

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN
CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



TESIS:

**Evaluación de coeficiente de uniformidad de sistema de riego por
aspersión en el cultivo de arveja (*Pisum sativum* L.) en
Chacabamba a 2955 msnm - Ayacucho, 2023**

Para optar el título profesional de:

INGENIERA AGRÍCOLA

PRESENTADO POR:

Bach. Lyss Kelly AÑANCA HUAMAN

ASESOR:

MSc. César Vidal GUTIÉRREZ NINAHUAMÁN

AYACUCHO - PERÚ

2024

AGRADECIMIENTO

Por haber hecho realidad un reto más de mi vida, expreso mis sinceros agradecimientos:

- A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, por brindarme la oportunidad de formarme como profesional y por el apoyo en el desarrollo de esta tesis.
- A la Facultad de Ciencias Agrarias, por su constante compromiso con la excelencia académica y por proporcionarme los recursos necesarios y para llevar a cabo esta investigación
- A la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola, por su invaluable orientación y por fomentar en mí el amor por la investigación y el conocimiento.
- Al Asesor de Tesis, M.Sc. César Vidal Gutiérrez Ninahuamán, por su guía, paciencia y sabios consejos a lo largo de este proceso. Su dedicación y apoyo fueron fundamentales para el éxito de este trabajo.
- Agradezco a todos aquellos que, de una u otra forma, contribuyeron a la culminación de este trabajo. Su apoyo y aliento fueron fundamentales en este camino
- Sin su ayuda este logro no habría sido posible. Muchas gracias.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	i
RESUMEN	14
ABSTRACT	15
INTRODUCCIÓN	16
Objetivo general.....	17
Objetivos específicos	17
1. CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO.....	18
1.1. Antecedentes.....	18
1.1.1. Antecedentes internacionales	18
1.1.2. Antecedentes nacionales	19
1.1.3. Antecedentes locales.....	20
1.2. Riego por aspersión	21
1.3. Ventajas y desventajas de riego tecnificado por aspersión	21
1.3.1. Ventajas del método.....	21
1.3.2. Desventajas del método	22
1.4. Componentes de riego tecnificado por aspersión	22
1.4.1. Red de tuberías principales	22
1.4.2. Red de distribución	22
1.4.3. Válvula de control.....	23
1.4.4. Válvula de aire.....	23
1.4.5. Válvulas de purga	23
1.4.6. Aspersores	24
1.5. Estudio topográfico para los sistemas de riego	25
1.5.1. Topografía.....	25
1.5.2. Levantamiento topográfico	26
1.6. Muestreo de suelo utilizando pala	26

1.7.	Velocidad de infiltración.....	28
1.8.	Criterios de diseño agronómico de un sistema de riego por aspersión	29
1.8.1.	Información previa para el diseño del sistema de riego por aspersión	29
1.8.2.	Evapotranspiración potencial de referencia (ET _o)	29
1.8.3.	Coeficiente de cultivo	30
1.8.4.	Evapotranspiración del cultivo a regar	30
1.8.5.	Precipitación efectiva.....	31
1.8.6.	Demandad agua de proyecto	32
1.8.7.	Dosis neta	33
1.8.8.	Dosis bruta.....	33
1.8.9.	Eficiencia de aplicación	33
1.8.10.	Máximo intervalo entre riegos	34
1.8.11.	Caudal necesario	34
1.8.12.	Selección del aspersor para sistemas estacionarios fijos	34
1.8.13.	Precipitación media del sistema. Marco de riego y solape.....	34
1.8.14.	Duración del riego.....	36
1.8.15.	Número de bloques por día.....	37
1.8.16.	Número de aspersores por bloque.....	37
1.8.17.	Caudal definitivo del sistema.....	37
1.9.	Evaluación de la uniformidad de riego por aspersión.....	38
1.10.	Coeficiente de uniformidad (CU).....	38
1.11.	Uniformidad de distribución.....	39
1.12.	Diseño hidráulico de un sistema de riego por aspersión	39
1.12.1.	Premisas de cálculo	39
1.12.2.	Sector, bloque y postura de riego.....	39
1.12.3.	Diseño de laterales	39
1.12.4.	Dimensionado del resto de tuberías	40

1.13.	Cultivo de arveja (<i>Pisum sativum</i> L.)	41
1.13.1.	El origen del cultivo de arveja (<i>Pisum sativum</i> L.)	41
1.13.2.	Altitud y ciclo de cultivo	42
1.13.3.	Clasificación taxonómica	42
1.14.	Diseño de redes en los sistemas de riego.....	48
1.14.1.	Trazado de la red.....	48
1.14.2.	Determinación de diámetro de la tubería.....	48
1.15.	Programas de diseño para sistemas de riego.....	48
1.16.	SIGOPRAM.....	48
2.	CAPÍTULO II METODOLOGÍA.....	49
2.1.	Ubicación	49
2.1.1.	Ubicación política.....	49
2.1.2.	Ubicación geográfica	49
2.1.3.	Vías de acceso	51
2.1.4.	Características climáticas	51
2.2.	Materiales y equipos	52
2.2.1.	Materiales	52
2.2.2.	Equipos.....	52
2.2.3.	Software	53
2.3.	Problemas específicos	53
2.4.	Métodos	53
2.4.1.	Recopilación de información básica de la parcela en estudio, tales como: levantamiento topográfico, estudio de suelos, disponibilidad y calidad del agua de riego procedente del río Totos	53
2.4.2.	Cálculo de diseño agronómico e hidráulico de riego por aspersión de la zona en estudio	61

2.4.3. Implementación del sistema de riego tecnificado por aspersión en la parcela demostrativa.....	73
2.4.4. Determinación del coeficiente de uniformidad en la zona en estudio en cultivo de arveja (<i>Pisum sativum L.</i>).....	77
3. CAPÍTULO III RESULTADOS.....	82
3.1. Procesamiento de los datos recopilados en el campo (datos topográficos con GPS diferencial).....	82
3.2. Análisis de agua.....	84
3.3. Análisis de suelo.....	84
3.4. Prueba de infiltración.....	84
3.5. Diseño agronómico.....	85
3.5.1. Demanda de agua.....	85
3.5.2. Necesidades de riego.....	87
3.6. Número de aspersores en la zona de estudio.....	87
3.7. Plano de distribución de aspersores.....	88
3.8. Comportamiento hidráulico.....	89
3.9. Implementación del sistema de riego tecnificado en la parcela demostrativa.....	91
3.10. Cultivo de arveja.....	91
3.11. Evaluación del área de estudio de Paccopampa.....	92
3.11.1. Presión.....	92
3.11.2. Altura de elevadores.....	93
3.11.3. Características del aspersor.....	93
3.11.4. Evaluación de la uniformidad de distribución.....	93
3.11.5. Evaluación de coeficiente de uniformidad.....	94
DISCUSIONES.....	104
CONCLUSIONES.....	107
RECOMENDACIONES.....	109

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	110
4. ANEXOS.....	113

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Valores referenciales de velocidad de infiltración básica según textura del suelo	28
Tabla 1.2: Precipitación efectiva	32
Tabla 1.3: Clasificación taxonómica de <i>Pisum sativum</i> L	42
Tabla 1.4: Valor nutritivo del cultivo de <i>Pisum sativum</i> L.	42
Tabla 2.1: Vías de acceso a la zona de proyecto	51
Tabla 2.2: Características climáticas de la zona en estudio	52
Tabla 2.3: Registros de prueba de infiltración	60
Tabla 2.4: Precipitación mensual generada por el método de Kriging.....	61
Tabla 2.5: Registro de velocidades del viento mensual (m/seg)	61
Tabla 2.6: Regionalización de temperatura máximas mensuales (°C)	62
Tabla 2.7: Regionalización de temperatura mínimas mensuales (°C)	62
Tabla 2.8: Regionalización de humedad relativa mensual (%)	62
Tabla 2.9: Regionalización de temperatura media mensual (°C)	62
Tabla 2.10: Resultados de Evapotranspiración de cultivo de referencia	63
Tabla 2.11: Datos de precipitación mensual de la parcela demostrativa	64
Tabla 2.12: Resumen de cálculo de precipitación efectiva al 75%	65
Tabla 2.13: Datos del clima de la zona en estudio	67
Tabla 2.14: Datos del suelo según resultados del laboratorio	67
Tabla 2.15: Datos de cultivo.....	67
Tabla 2.16: Datos de la parcela de acuerdo al levantamiento topográfico	68
Tabla 2.17: Datos del aspersor Compact Impact Boq. #11 Amarillo (4.37mm).....	68
Tabla 2.18: Espaciamiento entre aspersores	69
Tabla 2.19: Operación del emisor según datos del fabricante.....	69
Tabla 2.20: Resumen de cálculo de necesidades de riego	71
Tabla 3.1: Análisis del agua	84
Tabla 3.2: Análisis de suelo	84
Tabla 3.3: Calculo de demanda de agua	86
Tabla 3.4: Necesidades de riego de cada aspersor.....	87
Tabla 3.5: Numero de aspersores en la parcela en estudio	87
Tabla 3.6: Comportamiento hidráulico de la red de tuberías	90
Tabla 3.7: Materiales instaladas en parcela en estudio	91
Tabla 3.8: Presiones máximas y mínimas en bares	92

Tabla 3.9: Croquis de volumen recogido de recipientes de plástico (ml) – Prueba 1 (primeras horas de la mañana)	95
Tabla 3.10: Evaluación de Coeficiente de uniformidad por método de Christiansen de prueba 1	96
Tabla 3.11: Croquis de volumen recogido de recipientes de Plástico (ml) – Prueba 2 (Medio día)	98
Tabla 3.12: Evaluación de Coeficiente de uniformidad por método de Christiansen de prueba 2	99
Tabla 3.13: Croquis de volumen recogido de recipientes de plástico (ml) – Prueba 3	101
Tabla 3.14: Evaluación de Coeficiente de uniformidad por método de Christiansen de prueba 3	102

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Riego por aspersión aplicado en una parcela con cultivo	21
Figura 1.2: Aspersores de tipo impacto	24
Figura 1.3: limpieza de la cobertura vegetal	26
Figura 1.4: Cavar hueco en forma de “V”	27
Figura 1.5: Corte de suelo de 2 a 3cm de espesor de la pared de la pala.....	27
Figura 1.6: Cuarteo de la muestra de suelo para llevar al laboratorio	28
Figura 1.7: Pesar el suelo para llevar al laboratorio	28
Figura 1.8: Variación de Kc a lo largo del periodo vegetativo	30
Figura 1.9: Evapotranspiración de cultivo a regar.....	31
Figura 1.10: Marco de riego.....	35
Figura 1.11: Separación recomendada entre aspersores y ramales de aspersión en marco rectangular	36
Figura 1.12: Separación recomendada entre aspersores y ramales de aspersión	36
Figura 1.13: Evaluación de uniformidad de riego por aspersión	38
Figura 1.14: Raíz de la arveja (<i>Pisum sativum L.</i>)	44
Figura 1.15: Flor de la arveja (<i>Pisum sativum L.</i>)	45
Figura 1.16: Inflorescencia de arveja (<i>Pisum sativum L.</i>)	45
Figura 1.17: Fruto de arveja (<i>Pisum sativum L.</i>).....	46
Figura 1.18: Semillas de arveja (<i>Pisum sativum L.</i>)	46
Figura 2.1: Mapa de ubicación del proyecto.....	50
Figura 2.2: Imagen satelital de la parcela en estudio.....	51
Figura 2.3: Identificación de fuente de agua.....	54
Figura 2.4: Identificación de parcela en estudio.....	54
Figura 2.5: Levantamiento topográfico del área en estudio.....	55
Figura 2.6: Punto representativo para la muestra del suelo	55
Figura 2.7: Hoyo en forma de “V”	56
Figura 2.8: Porción del suelo de una de las paredes del hoyo.....	56
Figura 2.9: Extracción de porción del suelo	57
Figura 2.10: Kilogramo de suelo recolectado para laboratorio.....	57
Figura 2.11: Muestra de agua de la bocatoma existente	58
Figura 2.12: Muestra de agua para llevar al laboratorio	58
Figura 2.13: Prueba de infiltración	59

Figura 2.14: Resumen de Evapotranspiración potencial	63
Figura 2.15: Curva Kc del cultivo de Arveja (<i>Pisum sativum L.</i>)	65
Figura 2.16: Aspersor Compact Impact Boq. # 11 Amarillo (4.37mm).....	68
Figura 2.17: Plano de distribución de caudales, velocidad y diámetro nominal para la implementación del sistema de riego	74
Figura 2.18: Tendido de tubería HDPE en la parcela en estudio de diferentes diámetros	75
Figura 2.19: Colocación de accesorios del sistema de riego.....	76
Figura 2.20: Instalación de aspersores en la parcela en estudio.....	76
Figura 2.21: Trazado y excavación de surcos para la colocación de semillas (surco a surco de 0.80m de distancia)	77
Figura 2.22: Colocación de 2 a 3 semillas por golpe.....	77
Figura 2.23: Área de evaluación de uniformidad de distribución	78
Figura 2.24: Esquema de malla de recipientes de plástico para la evaluación de coeficiente de uniformidad	79
Figura 2.25: Distribución de recipientes de plástico en la zona evaluada de 3m x 3m.....	79
Figura 2.26: Distribución de la pluviometría del aspersor de tipo Compact Impact.....	80
Figura 2.27: Verificación de los recipientes de plástico	80
Figura 2.28: Medición de pluviometrías con la ayuda de la probeta.....	80
Figura 2.29: Medición de agua regada de cada vaso pluviométrico con una probeta	81
Figura 3.1: Plano topográfico y parcelario.....	83
Figura 3.2: Velocidad de infiltración.....	85
Figura 3.3: Distribución de aspersores dentro de la parcela en estudio.....	88
Figura 3.4: Dimensiones de la siembra de cultivo de arveja (<i>Pisum sativum L.</i>)	92
Figura 3.5: Evaluación de presiones máximas y mínimas en bares	93
Figura 3.6: Lluvia de prueba de coeficiente de uniformidad por método de Christiansen - Prueba 1	97
Figura 3.7 Lluvia de la prueba de coeficiente de uniformidad por método de Christiansen - Prueba 2.....	100
Figura 3.8: Lluvia de la prueba de coeficiente de uniformidad por método de Christiansen - Prueba 3.....	103

ÍNDICE DE ANEXOS

<u>Anexo A</u>	Panel fotográfico
<u>Anexo B</u>	Resultados de laboratorio de análisis Físico – Químico del agua
<u>Anexo C</u>	Resultados de laboratorio de análisis Físico del suelo
<u>Anexo D</u>	Datos climatológicos de área de estudio
<u>Anexo E</u>	Lamina y velocidad de infiltración
<u>Anexo F</u>	Ensayos realizados para la determinación de coeficiente de uniformidad por Christiansen
<u>Anexo G</u>	Cálculos de parámetros de diseño agronómico
<u>Anexo H</u>	Cálculos de diseño Hidráulico
<u>Anexo I</u>	Cálculo de demanda de agua
<u>Anexo J</u>	Precipitación efectiva
<u>Anexo K</u>	Curvas Kc del cultivo de Arveja
<u>Anexo L</u>	Planos

LISTA DE ABREVIATURAS

FAO	Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura
ET _o	Evapotranspiración de referencia
ET _c	Evapotranspiración de cultivo a regar
K _c	Coeficiente de cultivo
PE	Precipitación efectiva
CU	Coeficiente de uniformidad
UD	Uniformidad de distribución
msnm	Metros sobre el nivel del mar
PVC	Policloruro de vinilo
Asp	Aspersor
Pluv	Pluviometría
CI	Compact Impact
D _{tm}	Demanda total mensual
D _{tu}	Demanda total unitario
E _f	Eficiencia de riego
pH	Potencial de hidrogeno
RAS	Razón de Adsorción de Sodio
Dot	Dotación de caudal
pms	Pluviometría media del sistema
phr	Precipitación horaria efectiva
Q _t	Caudal por turno
A _t	Área total
Mr	Módulo de riego
L _b	Lamina bruta
L _n	Lamina neta
I _r	Intervalo de riego
CC	Capacidad de campo
PMP	Punto de marchitez permanente
mca	Metros columna de agua

RESUMEN

Es fundamental evaluar la uniformidad de riego por aspersión para identificar los factores que afectan la eficiencia del sistema. Este estudio tiene objetivo general evaluar el coeficiente de uniformidad del sistema de riego por aspersión en el cultivo de arveja (*Pisum sativum L.*) en Chacabamba a una altitud de 2955 mnsnm – Ayacucho, 2023. La evaluación se realizó con aspersores Compact Impact implementados en parcela, los cuales resultan adecuados, dado que la velocidad de infiltración del suelo es 26.53 mm/h, superando significativamente la tasa de precipitación del aspersor, que es 4.37 mm/h. Para alcanzar este objetivo se plantearon objetivos específicos que permiten una comprensión del sistema. Se recopiló información básica que incluye levantamiento topográfico detallado mediante el uso de GPS diferencial de alta presión para generación de curvas de nivel del terreno, análisis del suelo y análisis del agua, Con los datos recolectados, se diseñó un sistema de riego agronómico e hidráulico considerando las condiciones del suelo, la calidad del agua, estaciones meteorológicas y las necesidades hídricas del cultivo de arveja. El sistema se dimensionó para un caudal de descarga de 3.33 l/s, con un intervalo de 7 días y una duración de 7 horas de riego. El diseño hidráulico fue simulado con el software SIGOPRAM, asegurando que las tuberías HDPE de línea principal de diámetros de 62 mm, 50 mm y 32 mm, estuvieran adecuadamente dimensionadas de la misma manera de las líneas laterales de 32mm de diámetro. Se colocaron 50 recipientes de plástico dentro de un marco de riego de 6 aspersores, lo que permitió obtener un coeficiente de uniformidad de Christiansen promedio de 83.81%. Se recomienda el uso de aspersores Compact impact en todo el sector de Paccopampa dado que se cumple con coeficiente de uniformidad superior al 80%.

