
Fertilización				255,0
Fertilizantes N P K Ca Mg Zn	glb	0.17	1500,0	255,0
Total mensual				3340,0

En cuanto a la fertilización es un aspecto muy importante en la producción de tara debido a que si se quiere obtener un rendimiento alto se debe tratar al cultivo como un frutal, sin embargo, en el fundo solo se ha realizado una fertilización. Por lo que es recomendable crear un plan de fertilización para el cultivo, debido a que puede ser una razón de rendimientos bajos. Considerando una fertilización NPK con un porcentaje menor de nitrógeno porque la tara es un fijador (Mancero, 2009), la fertilización debe ser al inicio y a mediados de cada campaña.

ANEXO 2: DENSIDAD APARENTE EN TRES CALICATAS

Tabla 35: Estimación de la densidad aparente del fondo

Calicata 1 - muestra a 20 cm					
Izquierda		Centro		Derecha	
Ps (gr)	3,6	Ps (gr)	3,7	Ps (gr)	3,7
Psh (gr)	193,9	Psh (gr)	187,5	Psh (gr)	186,8
Diam (gr)	5	Diam (gr)	5	Diam (gr)	5
H (cm)	5,2	H (cm)	5,2	H (cm)	5,2
Pss (gr)	150,9	Pss (gr)	152,1	Pss (gr)	159,5
da	1,44	da	1,45	da	1,53

Calicata 2 - muestra a 20 cm					
Izquierda		Centro		Derecha	
Ps (gr)	3,6	Ps (gr)	3,6	Ps (gr)	3,7
Psh (gr)	195,3	Psh (gr)	210	Psh (gr)	214,2
Diam (gr)	5,2	Diam (gr)	5	Diam (gr)	5,2
H (cm)	5,1	H (cm)	5,2	H (cm)	5,1
Pss (gr)	166,6	Pss (gr)	179	Pss (gr)	186,1
da	1,50	da	1,72	da	1,68

Calicata 3 - muestra a 20 cm					
Ps (gr)	3,6	Ps (gr)	3,6	Ps (gr)	3,6
Psh (gr)	200	Psh (gr)	208,2	Psh (gr)	215,2
Diam (gr)	5,2	Diam (gr)	5,2	Diam (gr)	5
H (cm)	5,1	H (cm)	5,2	H (cm)	5,2
Pss (gr)	171,4	Pss (gr)	188,1	Pss (gr)	195,5
da	1,55	da	1,67	da	1,88

Tabla 36: Densidad aparente promedio

Calicata	Profundidad	da
1	20 cm	1,47
2	20 cm	1,64
3	20 cm	1,61
Promedio		1,57

ANEXO 3: CAPACIDAD DE CAMPO

Tabla 37: Estimación de la capacidad de campo por el método gravimétrico

Capacidad de Campo (0+500 m)						
Día 1	Izquierda	Centro	Derecha			
	Ps (gr)	3,6	Ps (gr)	3,6	Ps (gr)	3,6
	Psh (gr)	91,2	Psh (gr)	75,5	Psh (gr)	81,3
	Pss (gr)	75,2	Pss (gr)	62,6	Pss (gr)	66,9
	W (%)	22,35	W (%)	21,86	W (%)	22,75
Día 2	Izquierda	Centro	Derecha			
	Ps (gr)	3,7	Ps (gr)	3,6	Ps (gr)	3,7
	Psh (gr)	105,9	Psh (gr)	94,8	Psh (gr)	95,3
	Pss (gr)	89,8	Pss (gr)	80,1	Pss (gr)	80,5
	W (%)	18,70	W (%)	19,22	W (%)	19,27
Día 3	Izquierda	Centro	Derecha			
	Ps (gr)	3,5	Ps (gr)	3,6	Ps (gr)	3,7
	Psh (gr)	91,2	Psh (gr)	83	Psh (gr)	100
	Pss (gr)	78,3	Pss (gr)	70	Pss (gr)	84,7
	W (%)	17,25	W (%)	19,58	W (%)	18,89
Día 4	Izquierda	Centro	Derecha			
	Ps (gr)	3,6	Ps (gr)	3,6	Ps (gr)	3,6
	Psh (gr)	48,9	Psh (gr)	65	Psh (gr)	53,9
	Pss (gr)	42	Pss (gr)	56,1	Pss (gr)	46,9
	W (%)	17,97	W (%)	16,95	W (%)	16,17
Día 5	Izquierda	Centro	Derecha			
	Ps (gr)	3,6	Ps (gr)	3,6	Ps (gr)	3,6
	Psh (gr)	45,6	Psh (gr)	48,1	Psh (gr)	41
	Pss (gr)	39,1	Pss (gr)	41,8	Pss (gr)	35,2
	W (%)	18,31	W (%)	16,49	W (%)	18,35