Palabras claves: Riego por aspersión, Cultivo de arveja, Coeficiente de uniformidad

ABSTRACT

It is essential to evaluate the uniformity of sprinkler irrigation to identify the factors that affect the efficiency of the system. The general objective of this study is to evaluate the uniformity coefficient of the sprinkler irrigation system in the pea crop (*Pisum sativum* L.) in Chacabamba at an altitude of 2955 meters above sea level - Ayacucho, 2023. The evaluation was carried out with Compact Impact sprinklers implemented in the plot, which are adequate, given that the soil infiltration rate is 26.53 mm / h, significantly exceeding the sprinkler precipitation rate, which is 4.37 mm / h. To achieve this objective, specific objectives were raised that allow an understanding of the system. Basic information was collected including detailed topographical survey using high pressure differential GPS for generating ground contour lines, soil analysis and water analysis. With the collected data, an agronomic and hydraulic irrigation system was designed considering soil conditions, water quality, meteorological stations and water needs of the pea crop. The system was sized for a discharge flow rate of 3.33 l/s, with a 7 day interval and a 7 hour irrigation duration. The hydraulic design was simulated with SIGOPRAM software, ensuring that the main line HDPE pipes with diameters of 62 mm, 50 mm and 32 mm were adequately sized in the same way as the 32mm diameter lateral lines. 50 plastic containers were placed within a 6-sprinkler irrigation frame, allowing an average Christiansen uniformity coefficient of 83.81%. The use of Compact Impact sprinklers is recommended throughout the Paccopampa sector since it complies with a coefficient of informality greater than 80%.

Keywords: Sprinkler irrigation, Pea cultivation, Uniformity coefficient

INTRODUCCIÓN

En la sierra peruana, se está observando un aumento en la adopción del riego tecnificado en lugar del riego por gravedad, según Ponce et al. (2016) es importante mencionar que la leve disminución en la utilización de riego en la sierra responde a diferentes tendencias según el tipo de riego que se aplique. Por un lado, la proporción de agricultores que emplean el riego por gravedad como único método ha caído del 46% al 35%. Al mismo tiempo, el uso de riego tecnificado (aspersión, goteo o exudación) ha aumentado del 1% al 5% (p. 196).

Según Huaylla (2019) los sistemas de riego tecnificado facilitan la optimización del agua al proporcionar a los cultivos la cantidad necesaria que necesitan para su crecimiento de forma efectiva, esto no solo contribuye a minimizar el desperdicio de este recurso tan valioso, sino que también ayuda a disminuir el riesgo de erosión (p. 5).

A pesar de su elevado costo de inversión, se implementa el riego tecnificado en el centro poblado de Chacabamba, ya que permite optimizar el uso del agua para riego, ampliar áreas de cultivos bajo riego y mitigar los problemas de erosión hídrica; con la finalidad de elevar los niveles de producción y productividad de los cultivos, lo que a su vez se traduce en mayores ingresos familiares.

El riego por aspersión es una técnica ampliamente utilizada en la agricultura moderna debido a su eficiencia y capacidad para proporcionar una distribución uniforme de agua sobre los cultivos. En el caso específico del cultivo de arveja (*Pisum sativum* L.) en Chacabamba – Ayacucho, el sistema de riego por aspersión se ha implementado con el fin de mejorar la productividad y la calidad de los cultivos. Sin embargo, es fundamental evaluar el coeficiente de uniformidad para uso óptimo del agua.

El propósito del proyecto de tesis es analizar el coeficiente de uniformidad del agua en el sistema de riego por aspersión en la parcela demostrativa en cultivo de arveja (*Pisum sativum*

L.), ya que en los sistemas de riego tecnificado es necesario realizar evaluaciones una vez instalado o antes de cada campaña de riego.

El área del proyecto está situada a una altitud de 2 955 msnm, en el centro poblado de Chacabamba, perteneciente al distrito de Totos, provincia de Cangallo, departamento de Ayacucho. La hipótesis principal plantea que hay diversos métodos dentro de sistemas de riego tecnificado. Sin embargo, al implementar el sistema de riego por aspersión, se establece que, según Tarjuelo (1999), en ramales fijos, el coeficiente de uniformidad varía de 70 a 88% (p. 103). Por esta razón, se logra una mejora en la producción, lo que se traduce en resultados favorables en las cosechas que se realizarán en los meses siguientes a la puesta en marcha de este proyecto.

Finalmente, este trabajo de tesis tuvo impactos positivos en el centro poblado de Chacabamba debido a que quedó implementado el riego por aspersión para que la población en general pueda verlo y así capacitar para que puedan implementar en sus parcelas. Por otra parte, el presente trabajo de investigación tuvo los siguientes objetivos.

Objetivo general

- a. Evaluar el coeficiente de uniformidad del sistema de riego por aspersión en el cultivo de arveja (*Pisum sativum* L.) en Chacabamba a una altitud de 2 955 msnm – Ayacucho, 2023.

Objetivos específicos

1. Obtener información básica de la parcela en estudio, tales como: levantamiento topográfico, estudio de suelos, disponibilidad y calidad del agua de riego procedente del río Totos.
2. Realizar el diseño agronómico e hidráulico de riego por aspersión de la zona en estudio.
3. Implementar el sistema de riego tecnificado por aspersión en la parcela demostrativa.
4. Determinar el coeficiente de uniformidad en la zona en estudio en cultivo de arveja (*Pisum sativum* L.).

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

1.1.1. Antecedentes internacionales

(Solórzano, 2012) en la tesis titulada “Diseño e implantación de un sistema de riego por aspersión, en cacao (*Theobroma cacao L.*) en el Campus de la Espam – MFL”, la presente investigación tiene como objetivo general implementar un sistema de riego por aspersión para aprovechar el suministro de agua en el desarrollo del cultivo de cacao (*Theobroma cacao L.*). El proyecto fue llevado a cabo en el campus de la escuela superior politécnica agropecuaria de Manabí en la ciudad de Calceta – Ecuador, sitio el Limón, específicamente en un área de 0.55 Ha destinada al cultivo de Cacao. Los resultados obtenidos según investigaciones previas, el diseño del sistema de riego, se establecieron con intervalos de riego de un día, con un caudal de origen de 3 150 l/hora y una longitud real de 85 metros; la necesidad hídrica diaria de cacao puede variar significativamente oscilando entre 2.5mm y 5.2mm, dependiendo de factores climáticos y de desarrollo del cultivo, por lo tanto, los cálculos de caudales y tiempos de riego, así como el espaciamiento entre plantas y aspersores son esenciales para asegurar que cada planta reciba la cantidad necesaria del agua para su óptimo crecimiento, otro de los resultados menciona que en el contexto de riego por aspersión, se ha comprobado que el uso de los emisores con características específicas, como el Meganet, representa una solución viable, este tipo de emisor ha demostrado su capacidad de cubrir adecuadamente áreas de cultivo, además su implementación se ha asociado con la minimización de la desuniformidad en la distribución del agua, lo que reduce la posibilidad de que queden áreas secas dentro de la parcela.

(Villacís, 2012) en la tesis titulada "Diseño de un sistema de riego por aspersión" cuyo objetivo es implementar un sistema de riego por aspersión, los resultados obtenidos de esta investigación son: la implementación del área del proyecto se realizó de acuerdo al diseño de riego por

aspersión con la ayuda de maquinaria y de personal, el espaciamiento de los aspersores se los hizo en forma cuadrado para obtener una mayor uniformidad de riego teniendo un alcance de los aspersores de 14m por 14m, para ello se dividió en 4 turnos permitiendo que el agua se infiltre adecuadamente en el suelo y no dañar a los cultivos; el diseño se realizó con la ayuda de programa WaterCAD donde se pudo ejemplarizar el cálculo de caudales y presiones, asegurando que cada aspersor este correctamente dimensionado y que el suministro de agua se realice de acuerdo a las necesidades del cultivo y la topografía del terreno.

(Ramos & Báez, 2013) en la tesis titulada “Diseño y construcción de un sistema de riego por aspersión en una parcela demostrativa en el Cantón Ceballos”, la presente tesis trae como objetivo general diseñar y construir el sistema de riego tecnificado por aspersión en una parcela demostrativa ubicado en el Cantón Ceballos, para lograr este objetivo se llegaron a dichos resultados donde el diseño se realizó en una área de la parcela de 720 m^2 , para el diseño agronómico se empleó el programa Cropwat 8.0 y para el diseño hidráulico del sistema se establecieron con separación entre emisores de 9m x 9m en disposición cuadrangular, este tipo de distribución es fundamental para asegurar una cobertura adecuada y una aplicación uniforme del agua en toda la parcela. En términos de la estructura del sistema, el número de ramales principales es solo un ramal, el número de ramales secundarios es de 4 ramales y el número de aspersores por ramal es de 2 aspersores; el caudal requerido del sistema es de $6.72\text{ m}^3/\text{hora}$, por último se construyó el sistema de riego tecnificado por aspersión adquiriendo los elementos para la construcción del sistema como diferentes accesorios hidráulicos, eléctricos y mecánicos necesarios para la implantación del sistema de igual manera tomaron las presiones con el mando automático obteniendo datos similares al modo manual.

1.1.2. Antecedentes nacionales

(Barboza & Mijahuanca, 2022) en la tesis titulada “Evaluación de Uniformidad y Eficiencia de Aplicación del sistema de riego por aspersión Veras – Sector de Yerba Buena – Cajamarca” cuyo objetivo general es evaluar el coeficiente de uniformidad y eficiencia de aplicación de riego por aspersión Veras, en el sector rural Yerba Buena, distrito de la Encañada, provincia de Cajamarca, región Cajamarca, los resultados obtenidos para lograr dicho objetivo se llegó a que el coeficiente de uniformidad de Christiansen de la parcela GGE Veras – zona I (prueba 1) con el aspersor de modelo VYR 36, marco de riego de 18m x 18m con una duración de riego de 90min y la velocidad del viento de 1.5 m/s es de 66.5% y en la prueba II el coeficiente de uniformidad de Christiansen con un aspersor de VIR 36, marco de riego de 18m x 18m y con

la velocidad del viento de 0.9m/s es de 76.5% y en la prueba III el coeficiente de uniformidad de Christiansen es de 71.2% con una velocidad del viento de 1.3m/s.

(Durand, 2018) en la tesis titulada “Evaluación del coeficiente de uniformidad de Christiansen en riego por aspersión con línea lateral unitaria en el distrito Huambo, provincia Caylloma, región Arequipa” cuyo objetivo general es evaluar el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen en riego por Aspersión, con línea lateral unitaria en el Distrito de Huambo, Provincia de Caylloma, Región Arequipa, la evaluaciones de las condiciones atmosféricas de acuerdo a los resultados obtenidos nos muestran que varía a lo largo del día donde se ha observado que la presión puede alcanzar a los máximos durante las horas matutinas debido a la estabilidad atmosférica y a la radiación solar, mientras que los mínimos se registran en la tarde; respecto a la velocidad del viento resulta que presenta variaciones a lo largo del día donde las velocidades más altas suelen registrarse durante las horas centrales, particularmente en condiciones de inestabilidad atmosférica o cambios bruscos de temperatura , el coeficiente de uniformidad en el sector Huambo llega a 88.66% registrado a las 06.00 horas, lo cual indica un entorno más predecible y favorable para la actividad agrícolas mientras arroja un valor bajo a las 12.00 horas que es de 61.92%, sugiere variaciones más significativos y menos predecibles.

1.1.3. Antecedentes locales

(De la Cruz, 2015) en la tesis titulada “Evaluación del coeficiente de uniformidad y eficiencia de aplicación en el sistema de riego por aspersión Pacuri - Socos – Ayacucho”, donde el objetivo general es evaluar Coeficiente de Uniformidad y determinación de la eficiencia de aplicación del sistema de riego por aspersión en la comunidad de Pacuri, las evaluaciones del coeficiente de uniformidad y eficiencia de aplicación se empezó entre los meses de abril a junio del 2015 para lo cual se realizó 6 pruebas específicas en 2 sub sectores de riego donde la primera prueba del sub sector 1 duro 90 min y empezó a las 10.30am, el coeficiente de uniformidad es de 75.15% siendo aceptable como resultado y en el sub sector II empezó la evaluación a las 10.20 am por 90 min y el resultado de coeficiente de uniformidad es de 59.94% .

(Palomino, 2016) en la tesis titulado “Diseño del sistema de riego por aspersión en función a la programación de riego en la comunidad de Urpaypampa – 2016”, cuyo objetivo general es diseñar y evaluar el planteamiento hidráulico más conveniente teniendo en cuenta la programación de riego y los costos del diseño del proyecto, donde el resultado del caudal de

diseño es de 17.60 litros/seg para 24 horas y el caudal de descarga es de 35.20 litros/seg, el estudio resalta la importancia de optimizar tanto el diseño hidráulico como la selección de aspersores teniendo en cuenta no solo los costos del proyecto, sino también las características del terreno y las condiciones climáticas.

1.2. Riego por aspersión

Para Villacís (2012) el riego por aspersión es un método que se basa en la aplicación de agua en el suelo agrícola en forma similar a la lluvia, se utiliza dispositivos conocidos como aspersores, que producen un chorro de agua en forma de pulverización, permitiendo que el líquido se disperse de manera uniforme y en forma circular sobre la superficie del terreno (p. 15).



Figura 1.1: Riego por aspersión aplicado en una parcela con cultivo

Fuente: (Villacís Stacey, 2012)

1.3. Ventajas y desventajas de riego tecnificado por aspersión

1.3.1. Ventajas del método

Las ventajas del riego por aspersión se basan principalmente en dos factores: primero, el control del riego está sujeto únicamente a las condiciones climáticas; y segundo, la distribución uniforme del agua no se ve afectada por las características del suelo (Fernández, Yruela, et al., 2010, p. 20).

- Permite regar terrenos con pendientes o con irregularidades sin requerir una nivelación o preparación previa, a diferencia del riego superficial (Fernández, Yruela, et al., 2010).
- Se maximiza el uso de la superficie cultivable, ya que no es necesario destinar parte del suelo a canales y acequias.
- Este sistema de riego se adapta muy bien a las etapas iniciales del desarrollo de los cultivos, especialmente durante la germinación, donde se requieren riegos ligeros y

frecuentes. También es muy útil para realizar riegos de socorro y resulta especialmente efectivo en la prevención de heladas (Fernández, Yruela, et al., 2010).

- Es el método de riego más adecuado para llevar a cabo el lavado de sales del suelo.

1.3.2. Desventajas del método

- La aplicación de agua en forma de lluvia puede generar efectos adversos en ciertos cultivos, ya que la humedad en la parte aérea del cultivo eleva el riesgo de aparición de enfermedades (Fernández, Yruela, et al., 2010).
- La presencia de viento puede obstaculizar la distribución uniforme del agua, lo que disminuye tanto la uniformidad en la aplicación como la eficiencia del sistema de riego.
- Algunos cultivos pueden experimentar quemaduras en las hojas, variando en intensidad según la sensibilidad del cultivo y la calidad del agua utilizada para el riego, ya que la evaporación puede concentrar en exceso las sales (Fernández, Yruela, et al., 2010).

1.4. Componentes de riego tecnificado por aspersión

1.4.1. Red de tuberías principales

Las tuberías principales transportan hacia los hidrantes, conducen el agua desde el sistema de elevación hacia las tuberías secundarias y a sus ramales (Villacís Stacey, 2012).

1.4.2. Red de distribución

Las tuberías de distribución se utilizan para llevar agua a lo largo de la parcela, estas tuberías pueden ser fijas o móviles y deben reposar sobre una base de arena para garantizar su protección (Villacís Stacey, 2012, p. 19).

Para Fernández et al., (2010) es un conjunto de tuberías que transportan el agua desde el punto de captación en la parcela hasta los aspersores ubicados en diversas unidades y subunidades de riego, esta red comprende tanto la red principal, que distribuye el agua por la parcela, como los ramales de aspersión, que derivan de la red principal y llevan el agua hasta los aspersores (p. 21).

De acuerdo con Fernández et al. (2010), la red de distribución se clasifica en fija, móvil y mixta según la movilidad de las tuberías (p. 21).

1.4.2.1. Fija

Según Fernández, Yruela, et al. (2010) las tuberías cubren toda el área destinada al riego (p. 21).

1.4.2.2. Móvil

Según Fernández, Yruela, et al., (2010), A medida que avanza el riego, todas las tuberías de la red de distribución, incluyendo tanto la red principal como los ramales de aspersión, se desplazan (p. 21).

1.4.2.3. Mixta

Según Fernández, Yruela, et al. (2010) la red principal generalmente suele ser estática, con las tuberías situadas por debajo de la superficie, mientras que los ramales de aspersión son desplazados de una posición de riego a otra (p. 21).

1.4.3. Válvula de control

Según el Programa Subsectorial de Irrigaciones (2014) se trata de válvulas de cierre manual, diseñadas para sectorizar el riego, lo que permite el flujo de agua a través de tuberías específicas (p. 12).

1.4.4. Válvula de aire

Las ventosas son mecanismos automáticos que facilitan la entrada de aire desde la tubería hacia la atmósfera, o viceversa, dependiendo de si la presión en la tubería es mayor o menor que la presión atmosférica (Redondo, 2018).

1.4.5. Válvulas de purga

Según Programa Subsectorial de Irrigaciones (2014) se encuentran ubicadas en las zonas más bajas del trazado de las tuberías, donde se depositan sedimentos que limitan y obstruyen el flujo de agua. En esencia, actúan como una válvula de limpieza (p. 13).

1.4.6. Aspersores

Para Castañón (2000), los aspersores son dispositivos que distribuyen el agua sobre el terreno en forma de lluvia mediante una boquilla que expulsa un chorro a presión, rotando alrededor de su eje vertical (p. 74).

Los aspersores permiten que el agua se distribuya sobre el terreno de la manera más uniforme posible, simulando gotas de lluvia (Redondo, 2018).

1.4.6.1. Tipo de aspersores

Existen diversos tipos de aspersores utilizados en el riego agrícola, **Según el tipo de mecanismo de giro**, se pueden clasificar en varias categorías (Redondo, 2018):

Aspersores de impacto. Estos aspersores funcionan mediante un chorro de agua que golpea un brazo oscilante que, gracias a un muelle, hace que el cuerpo del aspersor gire de manera intermitente, además de permitir un riego en un giro completo de 360 grados, también se pueden configurar para regar un ángulo específico como aspersores sectoriales que son ideales para utilizar en los bordes de la zona que se riega o en terrenos irregulares (Redondo, 2018). Esta categoría de emisores puede observarse en la **Figura 1.2**.



Figura 1.2: Aspersores de tipo impacto

Fuente: (Redondo, 2018)

Aspersores de reacción. En este tipo de aspersores, el giro es generado por la inclinación del orificio de salida de la boquilla o el diseño del platillo que recibe el chorro de agua, mientras que el cuerpo del aspersor se mantiene fijo, las boquillas y los platillos son desmontables, lo que permite ajustar los caudales de salida, los alcances y las formas de los chorros de agua (Redondo, 2018).

Redondo (2018) describió en relación con la **presión de funcionamiento**, se pueden clasificar de la siguiente manera:

a. Aspersores de baja presión

Según Redondo (2018), los aspersores de baja presión tienen características como:

- Presión de trabajo inferior a $2,5 \text{ kg/cm}^2$ (250 kPa);
- Boquillas de diámetro menor de 4 mm;
- Caudales no mayores de 1.000 l/h; y
- Adecuados para marcos de riego cuadrados o rectangulares con distancias entre aspersores iguales o inferiores a 12 metros o marcos triangulares con distancias entre aspersores iguales o inferiores a 15 metros (p. 74).

b. Aspersores de media presión.

Según Redondo (2018), los aspersores de media presión tiene características como:

- Presión de trabajo de $2.5 \text{ a } 4 \text{ kg/cm}^2$ (250 a 400 kPa);
- Boquillas de diámetro comprendido entre 4 y 7 mm (pueden llevar una o dos boquillas);
- Caudales entre 1.000 y 6.000 l/h; y
- Se utilizan en espaciamientos desde 12x12 a 24x24 metros (p. 74).

c. Aspersores de alta presión

Según Redondo (2018), Los aspersores de alta presión tiene características como:

- Presión de trabajo superior a 4.5 kg/cm^2 (450 kPa); y
- Son aspersores de gran tamaño denominados cañones (p. 74).

1.5. Estudio topográfico para los sistemas de riego

1.5.1. Topografía

Según Montes de Oca (1984) la topografía lo define como: “Ciencia que estudia el conjunto de procedimientos para determinar las posiciones de puntos sobre la superficie de la tierra, por medio de medidas según los tres elementos del espacio. Estos elementos pueden ser: dos distancias y una elevación, o una distancia, una dirección y una elevación” (p. 1).

1.5.2. Levantamiento topográfico

El levantamiento topográfico es el proceso de recolección de datos y mediciones en el terreno para representar de manera precisa la forma y características de la superficie terrestre de la tierra.

(García, 2003), define de la siguiente manera: “los levantamientos topográficos en cuanto a su calidad se dividen como sigue:

PRECISOS, que se ejecutan por medio de triangulaciones o poligonales de precisión.

REGULARES, los cuales se realizan por medio de poligonales, levantadas con tránsito y cinta.

TAQUIMÉTRICOS, en los cuales las distancias se miden por procedimientos indirectos

EXPEDITIVOS, efectuados con aparatos portátiles, poco precisos como: brújula, sextante, podómetro, teodolito, estadía de mano, etc., y cuando no se dispone de aparatos se ejecutan a ojo o por informes proporcionados por los habitantes de la región” (p. 5).

1.6. Muestreo de suelo utilizando pala

(Mendoza y Espinoza, 2017), menciona que “Es el método más sencillo y práctico, por lo que los productores lo pueden realizar rápidamente”.

Los pasos a seguir según (Mendoza y Espinoza, 2017) son los siguientes:

- a. **Seleccionar el sitio a muestreo;** para ello, se debe contar con un croquis de la finca y asegurarse de que los lotes estén debidamente numerados (lote 1, 2...n1, n2);
- b. **Preparar el sitio;** Limpiar la superficie del área de muestreo eliminando la vegetación y las piedras, tal como se muestra en la **Figura 1.3;**



Figura 1.3: limpieza de la cobertura vegetal

Fuente: (Mendoza y Espinoza, 2017)

- c. Marcar en la pala la profundidad de muestreo y excavar un hueco en forma de "V" que tenga el ancho de la pala y la profundidad adecuada según el tipo de cultivo, como se indica en la **Figura 1.4;**



Figura 1.4: Cavar hueco en forma de “V”

Fuente: (Barboza y Mijahuanca, 2022)

- d. **Recolectar la muestra de suelo;** Extraer un corte de suelo de 2 a 3 centímetros de grosor de la pared del hueco y colocarla en un balde plástico que esté etiquetado con la profundidad correspondiente. Este balde debe estar libre de impurezas como restos de fertilizante, cal, estiércol, cemento, entre otros; como se observa en la **Figura 1.5;**



Figura 1.5: Corte de suelo de 2 a 3cm de espesor de la pared de la pala

Fuente: (Barboza y Mijahuanca, 2022)

- e. **Mezclar y cuartear la muestra;** A continuación, mezclar la muestra recolectada y realizar el cuarteo, como se ve en la **Figura 1.6;**



Figura 1.6: Cuarteo de la muestra de suelo para llevar al laboratorio

Fuente: (Barboza y Mijahuanca, 2022)

- f. Luego depositarla en la bolsa (etiquetada) (p. 21), como se ilustra en la **Figura 1.7**.



Figura 1.7: Pesar el suelo para llevar al laboratorio

Fuente: (Barboza y Mijahuanca, 2022)

1.7. Velocidad de infiltración

(Yagüe, 2003), define como “El volumen de agua que entra en el perfil del suelo por unidad de tiempo. No depende solo del volumen de poros, sino también de la facilidad con que el agua se transita a las capas próximas, y ello depende del tamaño y la disposición de los poros” (p. 29). Los valores de la velocidad de infiltración básica o tasa de infiltración se muestran de acuerdo a la **Tabla 1.1**.

Tabla 1.1: Valores referenciales de velocidad de infiltración básica según textura del suelo

Arcilloso	< 5	mm/hora
Franco – arcilloso	5 – 10	mm/hora
Franco	10 – 20	mm/hora
Franco arenoso	20 – 30	mm/hora
Arenoso	>30	mm/hora

Fuente: (Yagüe, 2003)

De acuerdo a (Yagüe, 2003) “Cuando no se tiene ensayos de campo, la velocidad de infiltración básica es la que determina los sistemas de riego, así como el diseño del mismo en cuanto al tamaño de la unidad operativa de riego y los cuáles a utilizar” (p. 29).

1.8. Criterios de diseño agronómico de sistema de riego por aspersión

1.8.1. Información previa para el diseño del sistema de riego por aspersión

Según Yagüe (2003) para diseñar un sistema de riego por aspersión hay que determinar todas las características técnicas del riego, con el fin de que el reparto del agua sea uniforme y eficiente como (p. 243):

- **Del suelo.** Densidad aparente, capacidad de campo, punto de marchitamiento, profundidad y velocidad de infiltración básica;
- **Del clima.** Interesa conocer, sobre todo, los datos relativos al viento (dirección y velocidad) ya que es la causa principal de distorsión en el reparto de agua;
- **Del cultivo.** Alternativa de cultivos, necesidades hídricas, fracción de abatimiento del agua disponible, profundidad radical, marco de plantación, labores;
- **De la parcela.** Dimensiones, topografía, punto de captación de agua y área a regar
- **Del agua.** Caudal disponible y calidad agronómica; y
- **Del riego.** Tiempo disponible de riego cada día y días libres de riego durante el ciclo. Se fija de antemano la eficiencia que se pretende conseguir.

1.8.2. Evapotranspiración potencial de referencia (ET_o)

Según (Redondo, 2018), la evapotranspiración potencial de referencia es: “un parámetro relacionado con el clima que expresa el poder que tiene la atmosfera para evaporar el agua” (p. 91).

1.8.2.1. Métodos indirectos empíricos para la determinación de la ET_o

Según (Absalón et al., 2009), lo define como:

“Las fórmulas empíricas están consideradas como métodos indirectos y consisten en formulas o ecuaciones deducidas por diversos investigadores y que están basadas en la aplicación de variables meteorológicas como factores que afectan la tasa de la evapotranspiración potencial y que han sido desarrolladas para zonas con características propias.

Las fórmulas o métodos empíricos más conocidos y de mayor aplicación son: método de Hargreaves, método de Penman modificado, método de Blaney – Criddle, método de radiación, método de Christensen, método de Jensen – Haise”(p. 121).

1.8.3. Coeficiente de cultivo

El coeficiente de cultivo es el valor que ajusta a la evapotranspiración del cultivo de referencia, así como lo define (Redondo, 2018), de la siguiente manera:

“El coeficiente de cultivo (K_c) es un valor sin dimensiones que describe las variaciones de la cantidad de agua que son extraídas del suelo por las plantas (efecto combinado de evaporación y transpiración) a medida que estas se van desarrollando, desde la siembra hasta la cosecha, así como se muestra en la **Figura 1.8**, donde se aprecia la variación del K_c , por tanto, del consumo de agua, lo largo del periodo vegetativo. El coeficiente de cultivo varía según el tipo de cultivo y según su estado de desarrollo” (p. 96).

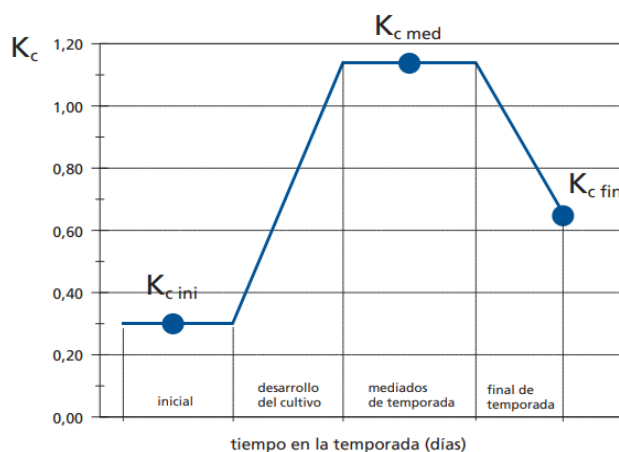


Figura 1.8: Variación de K_c a lo largo del periodo vegetativo

Fuente: (G Allen et al., 2006)

1.8.4. Evapotranspiración del cultivo a regar

Según G Allen et al. (2006) una vez que se ha obtenido la evapotranspiración potencial (ETo) en mm/día, se multiplica por el coeficiente de cultivo K_c , un valor adimensional, para obtener la evapotranspiración del cultivo buscada ETc (mm/día) (p. 6). Este proceso se puede observar en la **Figura 1.9**.

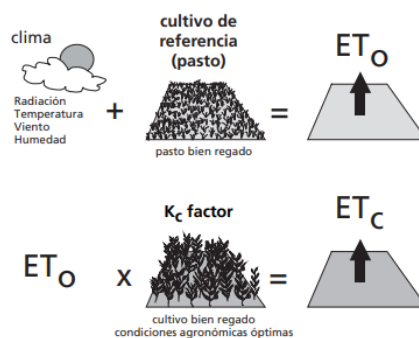


Figura 1.9: Evapotranspiración de cultivo a regar

Fuente: (G Allen et al., 2006)

$$ET_c = ET_0 \cdot K_c \quad \dots (1)$$

Donde:

ET_c = Evapotranspiración de cultivo a regar

ET_0 = Evapotranspiración de referencia

K_c = Coeficiente de cultivo

1.8.5. Precipitación efectiva

Según Yagüe (2003), la cantidad de agua que se retiene en la zona radical en relación con la cantidad de precipitación que ha caído depende:

- De las características del terreno; condiciones físicas, grado de humedad, pendiente, cobertura de cultivo, etc; y
- De las características de precipitación: altura de agua caída, intensidad, duración y frecuencia (p. 86).

1.8.5.1. Métodos empíricos para determinar la lluvia efectiva

Existen varios métodos para la evaluación de la precipitación efectiva, cada uno con su propias ventajas y limitaciones, en esta tesis se utilizará el método del Walter Power Resources Service (WPRS – USA).

1.8.5.1.1. Método del Water Power Resources Service (WPRS-USA)

Según Absalón et al. (2009) lo define “Este método considera la distribución de la precipitación efectiva de la siguiente forma” (p. 147).

Tabla 1.2: Precipitación efectiva

Incremento de la precipitación (mm)	% de la precipitación efectiva
5	0
30	95
55	90
80	82
105	65
130	45
155	25
Mas de 155	5

Fuente: (Absalón et al., 2009)

“Dado que la precipitación es una variable aleatoria, conviene analizar la lluvia total, probabilísticamente, con el objeto de determinar el valor probable de la precipitación que cae, Por eso, se determina la frecuencia o probabilidad de ocurrencia mediante la fórmula de Weibull” (Absalón et al., 2009).

$$f = \frac{m}{N + 1} \quad \dots (2)$$

Donde:

f = Frecuencia de ocurrencia

m = Valor de posición de la lluvia ordenada en forma creciente

N = Numero total de valores de precipitación mensual (mm)

1.8.6. Demandad agua de proyecto

Según Absalón et al. (2009) lo define “La demanda de agua del proyecto (D_p) será igual a la necesidad de riego del cultivo (D_a) dividida por la eficiencia de riego del proyecto (E_r)” (p. 154).

$$D_p = \frac{D_a}{E_r} \quad \dots (3)$$

Donde:

D_p = Demanda de agua de proyecto

D_a = Necesidad de riego del cultivo

E_r = Eficiencia de riego del proyecto

1.8.7. Dosis neta

En el diseño agronómico de un sistema de riego, se debe considerar al suelo como un reservorio por su capacidad de retener agua. Esta agua que un suelo puede almacenar y que está disponible para el cultivo se conoce como dosis de agua neta, o simplemente dosis neta, y se mide en milímetros de altura de agua en el suelo (Redondo, 2018, p. 103).