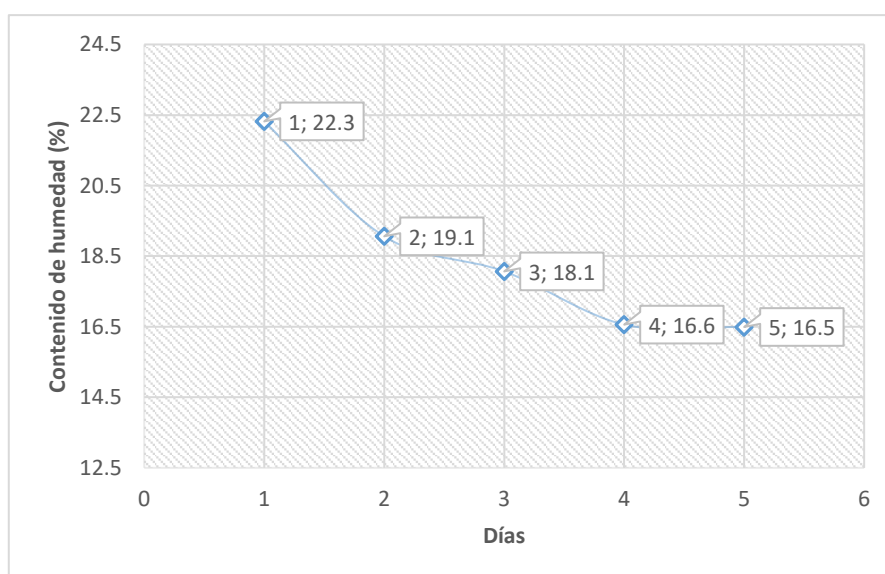


Figura 35: Curva de contenido de humedad para hallar la capacidad de campo

ANEXO 4: PRUEBA DE INFILTRACIÓN



a. Instalación de balde para prueba



b. Registro de lecturas



c. Toma de datos con regla

Figura 36: Pasos de prueba de infiltración

Tabla 38: Datos de la prueba de infiltración

Tiempo (min)	T.acum	Lecturas	Lam infiltrada (cm)	Lam infiltrada acumulada	Velocidad de infiltración (cm/hr)	Velocidad de infiltración acumulada	
0	0	7,5		0			
1	1	9	1,5	1,5	90	90	
1	2	9,7	0,7	2,2	42	66	
1	3	10	0,3	2,5	18	50	
1	4	10,5	0,5	3	30	45	
1	5	10,9	0,4	3,4	24	40,8	
1	6	11,3	0,4	3,8	24	38	
2	8	11,8	0,5	4,3	15	32,25	
2	10	12,2	0,4	4,7	12	28,2	
5	15	13,2	1	5,7	12	22,8	
5	20	13,9	0,7	6,4	8,4	19,2	
5	25	14,8	4,2	0,9	7,3	10,8	17,52
5	30	5	0,8	8,1	9,6	16,2	
10	40	6,9	1,9	10	11,4	15	
10	50	8,6	1,7	11,7	10,2	14,04	
10	60	10,4	1,8	13,5	10,8	13,5	
20	80	13,1	2,7	16,2	8,1	12,15	
20	100	15,3	2,2	18,4	6,6	11,04	
20	120	17,2	1,9	20,3	5,7	10,15	

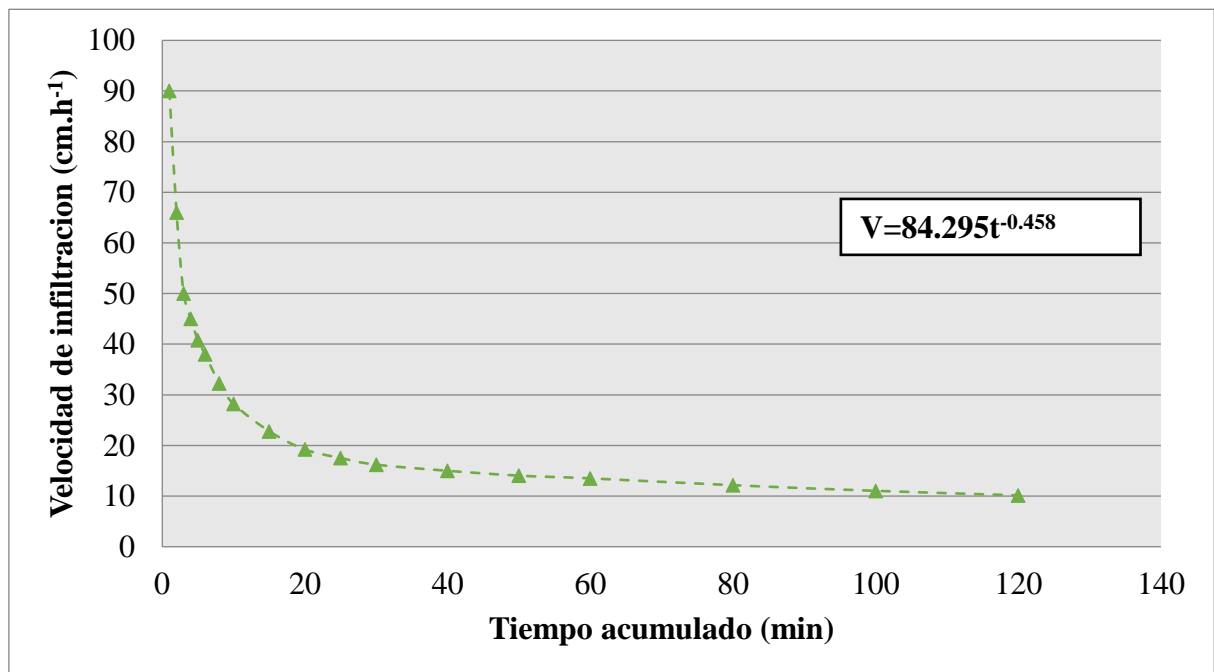


Figura 37: Gráfico y ecuación de velocidad de infiltración

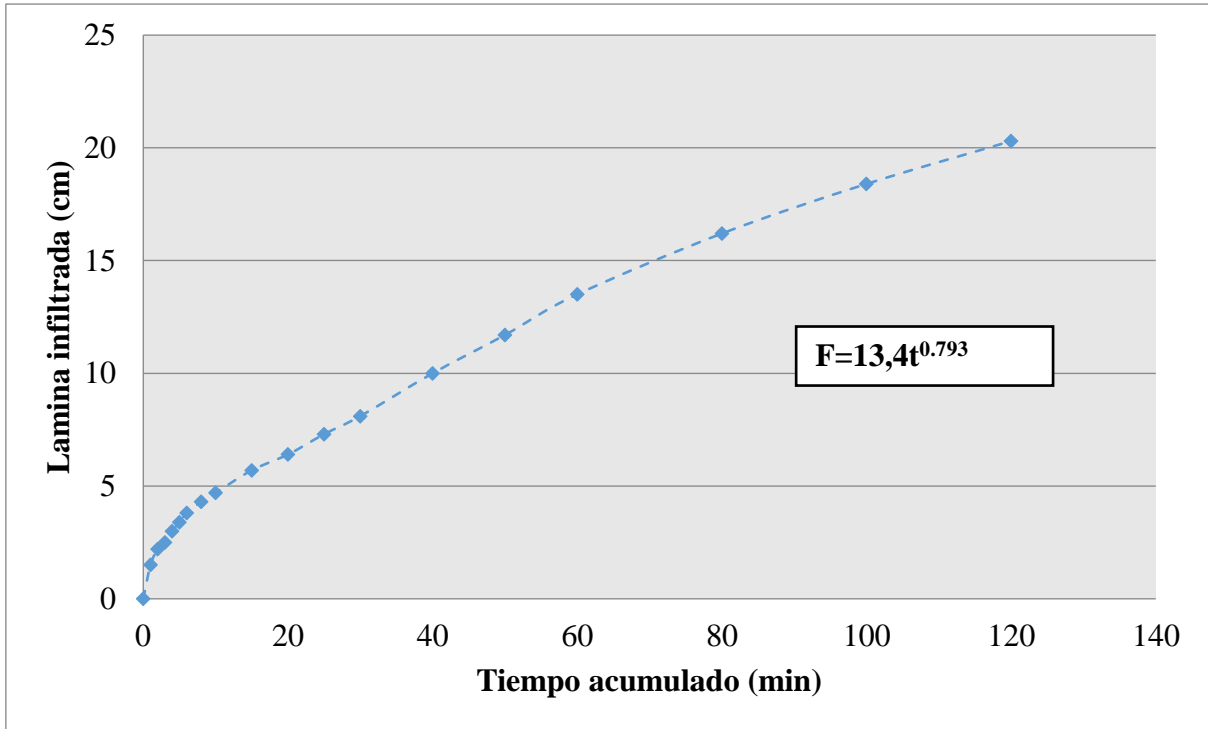


Figura 38: Gráfico y ecuación de lámina infiltrada acumulada

ANEXO 5: PRUEBAS DE AVANCE

Tabla 39: Prueba de avance con 0,39 l/s

Prueba a la altura de la Válvula 0+284,6		
7 surcos	$Q = 0,39 \text{ l/s}$	
Planta	Longitud (m)	Tiempo (min)
1	6,3	0,201
2	11,3	0,435
3	16,2	1,039
4	22,6	2,540
5	29,0	4,447
6	35,3	6,091
7	42,5	8,357
8	50,1	9,932
9	54,5	10,760