Se utiliza la siguiente expresión:

$$D_n = HAT \cdot f \cdot z \quad \dots (4)$$

Donde:

D_n = La dosis neta, en mm (recordemos que 1 mm de altura de agua equivale a 1 l/m^2)

HAT = El intervalo de humedad disponible, en mm/m (depende del tipo de suelo)

f = El nivel de agotamiento permisible, en decimal (depende del tipo de cultivo)

z = La profundidad media del sistema radicular de la planta en metros

1.8.8. Dosis bruta

Tras calcular la dosis neta, es necesario determinar la dosis bruta, esta última representa la cantidad de agua que se debe aplicar durante el riego, ya que tiene en cuenta las pérdidas, por lo tanto, la dosis bruta será siempre superior a la dosis neta (Redondo, 2018, p. 109).

Para el cálculo utilizaremos la siguiente expresión:

$$D_b = \frac{D_n}{E_a} \quad \dots (5)$$

Siendo:

D_b La dosis bruta, en mm

D_n La dosis neta, en mm

E_a La eficiencia de aplicación, en decimal

1.8.9. Eficiencia de aplicación

La eficiencia de aplicación se refiere al porcentaje de agua que se pierde durante el proceso de riego, esta pérdida se debe principalmente a la cantidad de agua que se evapora y a la que se pierde en profundidad, debido a que es una estimación, la eficiencia de aplicación variará principalmente según el tipo de riego y las condiciones climáticas del área, y suele oscilar entre 65% y 85% para riego por aspersión, y entre 80% y 95% para riego localizado (Redondo, 2018, p. 109).

1.8.10. Máximo intervalo entre riegos

El máximo intervalo entre riegos (en días) se obtiene tras dividir la dosis neta entre la evapotranspiración punta del cultivo (Redondo, 2018):

$$I_r = \frac{D_n}{ET_c} \quad \dots (6)$$

Siendo:

I_r = Es el intervalo entre riegos en días

D_n = Dosis neta en mm

ET_c = Evapotranspiración del cultivo a regar

Se considera la dosis neta en la formula ya que este es el agua que podrá ser finalmente aprovechada por el cultivo. Para el diseño hidráulico utilizaremos sin embargo la dosis bruta, que considera las pérdidas

1.8.11. Caudal necesario

El caudal requerido (en l/s) se determina mediante la siguiente fórmula (Redondo, 2018):

$$Q = 2.78 * \frac{S \cdot D_b}{JER \cdot I_r} \quad \dots (7)$$

En el que

S = Es la superficie a regar, en hectáreas

D_b = Es la dosis bruta (mm)

JER = Es la jornada efectiva de riego, en horas/día

1.8.12. Selección del aspersor para sistemas estacionarios fijos

Para riegos agrícolas, se aconseja utilizar aspersores de media presión y de giro lento, que cuenten con un mecanismo de rotación por impacto o por reacción, con alcances que pueden alcanzar hasta 25 metros (Monge, 2018).

1.8.13. Precipitación media del sistema. Marco de riego y solape

La precipitación media del sistema (en mm/hora) se calcula con la siguiente fórmula (Monge, 2018):

$$Pms = \frac{q_a}{A_r} \quad \left[\frac{\frac{l}{h}}{m^2} = \frac{l}{m^2 \cdot h} = \frac{mm}{h} \right] \quad \dots (8)$$

En la que:

q_a = es el caudal del aspersor seleccionado, en litros/hora

A_r = es el marco de riego, en m^2

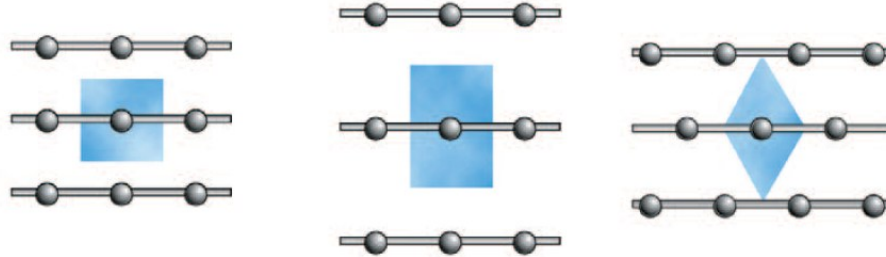


Figura 1.10: Marco de riego

Fuente: (Redondo, 2018)

Nota: la figura muestra: Derecha marco en tresbolillo, centro marco rectangular e izquierdo marco cuadrado

Los aspersores se colocarán en la parcela según una distancia conocida como marco de riego, que se representa con dos cifras: la primera indica la separación entre aspersores dentro de una línea (L) y la segunda la distancia entre las líneas de aspersores (L'), ambas en metros (Monge, 2018, pág. 119)

Las distancias recomendadas entre aspersores y ramales son las siguientes, dependiendo del tipo de marco de riego:

- En disposiciones o **cuadradas y triangulares (tresbolillo)**, la separación debe ser del 60% del diámetro mojado; y
- En configuraciones rectangulares, la separación entre ramales debe ser del 75% del diámetro mojado y del 40% del diámetro entre los aspersores de un mismo ramal (Fernández, 1999).

La disposición de emisores en los distintos marcos se aprecia en la **Figura 1.10**.

En la **Figura 1.11** y **Figura 1.12** se observan de manera didáctica la separación entre aspersores para los distintos marcos.

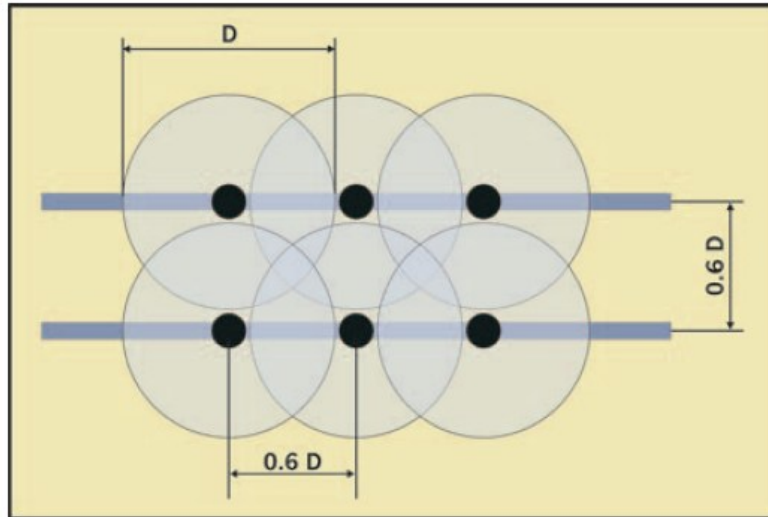


Figura 1.11: Separación recomendada entre aspersores y ramales de aspersión en marco rectangular

Nota: (Redondo, 2018)

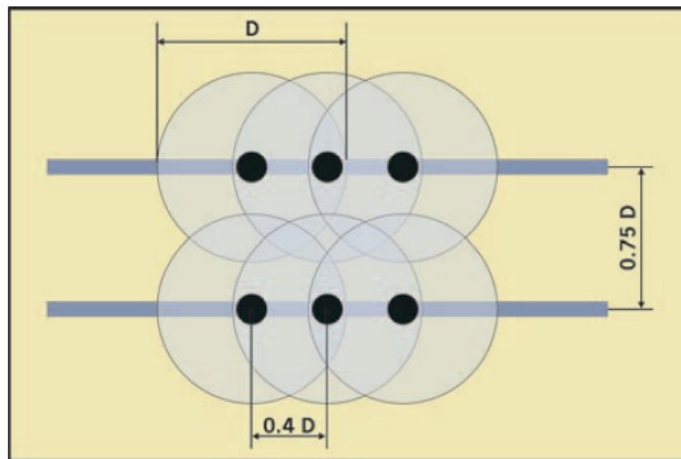


Figura 1.12: Separación recomendada entre aspersores y ramales de aspersión

Nota: (Redondo, 2018)

1.8.14. Duración del riego

Según Redondo (2018) este valor, en horas, se calcula como sigue (p. 124):

$$T_r = \frac{D_b}{Pms} \left[\frac{mm}{\frac{mm}{h}} = h \right] \quad \dots (9)$$

En donde:

T_r = tiempo de riego en horas

D_b = dosis bruta en mm

Pms = pluviometría media del sistema en mm/h

1.8.15. Número de bloques por día

El total de bloques o posturas que se regarán en un día debe ser un número entero que siempre se redondeará hacia abajo (Monge, 2018, pág. 124), y se obtiene como:

$$NB_d = \frac{JER}{T_r} = \left\lfloor \frac{\frac{h}{h}}{\frac{h}{bloque}} \right\rfloor = \text{bloques} \quad \dots (10)$$

El número total de bloques en que se dividirá la parcela o área en consideración se determina mediante la siguiente expresión:

$$NTB = NB_d \cdot I_r \quad \dots (11)$$

En donde NTB es el número total de bloques o posturas, NB_d es el número de bloques por día e I_r es el intervalo entre riegos, en días.

1.8.16. Número de aspersores por bloque

El número de aspersores por bloque se calcula utilizando la siguiente fórmula, aplicable a bloques homogéneos en superficie (Monge, 2018, pág. 125):

$$NaB = \frac{N_{ta}}{I_r \cdot NB_d} = \frac{N_{ta}}{NTB} \left\lfloor \frac{\text{aspersores}}{\text{bloques}} \right\rfloor \quad \dots (12)$$

En la cual N_{ta} es el número total de aspersores de la parcela.

El número total de aspersores en la parcela se obtiene con la siguiente expresión:

$$N_{ta} = \frac{S}{\text{marco de riego}} \quad \dots (13)$$

Siendo S la superficie de la parcela en m^2

1.8.17. Caudal definitivo del sistema

El caudal definitivo del sistema se calcula multiplicando el número de aspersores por bloque por el caudal de un aspersor (Monge, 2018, pág. 125):

$$Q_s = NaB \cdot q_a \quad \dots (14)$$

1.9. Evaluación de la uniformidad de riego por aspersión

Una baja uniformidad indica la existencia de áreas del suelo con exceso de agua y otras con déficit, o la necesidad de aplicar más agua para asegurar que las zonas que reciben menos estén adecuadamente abastecidas, esto significa que en ciertas áreas del campo no se logran producciones satisfactorias (Fernández, Oyonarte, et al., 2010).



Figura 1.13: Evaluación de uniformidad de riego por aspersión

Nota: (Fernández, Oyonarte, et al., 2010)

1.10. Coeficiente de uniformidad (CU)

La uniformidad de riego se refiere a cómo se distribuye de manera más o menos uniforme el agua que se infiltra en el suelo, expresándose a través de un porcentaje, cuando la distribución del agua es deficiente, se requiere aplicar una mayor cantidad para garantizar que las plantas que reciben menos agua tengan lo necesario para satisfacer sus necesidades, lo que a su vez puede llevar a que otras plantas reciban un exceso de agua (Yagüe, 2003).

En el contexto del riego por aspersión se utiliza preferentemente el siguiente coeficiente de uniformidad (CU) propuesto por Christiansen (Yagüe, 2003):

$$CU = 1 - \frac{\sum |d|}{M * n} \quad \dots (15)$$

Donde:

$\sum |d|$ = Suma de los valores absolutos de las desviaciones en los puntos de control, con respecto a la medida $|d|$ de la lámina infiltrada.

M = Valor medio de la lámina infiltrada en los puntos de control

n = Numero de puntos de control

Según Tarjuelo (1999), en ramales fijos, el coeficiente de uniformidad varía de 70 a 88% (p. 103)

1.11. Uniformidad de distribución

Define la uniformidad de distribución como (KELLER, 1983):

$$UD = \frac{\text{Altura de agua recogida en el 25\% del area menos regada}}{\text{Altura media del agua recogida}} \quad \dots (16)$$

Describe la uniformidad de distribución del sistema (UDs) como (KELLER, 1983):

$$UD = \frac{UD \left[1 + 3 \left(\frac{Pn}{Pa} \right)^{0.5} \right]}{4} \quad \dots (17)$$

Dónde:

Pn = presión mínima en un aspersor del bloque de riego.

Pa = presión media de los aspersores del bloque.

La UD es un parámetro de uniformidad de toda la subunidad de riego, no sólo del marco donde se realiza la evaluación. Así, cuando en la subunidad existan importantes variaciones de presión de unas zonas a otras, la UD será menor que si la presión es uniforme.

1.12. Diseño hidráulico de un sistema de riego por aspersión

1.12.1. Premisas de cálculo

La velocidad del agua no debe generar depósitos ni erosionar; por ello, no debe ser inferior a 0.6 m/s ni exceder 5 m/s., para tuberías que operan a presión, se utilizarán fórmulas de Hazen y Williams utilizando el coeficiente de rugosidad de C de 150 para tuberías PVC (Vásquez O, 2018).

1.12.2. Sector, bloque y postura de riego

Un sistema de riego puede dividirse en diferentes sectores; cada sector de riego corresponde a una parte de una zona regable o de un sistema de riego, definido según sus características; un sector también se llama bloque de riego; en cada bloque, el caudal y la presión se controlan mediante una válvula, y todos los aspersores operan simultáneamente durante el riego, dividir el terreno en bloques de riego se hace principalmente en función de la disponibilidad de caudal (Monge, 2018).

1.12.3. Diseño de laterales

Para calcular el diámetro de un ramal, se toma en cuenta la uniformidad en la descarga de agua por los aspersores de esa rama (Fuentes, 1999).

La diferencia máxima en el caudal de los aspersores en el ramal no deberá superar el 10% del caudal nominal. La diferencia de presión de entrada entre dos aspersores de un mismo ramal no debe ser superior al 20% de la presión nominal del aspersor en ramales horizontales (Monge, 2018).

La pérdida de presión continua o pérdida de carga en un tubo plástico destinado a riego por aspersión puede calcularse, entre otros métodos, mediante la fórmula de Hazen-Williams, que es adecuada para tubos de 50 mm de diámetro o más y para diversos materiales (Monge, 2018):

$$J = 10.67 \cdot C^{-1.85} \cdot D^{-4.87} \cdot Q^{1.85} \quad \dots (18)$$

Donde

J es la pérdida de presión continua del tubo en mca por metro de conducción (mca/m)

C es un coeficiente que depende del material de la conducción y del diámetro de la misma. Para tuberías de PVC y hasta 315 mm de diámetro, se toma $C = 150$

D es el diámetro interior de la tubería, en m.

Q es el caudal de entrada en m³/s

Las pérdidas de carga continuas serán:

$$h_f = J \cdot L \quad \dots (19)$$

Siendo L la longitud del lateral en metros.

Las pérdidas de carga en el ramal h_f serán la suma de las continuas y las localizadas o singulares de tal forma que:

$$h_t = h_f + h_s \quad \dots (20)$$

Las pérdidas de carga por conexiones se pueden estimar entre un 10 y un 15% de las continuas, de donde se tiene.

$$h_t = a \cdot J \cdot L \quad \dots (21)$$

Donde el coeficiente a varía desde 1.1 – 1.15

1.12.4. Dimensionado del resto de tuberías

Las tuberías principales y secundarias, así como los tramos que las componen, tienen la función de conducir el agua de riego hacia los diferentes bloques de la parcela, para determinar el diámetro de estas tuberías, se calculará el caudal que fluirá a través de ellas y se establecerá la velocidad del agua conforme a los criterios previamente mencionados (Monge, 2018).

La fórmula utilizada para el cálculo es:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{v \cdot \pi}} \quad \dots (22)$$

El caudal Q se expresa en m^3/s , la velocidad del agua v en m/s y el diámetro interior del tubo D en metros.

Se elegirá el diámetro comercial más próximo con respecto al valor que obtenemos al aplicar la fórmula. La pérdida de carga para tubos PVC se puede calcular con la ya conocida fórmula de Hazen-Williams:

$$J = 10.67 \cdot C^{-1.85} \cdot D^{-4.87} \cdot Q^{1.85} \quad \dots (23)$$

Las pérdidas de presión las calculamos según la conocida expresión:

$$h_t = a \cdot J \cdot L \quad \dots (24)$$

Donde el coeficiente a varía desde 1.1 – 1.15 (debido a las pérdidas locales)

1.13. Cultivo de arveja (*Pisum sativum* L.)

1.13.1. El origen del cultivo de arveja (*Pisum sativum* L.)

La procedencia tanto del cultivo de la arveja (*Pisum sativum* L.) como de su antecesor silvestre permanece poco clara, no obstante, estudios recientes indican que su centro de origen podría encontrarse en regiones que abarcan desde el Mediterráneo y el Medio Oriente hasta el suroeste de Asia, desde esos lugares, se ha difundido a distintas áreas con climas templados y a elevaciones en los trópicos alrededor del mundo (Suasnabar Astete et al., 2021).

La arveja fue traída al Perú por los conquistadores españoles hace más de quinientos años, en la actualidad, este cultivo se encuentra tanto en la región costera como en la sierra, las zonas más significativas para el cultivo en Perú se localizan en la sierra, a altitudes que varían entre 1600 y 3000 metros sobre el nivel del mar, en el norte, se produce en las provincias de Ancash, La Libertad y Cajamarca; en el centro, en Tarma, Jauja, Huancayo, Huánuco, Huancavelica (Acobamba) y Ayacucho; y en el sur, en las provincias cusqueñas de Paucartambo y Paruro, así como en algunas regiones del departamento de Arequipa (Suasnabar Astete et al., 2021).

1.13.2. Altitud y ciclo de cultivo

La arveja se cultiva a altitudes que oscilan entre los 2000 y 3200 metros, abarcando una variedad de agroecosistemas. Su ciclo de crecimiento puede variar entre 100 y 128 días, y se cultiva en áreas de temporal o secano bajo riego (Minchala y Guamán, 2004)

1.13.3. Clasificación taxonómica

La clasificación taxonómica del cultivo de arveja según (Checa Coral et al., 2022, p. 21) es la siguiente:

Tabla 1.3: Clasificación taxonómica de *Pisum sativum* L

Dominio	:	Eucariota
Reino	:	Plantae
Phylum	:	Espermatofita
Subphylum	:	Angiospermae
Clase	:	Dicotiledónea
Orden	:	Fabales
Familia	:	Leguminosae
Subfamilia	:	Papilionoideae
Tribu	:	Vicieae
Genero	:	<i>Pisum</i>
Especie	:	<i>sativum</i>
Nombre científico	:	<i>Pisum sativum</i> L.
Nombre vulgar	:	Arveja, alverja, guisante, chochero, entre otros

Fuente: (Checa et al., 2022), La arveja, investigacion ytecnologia en el sur de Colombia.

1.13.3.1. Valor nutritivo del cultivo de *Pisum sativum* L.

Los guisantes frescos son ricos en minerales, particularmente fósforo y hierro, y son una buena fuente de tiaminas, sobre todo vitamina B1, también contienen fibra y aportan una cantidad significativa de azúcares y aminoácidos, incluyendo la lisina (Infoagro, 2008).

La composición nutricional de la arveja, en 100 g de materia comestible es la siguiente:

Tabla 1.4: Valor nutritivo del cultivo de *Pisum sativum* L.

Valor nutricional por cada 100 g	
Carbohidratos	13.8 g
Grasa	0.4g

Proteínas	5.9g
Agua	73%
Fibra	0.8 g
Ceniza	2.5 g
Tiamina	0.35 mg
Riboflavina	0.14 mg
Niacina	2.9 mg
Ácido ascórbico	27 mg
Vitamina A	640 UI
Calcio	26 g
Hierro	1.8 mg
Fosforo	96 mg
Potasio	139 mg
Sodio	2 mg
Valor energético	84 calorías

Fuente:(Infoagro, 2008) Cultivo de guisante

1.13.3.2. Morfología del cultivo de *Pisum sativum L.*

La morfología de la arveja (*Pisum sativum L.*) se detalla a continuación:

1.13.3.2.1. Raíz.

Este cultivo presenta un sistema radicular pivotante del cual surgen raíces secundarias o laterales, que a su vez generan raíces terciarias más delgadas, formando así una estructura de raíces que se asemeja a un fascículo, durante la emergencia de la plántula, la radícula ya cuenta con algunas raíces secundarias; este sistema radicular se desarrolla adecuadamente antes de que se despliegue la tercera hoja, posteriormente, la radícula continúa creciendo hasta dar lugar a la raíz pivotante verdadera, que normalmente alcanza hasta 1 metro de profundidad, aunque lo habitual es que no sobrepase los 50 cm, desde las raíces secundarias, también se origina una densa red de raíces terciarias (Suasnabar Astete et al., 2021).



Figura 1.14: Raíz de la arveja (*Pisum sativum* L.)

Fuente: (Suasnabar Astete et al., 2021)

1.13.3.2.2. Tallo.

Este cultivo posee un tallo principal hueco con entrenudos que le confieren un aspecto zigzagueante, desde este tallo principal pueden desarrollarse, o no, tallos secundarios, que surgen del nudo cotiledonal o de nudos superiores, inicialmente, el tallo se presenta erecto, pero tras la floración tiende a postrarse debido al aumento en la masa fresca de la planta (Galindo, 2020).

1.13.3.2.3. Hoja

Las hojas de la arveja están formadas por dos estípulas que rodean la parte basal del tallo, y tienen entre cuatro y seis folíolos que pueden presentarse en disposición opuesta, lanceolada o alterna. En la parte superior de las hojas se encuentran los zarcillos, que oscilan entre tres y cinco, y que la planta emplea para treparse, usualmente, las estípulas son más grandes que los folíolos; en las variedades que producen granos más grandes, tanto los folíolos como las estípulas tienden a ser de mayor tamaño (Galindo, 2020).

1.13.3.2.4. Flores

La estructura floral de la arveja se conforma a las características de las plantas de la familia de las papilionáceas, presenta una flor cleistógama, y se compone de cinco pétalos, junto con cinco sépalos, y un pedúnculo hueco y delgado que mide de 1.5 a 2 cm de largo, estas flores surgen en las axilas de las hojas, formando una inflorescencia tipo racimo axilar con dos o tres flores (Suasnabar Astete et al., 2021, p. 23).



Figura 1.15: Flor de la arveja (*Pisum sativum* L.)

Nota: (Suasnabar Astete et al., 2021)

1.13.3.2.5. La inflorescencia

Las inflorescencias en la arveja se originan en las axilas y pueden conformarse por una o más flores, que se disponen de manera escalonada, las variedades más tempranas tienden a ser enanas y florecen en los nudos basales (Suasnabar Astete et al., 2021).



Figura 1.16: Inflorescencia de arveja (*Pisum sativum* L.)

Fuente: (Suasnabar Astete et al., 2021b)

1.13.3.2.6. Frutos

Las vainas pueden ser lisas o rugosas, y sus colores varían desde verde claro hasta grisáceo, pasando por verde oscuro y verde azulado, la longitud de las vainas oscila entre 4 y 12 cm, mientras que el ancho varía de 1 a 2 cm, el proceso de fructificación comienza con el desarrollo del fruto, hasta alcanzar su tamaño máximo, después se lleva a cabo el llenado de las semillas, las cuales se disponen de manera alternada a lo largo de la sutura placentaria del fruto, finalizando con la maduración que puede incluir entre 2 y 12 semillas por fruto (Suasnabar Astete et al., 2021).



Figura 1.17: Fruto de arveja (*Pisum sativum L.*)

Fuente: (Suasnabar Astete et al., 2021b)

1.13.3.2.7.Semillas

Las semillas de la arveja presentan una forma que puede ser esférica o angular, con un diámetro que varía, lo que determina su tamaño: las pequeñas miden menos de 8 mm; las medianas de 8 a 10 mm; y las grandes superan los 10 mm, su superficie puede ser lisa o rugosa y sus colores varían entre blanco cremoso, verde claro, verde azulado, gris o amarillo claro; también tienen un hilum pequeño y elíptico de color claro o negro, dependiendo de la variedad, el número de granos por fruto varía entre 3 y 10, y el peso de 1000 semillas oscila entre 150 y 300 gramos, las semillas lisas tienen un mayor contenido de glucosa y dextrina, mientras que las rugosas son más dulces y se utilizan para consumo fresco. Estas semillas presentan germinación epigea (Suasnabar Astete et al., 2021, p. 24).



Figura 1.18: Semillas de arveja (*Pisum sativum L.*)

Fuente: (Suasnabar Astete et al., 2021), Cultivo de arveja

1.13.3.3. Exigencias del cultivo

- **Suelo**

La arveja puede cultivarse en una amplia gama de suelos, que van desde arenosos hasta arcillosos, siempre que se asegure un buen drenaje, sin embargo, este cultivo prefiere suelos franco-arenosos o franco-arcillosos que estén bien drenados y ricos en materia orgánica, lo que facilita la formación de nódulos para la fijación de nitrógeno, promueve el crecimiento saludable de la planta y contribuye a obtener altos rendimientos la arveja tiene una preferencia por suelos ligeramente ácidos, tolerando un pH que varía entre 5.5 y 6.5, aunque no soporta niveles excesivos de acidez (Venegas Marcalla, 2011).

- **Riego**

El cultivo de arveja (*Pisum sativum L.*) necesita una adecuada cantidad de agua en las fases de prefloración, floración y llenado de los frutos, se recomienda aplicar riegos en cantidades moderadas, dado que su sistema radicular es sensible al exceso de humedad, lo cual puede causar pudrición de las raíces, según la época de siembra y el tipo de suelo, se pueden realizar de 5 a 6 riegos a través de gravedad (entre surcos) (Suasnabar Astete et al., 2021).

- **Clima**

El cultivo de arveja (*Pisum sativum L.*) se adapta mejor a las condiciones de la sierra, especialmente en los valles interandinos, su crecimiento y desarrollo son óptimos en climas fríos, aunque los climas frescos son los que más le benefician, la planta es poco resistente a la sequía y muy sensible a las altas temperaturas (Suasnabar Astete et al., 2021).

- **Temperatura**

Para lograr un crecimiento y productividad óptimos en el cultivo de arveja, la temperatura ideal se encuentra en un rango que varía entre 15 y 18 °C (Venegas Marcalla, 2011).

- **Humedad relativa**

La arveja (*Pisum sativum L.*) se desarrolla óptimamente en ambientes donde la humedad relativa se mantenga por debajo del 75%, esto se debe a que es susceptible a infecciones por enfermedades criptógamas, las cuales son provocadas por hongos y bacterias que proliferan en condiciones de alta humedad y temperaturas elevadas (Venegas Marcalla, 2011)

1.14. Diseño de redes en los sistemas de riego

El proceso de diseño y dimensionado de una red de riego implica varias fases, que van desde la toma de decisiones sobre el proyecto hasta la determinación de los diámetros de cada una de las tuberías que componen la red (González Villa, 2011, p. 20).

Estas fases incluyen:

- Ubicación de los hidrantes
- Trazado de la red
- Determinación de los gastos que circulan por cada una de las líneas
- determinación de los diámetros de las tuberías.

1.14.1. Trazado de la red

El aspecto central de la red de riego a presión es precisamente esta red, que se compone de las conducciones que distribuyen el agua desde el punto de inyección hasta todos los puntos de consumo o hidrantes previamente definidos (González Villa, 2011).

1.14.2. Determinación de diámetro de la tubería

El dimensionado de la red implica esencialmente la formulación matemática de un problema que busca optimizar los costos totales anuales relacionados tanto con la instalación como con el uso posterior del sistema, cumpliendo con ciertas restricciones (Palomino, 2016, p. 21).

Estas estricciones son:

- Ecuación de la continuidad
- Ecuación de la energía
- Presiones máximas y mínimas en los nodos dentro de su rango
- Los diámetros máximos y mínimos posibles a adoptar dentro de un rango
- Velocidad máxima de circulación en las líneas.

1.15. Programas de diseño para sistemas de riego

Entre los programas más usados actualmente, se encuentran WCADI, EPANET, WATERCAD, GESTAR, etc. Para el caso del presente estudio se usará el Software SIGOPRAM, por lo que a continuación se describen las generalidades del mismo.

1.16. SIGOPRAM

El SIGOPRAM es una herramienta que permite el diseño, dimensionado y simulación de redes hidráulicas a presión, destacando que todo este proceso se lleva a cabo en un entorno GIS (Sistema de Información Geográfica), lo que optimiza las capacidades de dichos sistemas (Trujillo et al., n.d., p. 8).

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. Ubicación

El presente trabajo de tesis se desarrolla en el centro poblado de Chacabamba, ubicado en la provincia de Cangallo, dentro del departamento de Ayacucho, la altitud inicial que marca el punto de partida de estudio, se sitúa a 3, 218.2 msms, donde se localiza la toma lateral que nace del canal existente. Desde este punto, el agua será transportado hacia la parcela en estudio que su ubica a 2955 msnm, mediante la instalación de tubería HDPE con un diámetro de 63mm.

2.1.1. Ubicación política

La ubicación política de la zona en estudio es la siguiente: se adjunta en el anexo de planos, plano de ubicación política: UP – 01

Región	:	Ayacucho
Provincia	:	Cangallo
Distrito	:	Totos
Centro poblado	:	Chacabamba

2.1.2. Ubicación geográfica

La ubicación geográfica de la zona en estudio se encuentra en las coordenadas siguientes:

Coordenadas UTM Norte	:	8496263.00 m S
Coordenadas UTM Este	:	552475.00 m E
Altitud	:	2955.00 m.s.n.m.

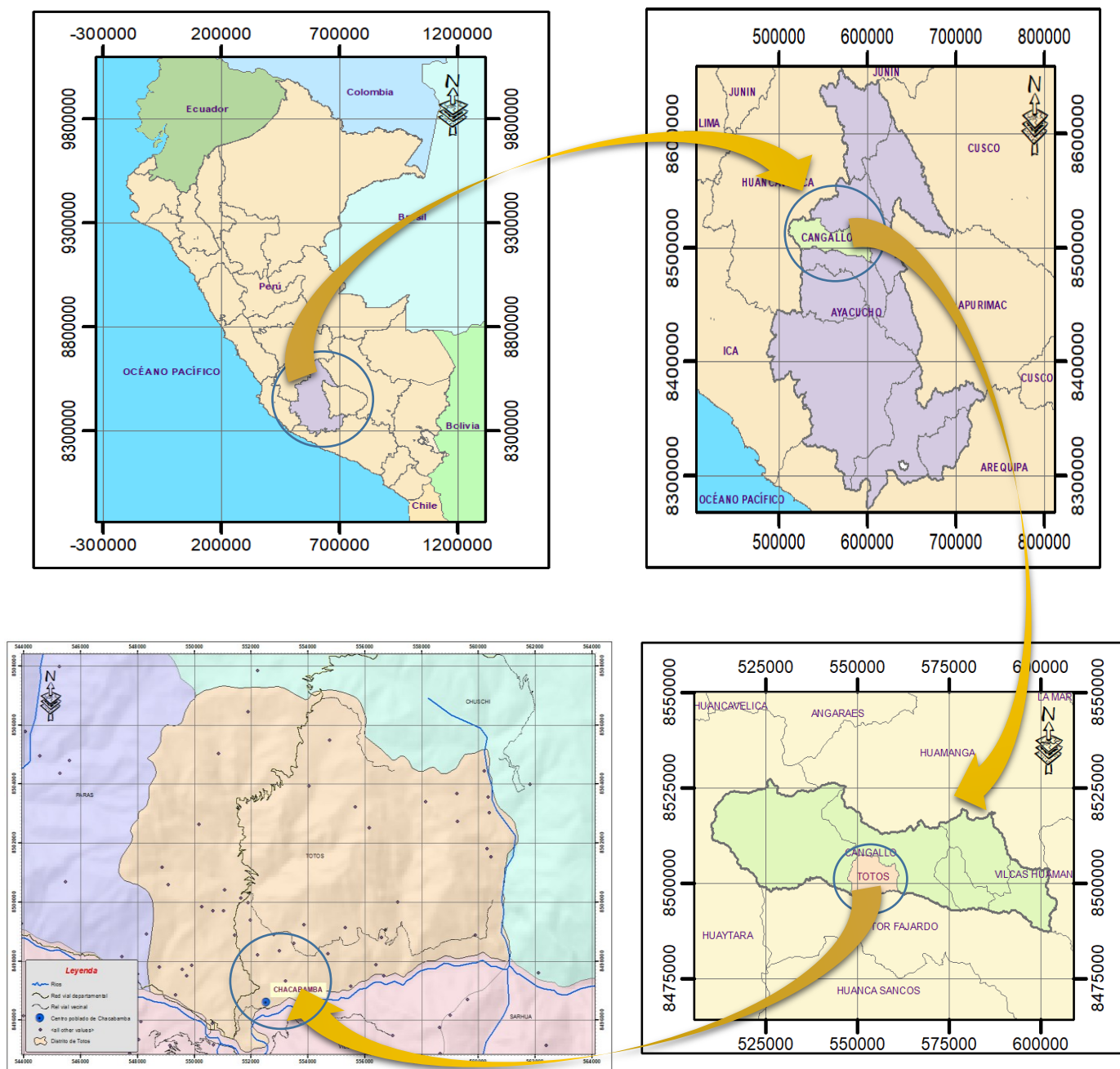


Figura 2.1: Mapa de ubicación del proyecto



Figura 2.2: Imagen satelital de la parcela en estudio

La parcela tiene una superficie (área) total de 0.26 Ha implementado con riego tecnificado por aspersión y tiene un área de 0.12 Ha cultivado con arveja (*Pisum sativum L.*).