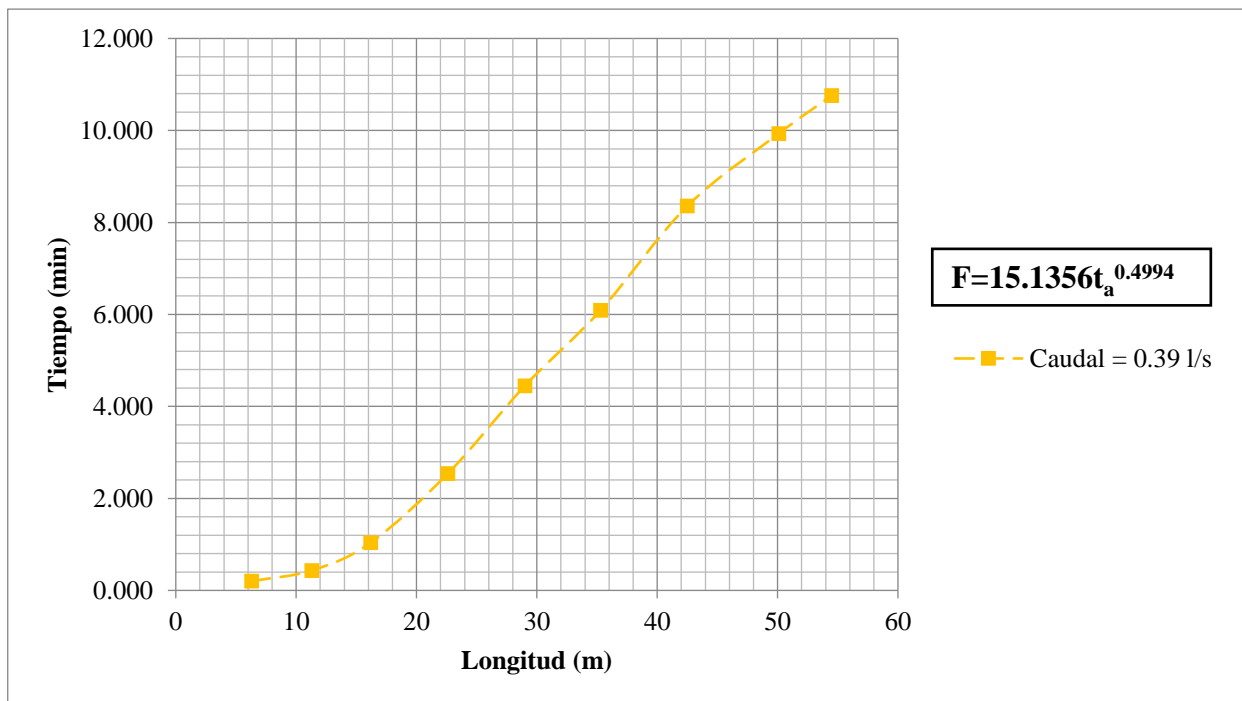


Figura 39: Gráfico y ecuación de avance para caudal de 0,39 l/s

Tabla 40: Prueba de avance con 3 l/s

Prueba a la altura de la Válvula 0+355.5 m		
1 surco	Q= 3,0 l/s	
Planta	Longitud (m)	Tiempo (min)
1	3,2	0,215
2	9,7	0,527
3	14,7	0,889
4	20,2	1,497
5	26,2	2,470
6	34,2	3,492
7	40,2	4,342
8	44,6	4,929
9	51,8	6,048
10	61,9	7,095
11	67,4	7,870
12	72,2	8,740
13	78,2	9,679
14	84,6	10,443
15	90,5	11,279
16	96,3	11,833
17	103,1	12,641
18	108,9	13,669
19	114,9	14,429
20	120,4	15,448
21	126,4	16,326
22	131,9	16,894

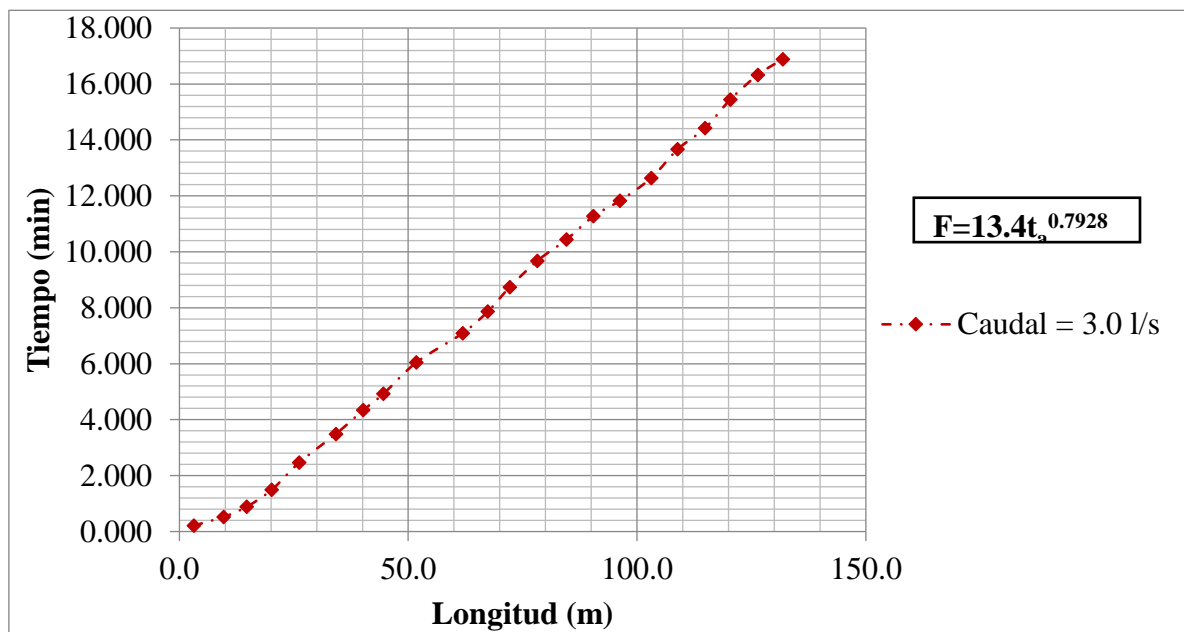



Figura 40: Gráfico y ecuación de avance para caudal de 3 l/s

ANEXO 6: ANÁLISIS DE SUELO



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
 DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
 Av. La Molina s/n. Telefax: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