2.1.3. Vías de acceso

La ruta principal para llegar de Ayacucho al centro poblado de Chacabamba es a través de la carretera Vía los libertadores asfaltada de una distancia de 41km, de allí se toma un desvío a la margen izquierda, del punto denominado Arizona, que pertenece al distrito de Vinchos, para recorrer por una trocha carrozable de 83.3km como se detalla en la siguiente **Tabla 2.1**

Tabla 2.1: Vías de acceso a la zona de proyecto

TRAMO	DISTANCIA (KM)	TIEMPO (HORAS)	TIPO DE VÍA	ESTADO DE LA VÍA
Ayacucho – Arizona	41.1km	1 hora	Asfaltada	Buena
Arizona - Totos	83.3 km	2 1/2 horas	Trocha	Regular
Totos - Chacabamba	2 km	15 min	Trocha	Mala

2.1.4. Características climáticas

Las características climáticas de la zona objeto de estudio se relacionan en **Tabla 2.2**, los cuales se obtienen a partir de los reportes de estaciones meteorológicas de Huanca sancos, Pampa

Cangallo y Santa Cruz de Hospicio, con los cuales se ha regionalizado para crear una estación ficticia de la parcela demostrativa.

Tabla 2.2: Características climáticas de la zona en estudio

CLIMA	
Precipitación media anual.	714.6 mm
Humedad relativa media	61%
Temperatura media anual.	9.9 °C

2.2. Materiales y equipos

2.2.1. Materiales

- ✓ Libreta de campo
- ✓ Lapicero
- ✓ Estaca de madera
- ✓ Bolsa Plástica
- ✓ Cámara fotográfica
- ✓ Pico
- ✓ Pala

2.2.2. Equipos

2.2.2.1. Equipos de gabinete

- ✓ Laptop de Windows 10
- ✓ Celular
- ✓ Impresora

2.2.2.2. Equipos de medición

- ✓ Cronometro
- ✓ Cinta métrica de 5m
- ✓ Regla de 30cm
- ✓ Wincha de 50m
- ✓ Manómetros
- ✓ Probetas

2.2.2.3. Equipos de riego

- ✓ Aspersores de tipo Compact Impact
- ✓ Válvula parcelaria (Válvula bola PVC con rosca de 63mm para Tuberías HDPE de 63mm de diámetro)

- ✓ Válvula de aire de PVC de doble efecto de 32 mm
- ✓ Válvula de purga (Válvula de bola de 32mm y sus accesorios para Tuberías HDPE de 32mm de diámetro)
- ✓ Tuberías HDPE de 63,50 y 32 mm de diámetro

2.2.3. Software

- ✓ Microsoft office 2019
- ✓ ArcGIS 10.3
- ✓ SIGOPRAM

2.3. Problemas específicos

1. ¿Sera posible obtener información básica de la parcela en estudio, tales como: levantamiento topográfico, estudio de suelos, disponibilidad y calidad del agua de riego procedente del rio Totos?
2. ¿Sera posible realizar el diseño agronómico e hidráulico de riego por aspersión de la zona en estudio?
3. ¿Sera posible implementar el sistema de riego tecnificado por aspersión en la parcela demostrativa?
4. ¿Sera posible determinar el coeficiente de uniformidad en la zona en estudio en cultivo de arveja (*Pisum sativum L*)?

2.4. Métodos

Las etapas realizadas para la ejecución de trabajo de investigación fueron los siguientes:

2.4.1. Recopilación de información básica de la parcela en estudio, tales como: levantamiento topográfico, estudio de suelos, disponibilidad y calidad del agua de riego procedente del rio Totos

2.4.1.1. Reconocimiento de la parcela

Durante la inspección de la zona de estudio en Chacabamba, se logró identificar la fuente de agua disponible y se evaluó la topografía del terreno. La implementación de riego tecnificado en la parcela demostrativa servirá como un ejemplo para los agricultores del centro poblado de Chacabamba, mejorando así la eficiencia en el uso del agua y permitiendo un riego más uniforme y controlado. Como se observa en las **Figura 2.3** y **Figura 2.4**.



Figura 2.3: Identificación de fuente de agua

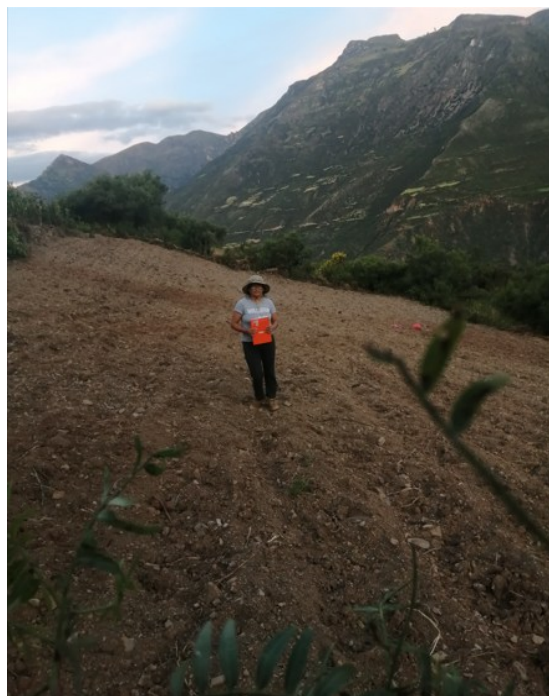


Figura 2.4: Identificación de parcela en estudio

2.4.1.2. Levantamiento topográfico de la zona en estudio

El levantamiento topográfico de la parcela se llevó a cabo utilizando GPS diferencial, con el fin de determinar la planimetría y generar las curvas de nivel del terreno. Este proceso consistió en la recolección de datos utilizando GPS diferencial de alta precisión para obtener información

detallada sobre la forma y la elevación de la superficie del terreno, con lo cual se obtuvo coordenadas exactas que se utilizaron para crear mapas topográficos detallados y representar con precisión las características del terreno en el área de interés, como se observa en la **Figura 2.5**.



Figura 2.5: Levantamiento topográfico del área en estudio

2.4.1.3. Toma de muestras por cuarteo para análisis de suelos

Se seleccionó un punto representativo para la toma de muestras de suelo. Posteriormente, se procedió a limpiar la superficie del suelo, retirando la vegetación existente, piedras y otros elementos que pudieran inferir en la toma de muestras, ver **Figura 2.6**.



Figura 2.6: Punto representativo para la muestra del suelo

Luego, se realizó el hoyo en forma de “v” en el punto, con una profundidad equivalente al largo de la hoja de la pala estándar, para extraer muestras del suelo de manera representativa y homogénea, como se muestra en la **Figura 2.7**.



Figura 2.7: Hoyo en forma de “V”

Luego, se extrajo una porción de suelo aproximadamente tres a cuatro centímetros de espesor de una de las paredes del hoyo como se muestra en la **Figura 2.8**.



Figura 2.8: Porción del suelo de una de las paredes del hoyo

Posteriormente, se cortaron los extremos de la muestra de suelo, dejando un ancho de cinco centímetros en el centro, para obtener una muestra representativa y homogénea que pueda ser analizada adecuadamente, como se muestra en la **Figura 2.9**.



Figura 2.9: Extracción de porción del suelo

Para asegurar que la muestra de suelo sea homogénea y representativa, se mezcló la porción extraída formando una circunferencia. Después, se dividió esta mezcla en cuatro partes iguales y se eliminaron las partes opuestas. Las dos partes restantes se juntaron y se mezclaron nuevamente. Este proceso se repitió hasta obtener un kilogramo de muestra de suelo, garantizando que la muestra sea una representación fiel de la composición del suelo en el área de estudio.

El kilogramo de muestra de suelo recolectado se guardó en una bolsa para llevarlo a laboratorio de suelos y análisis foliar, donde será analizado sus características físicas – químicas: textura, conductividad eléctrica, pH, densidad aparente, capacidad de campo, punto de marchites, aniones y cationes, como se muestra en la **Figura 2.10**.



Figura 2.10: Kilogramo de suelo recolectado para laboratorio

2.4.1.4. Toma de muestras para análisis de agua

Se recolectó una muestra de agua de riego del canal existente que es alimentado del río Totos. El agua se almacenó en una botella plástica de 1litro, la cual fue lavada tres veces con el agua de la muestra para evitar que se alteren los resultados del análisis de laboratorio que se llevara a cabo, ver **Figura 2.11**.



Figura 2.11: Muestra de agua de la bocatoma existente

La muestra fue llevada a laboratorio de suelos y análisis foliar y posteriormente fueron evaluadas las características químicas del agua de riego, los valores de pH, CE (dS/m), ver **Figura 2.12**.

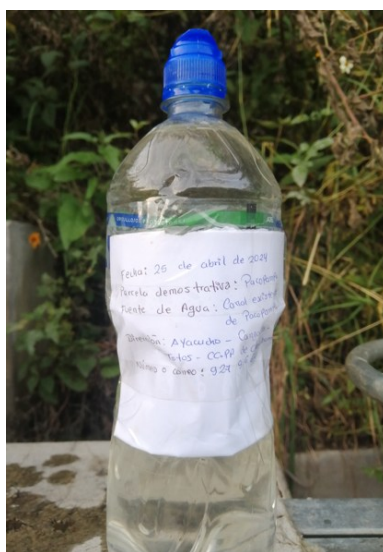


Figura 2.12: Muestra de agua para llevar al laboratorio

2.4.1.5. Disponibilidad del agua

El agua disponible para la ejecución del proyecto proviene de un canal existente de Paccopampa que es alimentado del río Totos, el cual se encuentra ubicado en la parte superior de la parcela en estudio. El canal existente transporta agua de 15 litros/seg, es la base para el diseño agronómico e hidráulico que se planteó.

2.4.1.6. Prueba de infiltración

La prueba de infiltración se realizó por el método del cilindro infiltrómetro en la parcela representativa. Se procedió a introducir el cilindro interior mediante el uso de una comba golpeando lentamente la tabla que se halla colocada sobre el cilindro hasta que haya introducido al suelo 15 cm. Se tiene que ver que el cilindro no se encuentre inclinado verificando la horizontalidad con nivel de mano, después introducimos el cilindro de mayor diámetro concéntrico al anterior, se coloca una bolsa de plástico en el cilindro interior, llenamos el agua en el espacio comprendido entre ambos cilindros hasta una altura de 10 cm tiene que mantenerse constante la altura de agua durante todo el proceso, llenamos el agua al cilindro interior hasta una altura de 28.5 cm. Rápidamente se marca este nivel para iniciar con la lectura. Se midió el nivel de agua con una regla graduada se realizó las mediciones en un intervalo de tiempo de 1, 2, 5 y 10 min, Hasta completar la prueba como se observa en las

Figura 2.13 y Tabla 2.3.



Figura 2.13: Prueba de infiltración

Tabla 2.3: Registros de prueba de infiltración

Ubicación	:	Paccopampa	Observador	:	Bach. Lyss Kelly Añanca Huamán
Fecha	:	17/04/2024	N° Prueba	:	1
Método	:	Cilindros infiltrómetros	Observación	:	Suelo totalmente seco
Textura	:	Fr - Ar			

Hora de Muestreo			Hora	Tiempo		Lectura	
Hora	Min	Seg	Min	Parcial	Acumulado	Inicial (cm)	Cambio (cm)
4	10	0	970.00	0.00	--	28.50	
4	11	0	971.00	1.00	1.00	14.00	
4	12	0	972.00	1.00	2.00	3.00	23.50
4	13	0	973.00	1.00	3.00	13.50	
4	14	0	974.00	1.00	4.00	4.50	21.00
4	15	0	975.00	1.00	5.00	15.50	
4	16	0	976.00	1.00	6.00	10.50	20.00
4	17	0	977.00	1.00	7.00	15.60	
4	18	0	978.00	1.00	8.00	11.40	
4	19	0	979.00	1.00	9.00	8.00	24.00
4	20	0	980.00	1.00	10.00	21.80	
4	22	0	982.00	2.00	12.00	20.20	
4	24	0	984.00	2.00	14.00	18.40	
4	26	0	986.00	2.00	16.00	16.80	
4	28	0	988.00	2.00	18.00	15.30	
4	30	0	990.00	2.00	20.00	14.00	
4	35	0	995.00	5.00	25.00	10.00	20.70
4	40	0	1000.00	5.00	30.00	16.80	
4	45	0	1005.00	5.00	35.00	13.00	19.00
4	50	0	1010.00	5.00	40.00	15.50	
4	55	0	1015.00	5.00	45.00	12.50	22.10
5	60	0	1020.00	5.00	50.00	19.30	
5	10	0	1030.00	10.00	60.00	15.00	30.00
5	20	0	1040.00	10.00	70.00	26.50	
5	30	0	1050.00	10.00	80.00	23.30	
5	40	0	1060.00	10.00	90.00	20.30	
5	50	0	1070.00	10.00	100.00	17.50	
6	0	0	1080.00	10.00	110.00	15.00	
6	10	0	1090.00	10.00	120.00	12.60	
6	20	0	1100.00	10.00	130.00	11.00	

2.4.1.7. Procesamiento de los datos recopilados en campo

Se inició con la descarga de los datos del levantamiento topográfico de la parcela demostrativa, de GPS diferencial se descarga los datos en forma directa al USB en formato de texto. El procesamiento de los datos descargados de GPS diferencial se realizó con el programa AutoCAD, Civil 3D. Se realiza el Dibujo el plano de parcela demostrativa el área en ha.

2.4.2. Cálculo de diseño agronómico e hidráulico de riego por aspersión de la zona en estudio

2.4.2.1. Diseño agronómico de riego por aspersión

El diseño agronómico se llevó a cabo para determinar los elementos necesarios para calcular el flujo de agua y utilizar de manera eficiente los sistemas de riego.

A. Cálculo de demanda de agua

A.1. Información meteorológica

Las estaciones meteorológicas utilizadas fueron Santa Cruz de Hospicio, Pampa Cangallo y Huanca sancos, con los cuales se creó una estación ficticia en la zona en estudio como estación de parcela demostrativa a través de regionalización, cuya altitud es de 3180.180 msnm, latitud de 13°35'47.10"S y longitud de 74°30'51.38"W, como se muestran en la **Tabla 2.4**, **Tabla 2.5**, **Tabla 2.6**, **Tabla 2.7**, **Tabla 2.8** y **Tabla 2.9**.