ANÁLISIS DE SUELO - CARACTERIZACIÓN

SOLICITANTE : FERNANDO CORDOVA ESTABILIS
PROYECTO : Tanon
PROCEDENCIA : Cajamarca - San Miguel - Caserio Tanon
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 30 de Octubre del 2015

Número de muestra		CE dS / m Relación 1:1	Análisis Mecánico				pH Relación 1:1	M.O. %	P ppm	K ppm	CaCO ₃ %	Cationes Cambiables					
Lab.	Campo		Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura						CIC total	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Al ³⁺ +H ⁺
												Cmol (+) / Kg					
8547	Suelo	0.40	69.28	20.72	10.00	Franco arenoso	7.61	0.99	46.34	786.00	0.45	36.90	18.81	4.58	0.15	1.21	-

Número de muestra		CC	Fe	Cu	Zn	Mn
Lab.	Campo		ppm	ppm	ppm	ppm
8547	Suelo	11.30	1.77	0.40	0.86	18.64

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO

ING. ANTONIO ENCISO GUTIERREZ
JEFE DE LABORATORIO



Figura 41: Análisis de caracterización de suelo

ANEXO 7: PANEL FOTOGRÁFICO



Figura 42: Tubería de conducción en peñascos km 1.4



Figura 43: Tubería de conducción en peñascos km 1.8



Figura 44: Sistema de riego por surcos en contorno y pozas



Figura 45: Vaina de tara de árbol del fondo



Figura 46: Prueba de presión en válvula



Figura 47: Izquierda lote con riego, derecha lote sin riego

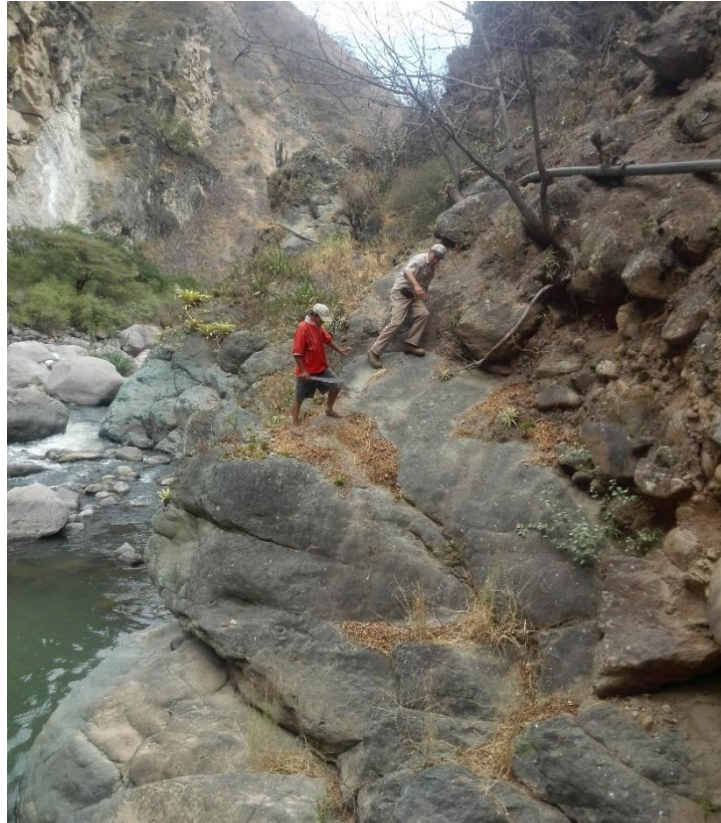


Figura 48: Camino hacia la toma rústica del río San Miguel



Figura 49: Bomba multietapa del fundo

ANEXO 8: DATOS TÉCNICOS DE LA BOMBA DEL FUNDO

Figura 50: Datasheet de la bomba multietapa MD12-25x3 – parte 1



PUMP DATA SHEET									
Customer	FASM S.A.C				Model NO	MD12-25*3			
Location	Peru				Date	2016.2.20			
Equip. name					Made by	Check by	Appr'd by		
Item No					Abby				
Service									
Quantity	1				Pump drive	<input checked="" type="checkbox"/> Motor	<input type="checkbox"/> Engine		
OPERATION CONDITION									
Liquid					Capacity	14.4		<input checked="" type="checkbox"/> m ³ /hr	<input type="checkbox"/> USGPM
Temp			<input checked="" type="checkbox"/> °C	<input type="checkbox"/> °F	Pressure	suction	<input checked="" type="checkbox"/> kgf/cm ²	<input type="checkbox"/> PSIG	
Density	kg/dm ³					discharge	<input checked="" type="checkbox"/> kgf/cm ²	<input type="checkbox"/> PSIG	
Viscosity	CP					differential	<input type="checkbox"/> kgf/cm ²	<input type="checkbox"/> PSIG	
Vapor. pr			<input type="checkbox"/> kgf/cm ²	<input type="checkbox"/> PSIG	Total head	100		<input checked="" type="checkbox"/> m	<input type="checkbox"/> ft
Solid. Cont					NPSHa		<input type="checkbox"/> m	<input type="checkbox"/> ft	
PERFORMANCE									
Speed	3550				rpm	NPSHr		<input checked="" type="checkbox"/> m	<input type="checkbox"/> ft
Efficiency	44				%	Shut-off head		<input checked="" type="checkbox"/> m	<input type="checkbox"/> ft
Shaft power	8.91				kw	Hydraulic test		<input checked="" type="checkbox"/> m	<input type="checkbox"/> ft
Remark									
CONSTRUCTION									
Pump type	Multi-stage pump				Impeller type	<input checked="" type="checkbox"/> Close	<input type="checkbox"/> Open	<input type="checkbox"/> Semi-open	
Flange	Size	Rating	Facing	Position	Bearing	<input type="checkbox"/> Sliding	<input checked="" type="checkbox"/> Roller	<input type="checkbox"/> Thrust	<input type="checkbox"/> Ball
Suction	50	0.6 MPa	RF	Side	Lubricant	<input checked="" type="checkbox"/> Grease	<input type="checkbox"/> Oil	<input type="checkbox"/> Water	<input type="checkbox"/> Self
Discharge	40	4.0 Mpa	RF	Upward	Transmission	<input checked="" type="checkbox"/> Direct	<input type="checkbox"/> Belt	<input type="checkbox"/> Gear	
Casing mount	<input type="checkbox"/> Center-line		<input checked="" type="checkbox"/> Foot	<input type="checkbox"/> Vertical	Coupling	<input type="checkbox"/> Law clutch	<input type="checkbox"/> Gear	<input type="checkbox"/> Spacer	<input checked="" type="checkbox"/> Flange
Split	<input type="checkbox"/> Horizontal		<input checked="" type="checkbox"/> Radial		Rotation viewed from DR	<input checked="" type="checkbox"/> CW		<input type="checkbox"/> CCW	
Installation					Shaft seal	<input checked="" type="checkbox"/> Packing		<input type="checkbox"/> Mech. Seal	
NO.of stage	3				Remark				

Figura 51: Datasheet de la bomba multietapa MD12-25x3 – parte 2



MATERIAL									
Suction & discharge stages	Ductile Iron			Middle Stages			Ductile Iron		
Impeller	Ductile Iron			Balance Disc.			Ductile Iron		
Shaft	Steel			Bearing			H.W.L.(by china)		
Impeller ring	Cast Iron			Shaft sleeve			Steel		
Casing ring	/			Baseplate			Carbon steel		
Remark									
MOTOR									
Supplier	Siemens motor china			Pole			2		
Mounted by				Phase			3		
Made by	China			Herz			<input checked="" type="checkbox"/> 60HZ		<input type="checkbox"/> 50HZ
Type	1TL0001-2DA29-0AAA5-Z=M2A			Voltage			220V		
Rated output	11KW			Remark			IP55/F		
ACCESSORIES									
Coupling	<input checked="" type="checkbox"/> YES	<input type="checkbox"/> NO	Anachor bolts	<input checked="" type="checkbox"/> YES	<input type="checkbox"/> NO	Coupling cover	<input checked="" type="checkbox"/> YES	<input type="checkbox"/> NO	
Baseplate	<input checked="" type="checkbox"/> YES	<input type="checkbox"/> NO	Mating flange	<input checked="" type="checkbox"/> YES	<input type="checkbox"/> NO	Gauge	<input type="checkbox"/> YES	<input checked="" type="checkbox"/> NO	
Remark									
WEIGHT									
Pump	70	kg	Motor	101	kg				
Baseplate	80	kg	Total weight	251	kg				
APPEND DRAWINGS									
Outline drawing	<input checked="" type="checkbox"/> YES	<input type="checkbox"/> NO	Section drawing	<input checked="" type="checkbox"/> YES	<input type="checkbox"/> NO				
Remark									