Tabla 2.4: Precipitación mensual generada por el método de Kriging

Estación:	:Parcela en Estudio					Latitud	: 13°35'47.10"S				Dpto.	: Ayacucho		
Parámetro:	: Precipitación Mensual					Longitud	: 74°30'51.38"W				Prov.	: Cangallo		
						Altitud	3180.180 msnm.				Dist.	: Totos		
	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
	2000	121.6	103.1	155.9	31.5	12.8	10.0	2.5	14.8	4.7	78.5	23.5	106.3	665.2
	2001	177.8	97.1	198.0	42.5	27.8	3.7	12.2	9.3	14.8	46.3	55.3	28.5	713.3
	2002	128.7	136.9	119.1	29.8	9.3	5.6	42.8	6.6	50.8	36.6	111.2	197.5	874.9
	2003	148.7	137.7	126.4	40.0	9.8	0.0	0.0	17.2	22.3	39.0	36.0	149.4	726.5
	2004	57.7	161.3	126.2	46.6	2.2	6.4	10.9	11.2	31.1	35.1	54.0	132.1	674.8
	2005	97.4	72.0	134.9	30.6	0.0	0.0	1.9	19.3	41.8	23.4	20.5	141.7	583.5
	2006	189.0	121.1	156.0	54.2	1.4	2.5	0.0	14.2	28.7	36.0	48.5	72.0	723.6
	2007	100.0	97.1	181.7	83.5	11.6	2.0	3.1	0.0	24.1	43.5	36.8	116.0	699.4
	2008	213.5	166.5	81.2	22.8	5.6	5.7	0.7	3.8	13.0	37.9	53.5	84.8	689.0
	2009	102.3	168.0	124.7	56.6	2.8	0.0	14.4	0.0	12.7	42.4	91.8	75.6	691.3
	2010	216.5	114.6	98.3	32.9	4.2	2.0	0.0	2.4	8.0	41.5	17.6	158.8	696.8
	2011	291.4	228.3	138.1	93.8	7.1	1.2	10.0	2.4	32.4	18.3	67.3	106.7	997.0
	2012	123.9	254.4	169.0	152.3	3.2	8.6	2.3	0.7	12.9	21.3	6.6	195.1	950.3
	2013	122.2	185.5	124.3	1.8	27.6	12.7	6.1	10.4	16.5	46.2	40.2	145.5	739.0
	2014	174.0	114.7	121.2	49.0	11.7	7.1	13.7	11.4	49.9	74.7	35.3	100.5	763.2
	2015	165.7	124.2	159.6	39.2	26.6	2.2	8.9	16.4	16.1	32.0	47.6	82.7	721.2
	2016	45.3	132.7	81.7	26.4	8.1	11.2	10.7	8.2	22.4	26.3	10.7	79.4	463.1
	2017	280.9	194.9	147.1	52.0	11.6	5.9	12.2	7.2	26.5	6.7	51.2	36.7	832.9
	2018	163.6	110.6	148.6	53.7	11.0	13.9	22.0	8.8	15.6	4.1	0.0	45.0	596.9
	2019	118.6	165.6	95.3	48.4	1.7	3.9	10.0	0.0	9.6	16.4	24.4	137.7	631.6
	2020	108.4	146.8	94.4	2.5	11.0	14.5	11.4	116.5	9.1	12.2	0.0	91.7	618.5
	2021	174.5	130.1	145.6	63.3	12.7	3.1	1.1	0.4	19.4	63.5	51.4	66.4	731.5
	2022	172.5	145.6	142.7	47.8	1.6	2.2	0.3	0.3	5.3	0.0	3.6	110.8	632.7
	2023	197.9	169.4	134.5	31.2	22.7	0.0	0.4	4.8	17.5	67.3	65.0	127.4	838.1
	2024	164.9	157.3	67.8	37.9	7.3	0.7	2.5	12.5	21.0	14.3	65.9	57.6	609.7
	MEDIA	154.3	145.4	130.9	46.8	10.1	5.0	8.0	12.0	21.0	34.5	40.7	105.8	714.6
	D.S	59.3	41.7	32.0	30.0	8.3	4.5	9.4	22.6	12.5	21.1	27.9	45.0	116.8
	MAX	291.4	254.4	198.0	152.3	27.8	14.5	42.8	116.5	50.8	78.5	111.2	197.5	997.0
	MIN	45.3	72.0	67.8	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	4.7	0.0	0.0	28.5	463.1

Tabla 2.5: Registro de velocidades del viento mensual (m/seg)

Estación:	:Parcela en Estudio					Latitud	: 13°35'47.10"S					Dpto.	: Ayacucho	
Parámetro:	: velocidad del viento					Longitud	: 74°30'51.38"W					Prov.	: Cangallo	
						Altitud	: 3180.180 msnm.					Dist.	: Totos	
ESTACIONES	Altitud (msnm)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
Santa cruz de Hospicio	2933	2.3	2.4	2.4	2.3	3.0	2.9	2.6	3.0	2.9	2.7	2.5	2.4	
Pampa Cangallo	3315	1.6	1.6	1.5	1.5	1.6	1.6	1.7	1.8	1.8	1.9	1.9	1.6	
Promedio	3440	2.0	2.0	1.9	1.9	2.3	2.2	2.2	2.4	2.4	2.3	2.2	2.0	

Tabla 2.6: Regionalización de temperatura máximas mensuales (°C)

Estación:	:Parcela en Estudio	Latitud	: 13°35'47.10"S	Dpto.	: Ayacucho								
Parámetro:	: Temperaturas Máximas	Longitud	: 74°30'51.38"W	Prov.	: Cangallo								
		Altitud	: 3180.180 msnm.	Dist.	: Totos								
ESTACIONES	Altitud (msnm)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Santa cruz de Hospicio	2,933.00	12.7	13.6	13.4	14.1	13.8	13.3	14.3	15.2	14.9	15.5	15.4	14.0
Pampa Cangallo	3,315.00	18.1	17.8	17.7	18.4	18.5	18.9	19.4	20.2	20.0	20.5	20.7	19.2
Huanca sancos	3,440.00	20.4	19.6	19.8	16.6	16.6	17.7	17.4	17.2	14.9	15.4	15.3	14.5
Parcela demostrativ:	3180	16.5	16.5	16.3	16.0	16.1	16.2	16.6	17.2	16.6	17.0	16.9	15.6131

Tabla 2.7: Regionalización de temperatura mínimas mensuales (°C)

Estación:	:Parcela en Estudio	Latitud	: 13°35'47.10"S	Dpto.	: Ayacucho								
Parámetro:	: Temperaturas Mínimas	Longitud	: 74°30'51.38"W	Prov.	: Cangallo								
		Altitud	: 3180.180 msnm.	Dist.	: Totos								
ESTACIONES	Altitud (msnm)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Santa cruz de Hospicio	2,933.00	3.3	3.6	3.8	2.4	0.1	-1.8	-1.7	-0.5	1.9	1.7	2.2	3.0
Pampa Cangallo	3,315.00	7.0	5.9	7.4	4.4	4.2	2.0	3.6	3.9	4.5	5.4	5.2	6.7
Huanca sancos	3,440.00	5.0	5.7	6.1	3.1	1.2	-0.6	0.1	0.4	0.9	1.2	1.9	2.7
Parcela demostrativ:	3180	4.9	4.9	5.5	3.2	1.7	-0.4	0.3	1.2	2.4	2.6	3.1	4.1

Tabla 2.8: Regionalización de humedad relativa mensual (%)

Estación:	:Parcela en Estudio	Latitud	: 13°35'47.10"S	Dpto.	: Ayacucho								
Parámetro:	: Humedad Relativa	Longitud	: 74°30'51.38"W	Prov.	: Cangallo								
		Altitud	: 3180.180 msnm.	Dist.	: Totos								
ESTACIONES	Altitud (msnm)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Santa cruz de Hospicio	2,933.00	77.8	78.6	80.4	70.6	50.6	48.5	47.1	44.7	54.8	58.6	61.5	69.5
Pampa Cangallo	3,315.00	73.9	76.5	76.1	65.0	56.8	47.3	42.9	42.1	51.3	50.5	52.0	67.5
Huanca sancos	3,440.00	74.2	75.0	77.3	69.8	67.7	63.5	60.9	65.4	47.7	46.6	47.9	52.9
Parcela demostrativ:	3180	75.6	77.1	78.3	68.5	57.0	52.0	49.5	49.3	51.9	53.1	55.2	64.6

Tabla 2.9: Regionalización de temperatura media mensual (°C)

Estación:	:Parcela en Estudio	Latitud	: 13°35'47.10"S	Dpto.	: Ayacucho								
Parámetro:	: Temperatura media mensual	Longitud	: 74°30'51.38"W	Prov.	: Cangallo								
		Altitud	: 3180.180 msnm.	Dist.	: Totos								
ESTACIONES	Altitud (msnm)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Santa cruz de Hospicio	2,933.00	8.0	8.6	8.6	8.2	7.0	6.1	6.3	7.4	8.4	8.6	8.8	8.5
Pampa Cangallo	3,315.00	12.5	11.9	12.5	11.4	11.3	10.4	11.5	12.0	12.3	12.9	12.9	12.9
Huanca sancos	3,440.00	11.9	12.2	12.2	11.6	11.0	10.4	11.0	10.7	8.9	9.3	9.8	9.8
Parcela demostrativ:	3180	10.5	10.4	10.9	10.0	9.4	8.5	9.2	9.7	9.8	10.0	10.3	10.1

A.2. Evapotranspiración de cultivo de referencia (ET_o):

Según Gutiérrez y González (2021) la evapotranspiración de referencia (ET_o) representa el potencial máximo de evaporación bajo condiciones específicas. Para llevar a cabo los cálculos de la evapotranspiración potencial, se utilizó el software PETP V2.0.0, que contempla un total de cuatro métodos indirectos: el método de Hargreaves basado en radiación, el método de Hargreaves basado en temperatura, el método de Linacre y el método de Serruto. Se observó diferencias significativas en los resultados obtenidos a través de estos métodos empíricos. Por lo tanto, se optó por utilizar el método de Hargreaves en base a radiación. Este método se seleccionó debido a su cercanía al promedio calculado a partir de los 4 métodos empíricos

analizados. Según Soto (2002), la ecuación de Hargreaves debe emplearse solo en los lugares donde no existe información de radiación, dadas las limitaciones de datos en la zona en estudio, se optó por utilizar el método de Hargreaves para calcular la evapotranspiración de referencia, como se detalla en la **Tabla 2.10** y la **Figura 2.14**.

Tabla 2.10: Resultados de Evapotranspiración de cultivo de referencia

Mes	Método de Hargreaves en base a Radiación	Método de Hargreaves en base a Temperatura	Método de Linacre	Método de Serruto	ETo Promedio
Enero	3.72	3.82	3.30	4.68	3.88
Febrero	3.65	3.53	3.32	4.51	3.75
Marzo	3.32	3.20	3.14	4.06	3.43
Abril	3.10	3.25	3.18	3.32	3.21
Mayo	2.83	2.93	3.20	2.70	2.92
Junio	2.71	2.60	3.37	2.33	2.75
Julio	2.85	2.77	3.47	2.53	2.91
Agosto	3.22	3.23	3.55	2.99	3.25
Setiembre	3.44	3.78	3.40	3.61	3.56
Octubre	3.81	4.25	3.47	4.19	3.93
Noviembre	3.91	4.58	3.41	4.55	4.11
Diciembre	3.58	4.59	3.20	4.58	3.99

Fuente: (Gutiérrez y González, 2021)

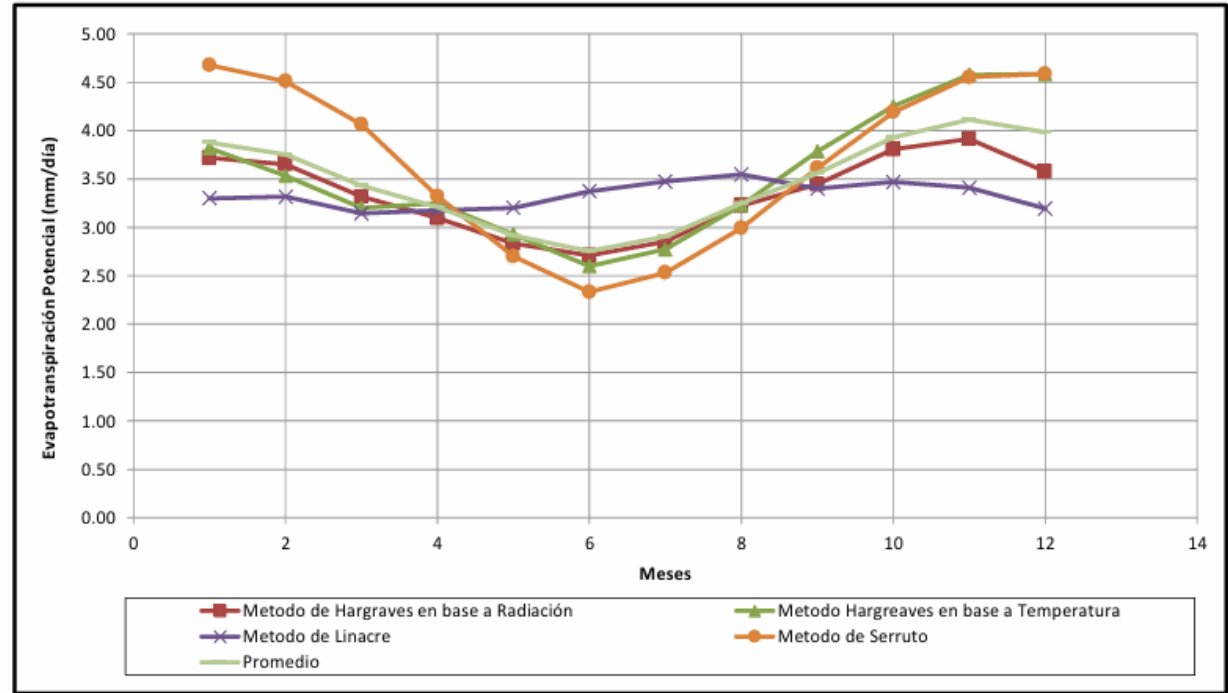


Figura 2.14: Resumen de Evapotranspiración potencial

Fuente: (Gutiérrez y González, 2021)

A.3. Cálculo de precipitación efectiva

Tabla 2.11: Datos de precipitación mensual de la parcela demostrativa

Latitud : 13°35'47.10"S		Longitud : 74°30'51.38"W						Altitud: 3180.180 msnm.					
	AÑO	MESES											
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Registro de Datos de Precipitaciones Mensuales (mm)	2000	121.60	103.10	155.90	31.50	12.80	10.00	2.50	14.80	4.70	78.50	23.50	106.30
	2001	177.80	97.10	198.00	42.50	27.80	3.70	12.20	9.30	14.80	46.30	55.30	28.50
	2002	128.70	136.90	119.10	29.80	9.30	5.60	42.80	6.60	50.80	36.60	111.20	197.50
	2003	148.70	137.70	126.40	40.00	9.80	0.00	0.00	17.20	22.30	39.00	36.00	149.40
	2004	57.70	161.30	126.20	46.60	2.20	6.40	10.90	11.20	31.10	35.10	54.00	132.10
	2005	97.40	72.00	134.90	30.60	0.00	0.00	1.90	19.30	41.80	23.40	20.50	141.70
	2006	189.00	121.10	156.00	54.20	1.40	2.50	0.00	14.20	28.70	36.00	48.50	72.00
	2007	100.00	97.10	181.70	83.50	11.60	2.00	3.10	0.00	24.10	43.50	36.80	116.00
	2008	213.50	166.50	81.20	22.80	5.60	5.70	0.70	3.80	13.00	37.90	53.50	84.80
	2009	102.30	168.00	124.70	56.60	2.80	0.00	14.40	0.00	12.70	42.40	91.80	75.60
	2010	216.50	114.60	98.30	32.90	4.20	2.00	0.00	2.40	8.00	41.50	17.60	158.80
	2011	291.40	228.30	138.10	93.80	7.10	1.20	10.00	2.40	32.40	18.30	67.30	106.70
	2012	123.90	254.40	169.00	152.30	3.20	8.60	2.30	0.70	12.90	21.30	6.60	195.10
	2013	122.20	185.50	124.30	1.80	27.60	12.70	6.10	10.40	16.50	46.20	40.20	145.50
	2014	174.00	114.70	121.20	49.00	11.70	7.10	13.70	11.40	49.90	74.70	35.30	100.50
	2015	165.70	124.20	159.60	39.20	26.60	2.20	8.90	16.40	16.10	32.00	47.60	82.70
	2016	45.30	132.70	81.70	26.40	8.10	11.20	10.70	8.20	22.40	26.30	10.70	79.40
	2017	280.90	194.90	147.10	52.00	11.60	5.90	12.20	7.20	26.50	6.70	51.20	36.70
	2018	163.60	110.60	148.60	53.70	11.00	13.90	22.00	8.80	15.60	4.10	0.00	45.00
	2019	118.60	165.60	95.30	48.40	1.70	3.90	10.00	0.00	9.60	16.40	24.40	137.70
	2020	108.40	146.80	94.40	2.50	11.00	14.50	11.40	116.50	9.10	12.20	0.00	91.70
	2021	174.50	130.10	145.60	63.30	12.70	3.10	1.10	0.40	19.40	63.50	51.40	66.40
	2022	172.50	145.60	142.70	47.80	1.60	2.20	0.30	0.30	5.30	0.00	3.60	110.80
	2023	197.90	169.40	134.50	31.20	22.70	0.00	0.40	4.80	17.50	67.30	65.00	127.40
	2024	164.90	157.30	67.80	37.90	7.30	0.70	2.50	12.50	21.00	14.30	65.90	57.60
Precipitación Promedio	PP	154.28	145.42	130.89	46.81	10.06	5.00	8.00	11.95	21.05	34.54	40.72	105.84
Precipitación Máxima	PP max	291.40	254.40	198.00	152.30	27.80	14.50	42.80	116.50	50.80	78.50	111.20	197.50
Precipitación Mínima	PP Min	45.30	72.00	67.80	1.80	0.00	0.00	0.00	0.00	4.70	0.00	0.00	28.50
Desviación Standard	DESV.	59.34	41.66	31.96	30.00	8.25	4.53	9.40	22.60	12.53	21.14	27.93	44.97
Precipitación al 50% de probabilidad	PP 50%	163.60	137.70	134.50	42.50	9.30	3.70	6.10	8.20	17.50	36.00	40.20	106.30
Precipitación al 90% de probabilidad	PP 90%	98.44	99.50	86.78	24.24	1.64	0.00	0.12	0.12	8.44	8.90	4.80	50.04
Precipitación al 75% de probabilidad	PP 75%	118.60	114.70	119.10	31.20	3.20	2.00	1.10	2.40	12.90	18.30	20.50	75.60

El cálculo de precipitación efectiva se determinó por el método de Water Power Resource Service, USA (WPRS – USA), usando la **Tabla 1.2** y **Tabla 2.11** para los 12 meses del año.