ANEXO 9: PLANOS DE SISTEMA HIDRÁULICO ACTUAL

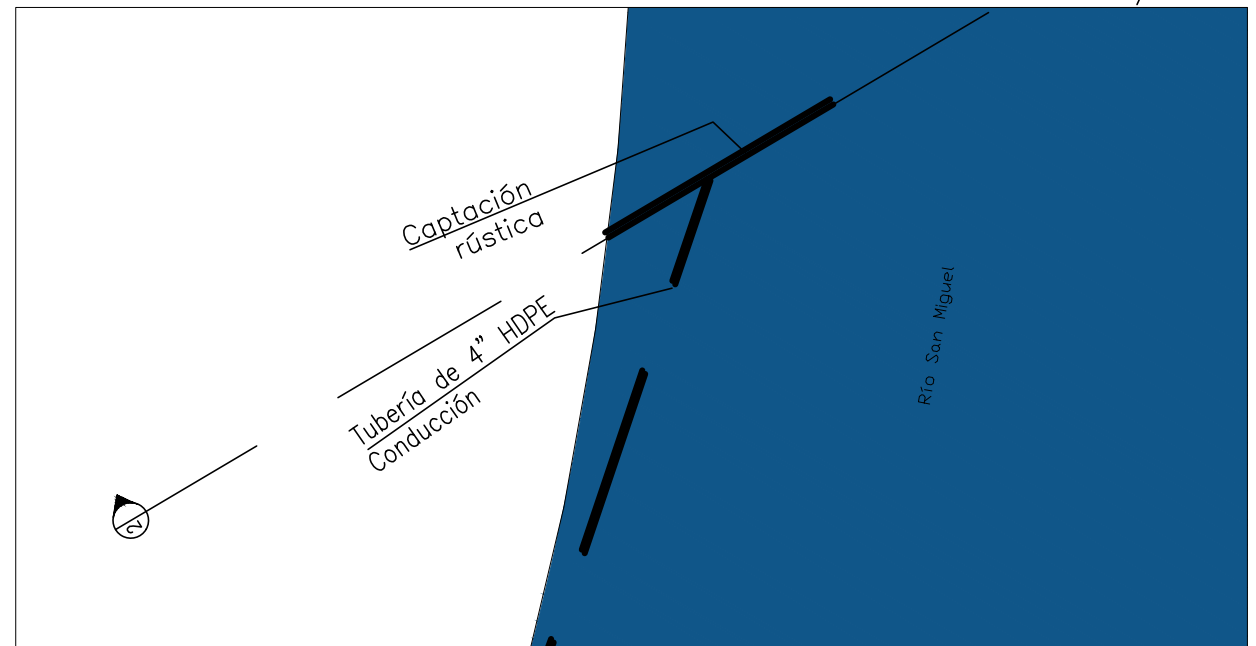
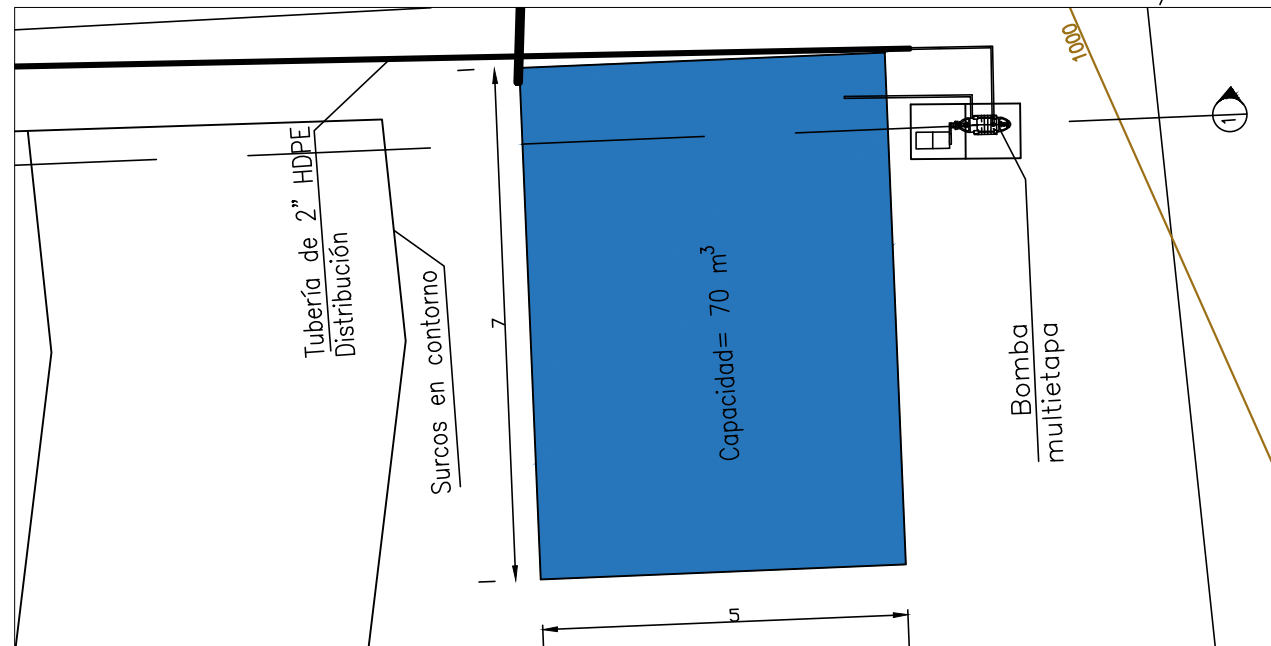


VISTA 1 - RESERVORIO

E: 1/100

VISTA 2 - CAPTACIÓN

E: 1/100



NOTAS GENERALES
 Si no se indica lo contrario, todas las medidas presentadas están en metros.

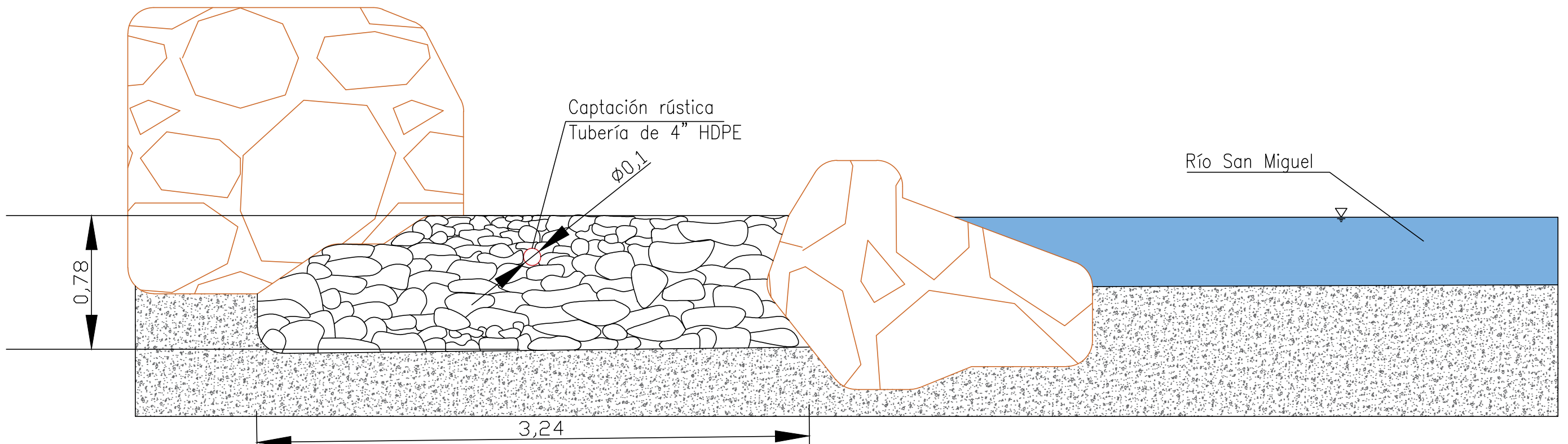
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

PROYECTO:
 ESTIMACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL RIEGO POR GRAVEDAD EN EL CULTIVO DE TARA (*Caesalpinia spinosa*), FUNDO TANÓN, REGIÓN CAJAMARCA

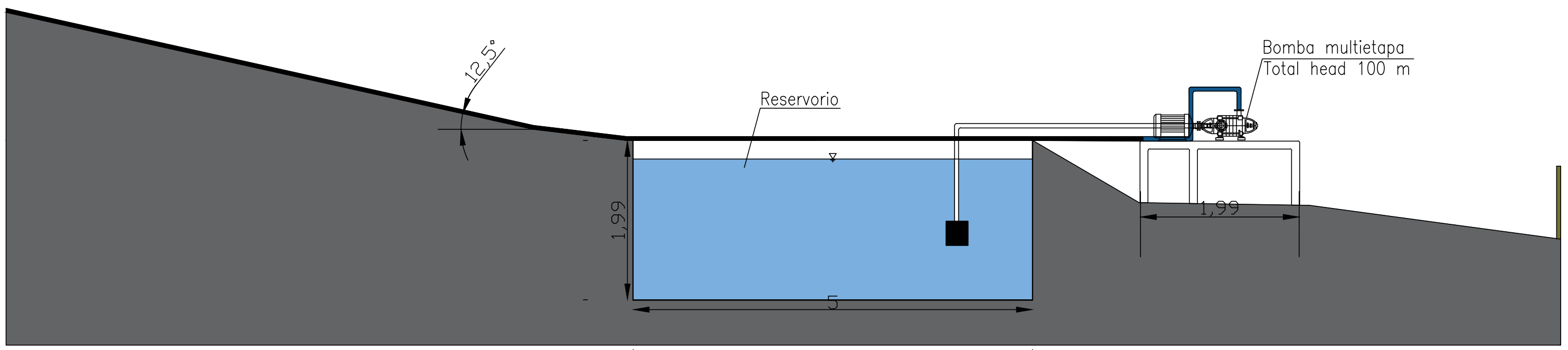
CONTENIDO:
 ESQUEMA HIDRÁULICO DEL FUNDO TANÓN

N° PLANO: PL-TE-N01 ESCALA: INDICADA LAMINA N° 1-DE-1 REV. 1


C O R T E 1



C O R T E 2



NOTIAS_GENERALES
 Si no se indica lo contrario, todas las medidas presentadas estan en metros.

 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA			
PROYECTO: ESTIMACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL RIEGO POR GRAVEDAD EN EL CULTIVO DE TARA (<i>Caesalpinia spinosa</i>), FUNDO TANÓN, REGIÓN CAJAMARCA			
CONTENIDO: CORTES 1 Y 2			
N° PLANO:	ESCALA:	LAMINA N°	REV.
PL-TE-NO2	INDICADA	1-DE-1	△