Tabla 2.12: Resumen de cálculo de precipitación efectiva al 75%

Precipitación al 75% de probabilidad	PP 75%	118.60	114.70	119.10	31.20	3.20	2.00	1.10	2.40	12.90	18.30	20.50	75.60
5	5	5	5	5	5	0	0	0	0	5	5	5	5
30	25	25	25	25	25	3.2	2	1.1	2.4	7.9	13.3	15.5	25
55	25	25	25	25	1.2	0	0	0	0	0	0	0	25
80	25	25	25	25	0	0	0	0	0	0	0	0	20.6
105	25	25	25	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
130	13.6	9.7	14.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
155	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
>155	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.95	23.75	23.75	23.75	23.75	3.04	1.90	1.05	2.28	7.51	12.64	14.73	23.75	
0.90	22.50	22.50	22.50	1.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.50	
0.82	20.50	20.50	20.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.89	
0.65	16.25	16.25	16.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
0.45	6.12	4.37	6.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	89.12	87.37	89.35	24.83	3.04	1.90	1.05	2.28	7.51	12.64	14.73	63.14	
Precipitación Efectiva al 75%	PE 75%	89.12	87.37	89.35	24.83	-	-	-	-	7.51	12.64	14.73	63.14

A.4. Coeficiente de cultivo: varía según las particularidades fisiológicas y fenológicas de cada especie, y refleja la habilidad de la planta para absorber agua del suelo durante las diferentes fases de su crecimiento; este factor es adimensional, los valores se observan en la **Figura 2.15**.

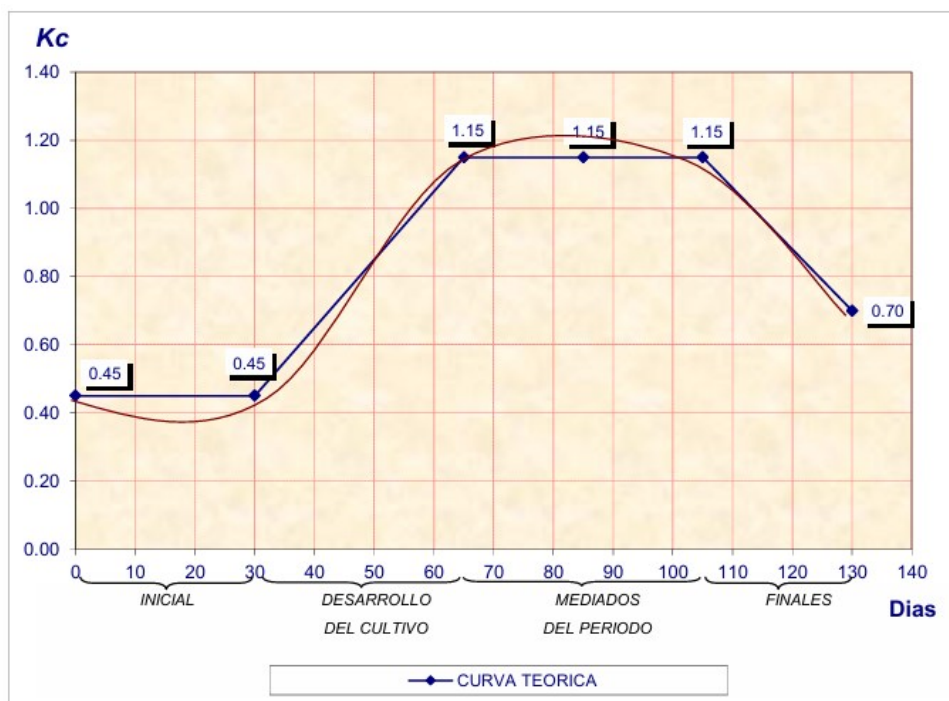


Figura 2.15: Curva Kc del cultivo de Arveja (*Pisum sativum* L.)

- A.5. **Evapotranspiración real de cultivo a regar:** El uso consuntivo calculamos para el mes de julio, aplicamos el mismo procedimiento para los meses restantes.

$$ET_c = E_{to} \text{ (mm/día)} * K_c$$

$$ET_c = 2.85 * 1.15$$

$$ET_c = 3.28 \text{ mm/día}$$

- A.6. **Eficiencia de aplicación:** Para riego por aspersión por teoría están comprendidos entre 65 y 85%, para el cálculo se asume el 75% de eficiencia de aplicación.

- A.7. **Lamina Neta del cultivo:** Calculamos la dosis neta para el mes de julio, aplicamos el mismo procedimiento para los meses restantes.

$$N_n = ET_c - PP \text{ efectiva al } 75\%$$

$$N_n = 3.28 - 0.00$$

$$N_n = 3.28 \text{ mm/día}$$

- A.8. **Dosis bruta:** Calculamos la dosis bruta para el mes de julio utilizando la ecuación 5, aplicamos el mismo procedimiento para los meses restantes

$$D_b = 3.28 / 0.75$$

$$D_b = 4.37 \text{ mm/día}$$

- A.9. **Módulo de riego:** El requerimiento de agua que se presenta en el mes más crítico durante la cedula de cultivo, se calculó para mes de julio

$$M_r = \frac{D_b}{\text{Tiempo de operacion diario}}$$

$$M_r = \frac{4.37 * 10000}{24 * 60 * 60}$$

$$M_r = 0.51 \text{ l/s/ha}$$

B. Cálculo de las necesidades de riego para el aspersor Compact Impact

Para el cálculo de las necesidades de riego los datos a tener en cuenta son:

B.1. Datos de clima

Tabla 2.13: Datos del clima de la zona en estudio

Eto (Julio)		mm/día	2.85
PP efectiva al 75% (Julio)		mm/día	0.00
Humedad Relativa media		HRm	49.5 %
Velocidad del viento	> 3	de [h]	2 m/sg
m/sg		a [h]	3 m/sg

B.2. Datos de suelo

Es fundamental considerar la profundidad efectiva del suelo. Según Carnicer et al. (2020), para la mayoría de los cultivos hortícolas y extensivos, se puede realizar una evaluación precisa muestreando solo la capa arable que abarca de 0 a 25/30cm de profundidad. Para los propósitos de este estudio, se consideró una profundidad de 0.30m

Tabla 2.14: Datos del suelo según resultados del laboratorio

Textura		Fr - Ar
Capacidad de Campo	CC	29.80 %
Punto de Marchitez permanente	PMP	16.10 %
Peso específico aparente	Pea	1.29 gr/Cm3
Velocidad de infiltrac básica	V I	26.53 mm/Hr
Profundidad efectiva	PE	0.30 m
Peso espesifico del agua	Pew	1.00 gr/Cm3

B.3. Datos del cultivo

De acuerdo a Soto (2002), la profundidad de raíces del cultivo de arveja considera de 45 a 60cm de profundidad, para el presente estudio, se consideró un valor de 50cm de profundidad de raíz, lo cual es fundamental para el cálculo de la lámina neta.

Tabla 2.15: Datos de cultivo

Nombre:		VARIOS
Etapas		Media Temporada
Kc (Medianos del periodo)		1.15
% del área bajo riego Par	Min.% Area bajo riego	100 %
	Max.% Area bajo riego	100 %
Profundidad radicular efectiva	zr	0.50 m
Máx % de agua aprovechable	Pa	50.0 %

B.4. Datos de la fuente

El caudal que transporta el canal existente de acuerdo al expediente es de 15 litros/seg

B.5. Datos de la parcela

Tabla 2.16: Datos de la parcela de acuerdo al levantamiento topográfico

Area bruta	Ha	0.26
Area neta bajo riego	Sr	0.26
Pendiente	%	33.0

B.6. Datos del sistema de riego

Los datos del aspersor se detallan en la **Tabla 2.17** y el modelo del aspersor se observa en la **Figura 2.16**.

Tabla 2.17: Datos del aspersor Compact Impact Boq. #11 Amarillo (4.37mm)

DATOS DE RIEGO POR ASPERSIÓN		
Método		Aspersión
Eficiencia de aplicación	Ef	75.0 %
Porcentaje de traslape en aspersores	(de, dl)	85.00%
Modelo del Aspersor	Compact Impact Boq. # 11 Amarilla (4.37mm)	
Presión nominal de operación		27.00 m
Caudal nominal del aspersor	qe	1,189.5 lph
Diametro efectivo	d	27.87 m
Angulo de cobertura	α	360 °
Espaciamiento entre emisores	de	16.0 m
	dl	16.0 m
Máxima hora de operacion por día	Hm	7.00 Hr
Numero de Aspersores maximo por turno		10 Asper.
Caudal de un aspersor		0.33 lt/sg



Figura 2.16: Aspersor Compact Impact Boq. # 11 Amarillo (4.37mm)

B.6. Cálculo de marco de riego

Teniendo en cuenta la topografía, caudal de oferta, textura del suelo y el tipo de cultivo, se eligió un aspersor Compac Impact de ángulo medio, equipado con la boquilla N° 11 de color amarillo (4.37mm).

B.7. Cálculo de espaciamiento entre aspersores

Para el cálculo de espaciamiento de aspersores el solape se considera 85% para ello se utilizó la ecuación 25 y ecuación 26:

$$De = \frac{D}{2} * (0.85) + 2 * \left(\frac{D}{2} - \frac{D}{2} * 0.85 \right) \quad \dots (25)$$

$$Dl = \frac{D}{2} * (0.85) + 2 * \left(\frac{D}{2} - \frac{D}{2} * 0.85 \right) \quad \dots (26)$$

Donde:

D = diámetro efectivo del aspersor

Tabla 2.18: Espaciamiento entre aspersores

Espaciamiento	entre	de	16.0 m
emisores		dl	16.0 m

B.8. Cálculo de pluviometría del aspersor

El cálculo de la pluviometría del aspersor se realiza de acuerdo a la **Tabla 2.19**, donde se muestra los datos del aspersor de acuerdo a la presión que se requiere lo cual presenta dato los caudales nominales del aspersor.

Tabla 2.19: Operación del emisor según datos del fabricante

PRESION		Qasp		Ømojado	Distancia alcance (m)
Bar	m c a	litros/hr	litos/seg		
2.07	21.11	1,052.00	0.29	27.00	13.50
2.41	24.58	1,136.00	0.32	27.00	13.50
2.76	28.15	1,213.00	0.34	28.00	14.00
3.10	31.62	1,288.00	0.36	29.00	14.50
3.45	35.19	1,358.00	0.38	29.00	14.50

En el sistema de riego por aspersión, es esencial que la tasa de precipitación del emisor sea menor que la velocidad de infiltración del suelo para prevenir pérdidas y minimizar el riesgo de escurrimiento superficial.

$$Phr \leq \text{Infiltracion Basica del suelo}$$

Para la precipitación horaria efectiva del sistema de riego (Phr) se utiliza la ecuación 27 y los resultados se muestra en la **Tabla 2.20**.

$$Phr = \frac{qe * 100}{de * dl * par} \quad \dots (27)$$

$$Phr = 4.69mm/Hr$$

La comparación de precipitación del sistema con la con la infiltración básica del suelo cumple con la teoría de modo que:

$$Phr = 4.69mm/Hr \leq \text{Infiltracion Basica del suelo} = 26.53mm/hr$$

B.9. Lámina de agua aprovechable a la profundidad radicular efectiva (LDzr)

Para el cálculo de lámina de agua aprovechable a la profundidad radicular efectiva se utilizará la ecuación 28, lo resultados se muestran en la **Tabla 2.20**.

$$LDzr = [(HCc - HPm)] * \left[\frac{Pea}{Pew} \right] * zr * 10 \quad \dots (28)$$

$$LDzr = 88.4mm$$

B.10. Lámina de agua aprovechable en la zona radicular

Para el cálculo se utiliza la ecuación 29 y los resultados se muestran en la **Tabla 2.20**

$$LAzr = LDzr * \frac{Pa}{100} \quad \dots (29)$$

$$LAzr = 44.18mm$$

B.11. Intervalo de riego

Para el cálculo de intervalo de riego utilizamos la ecuación 30, lo resultados se muestra en la **Tabla 2.20**.

$$Ir = \frac{LAzr * Par}{Etc * 100} \quad \dots (30)$$

$$Ir = 13.48 \text{ dias}$$

B.12. Intervalo de riego ajustado

En este caso tendremos un intervalo de riego ajustado de Ir (aj)= 7dias

B.13. Horas de riego por turno

Para el cálculo de horas de riego por turno utilizamos la ecuación 31, así mismo se observa en la **Tabla 1.1** y **Tabla 2.20**.

$$Tr = \frac{Lb}{Phr} \quad \dots (31)$$

$$Tr = 6.6 \text{ Hr}$$

B.14. Número de aspersores a funcionar por 01 hectárea

Para el cálculo de numero de aspersores por una hectárea utilizamos la ecuación 32, y los resultados se muestra en la **Tabla 2.20**.

$$N^{\circ} Asp = Db * \frac{1000}{Qasp * Tr * 3600} \quad \dots (32)$$

$$N^{\circ} Asp = 37 \text{ Aspr/ha}$$

Los cálculos a detalle de las necesidades de riego de los aspersores Compact Impact de diámetro 16 m se detalla en el anexo de cálculo de las necesidades de riego.

B.15. Distribución de aspersores por parcela

La cantidad de aspersores se determina con la ecuación 33.

$$N^{\circ} Asp = \frac{\text{Area de la parcela}}{\text{Marco de riego}} \quad \dots (33)$$

$$N^{\circ} Asp = 10 \text{ aspersores}$$

Tabla 2.20: Resumen de cálculo de necesidades de riego

PASOS	DESCRIPCIÓN	FÓRMULA	VALOR
Paso 1.	Calculamos el Caudal del aspersor en litros por segundo	$Q_{asp} = q_e / 3600$	0.33 lt/s
Paso 2.	Calculamos la Precipitación horaria efectiva de riego por aspersión	$Phr = \frac{q_e * 100}{de * dl * PAR}$	4.63 mm/Hr
Paso 3.	Se realiza una comparación de Precipitación del aspersor con infiltración básica del suelo	$Phs (\text{aspersor}) \leq I_{basica} (\text{Suelo})$ 4.63 mm/Hr	Cumple con la condición 26.53 mm/Hr
Paso 4.	Calculamos la lámina de agua disponible, en mm a la profundidad radicular efectiva	$LD_{ZR} = (CC - PMP) * \frac{P_{ea}}{P_{EW}} * Zr * 10$	88.4 mm/zr
Paso 5.	Calculamos la lámina de agua aprovechable en la zona radicular efectiva	$LA_{ZR} = \frac{LD_{ZR} * P_A}{100}$	44.18 mm/zr
Paso 6.	Calculamos el volumen de agua disponible, en m3 a la profundidad radicular efectiva	$VD_{ZR} = LD_{ZR} * 10$	883.7 m3/Ha/zr

Paso 7.	Calculamos la evapotranspiración del cultivo	$Etc. = ETo * Kc - PP_{Efect}$	3.28 mm/día
Paso 8.	Calculamos la lámina neta	$Ln = (CC - PMP) * Pea * Pr * HFU/100$	22.80 mm
Paso 9.	Calculamos el intervalo de riego	$Ir = \frac{Ln}{Etc}$	6.96 días
	El intervalo de riego	Tomamos un valor entero superior a lo calculado	7.00 días
Paso 10.	Se realiza una comparación LR (aj) con Lazr	$Lr \leq LAzr$ 22.80 mm	Cumple con la condición 44.18 mm
Paso 11.	Calculamos el porcentaje de agua aprovechable ajustado	$Pa(aj) = \frac{Ln*100}{LDzr}$	25.80 %
Paso 12.	Se realiza una comparación del Pa(aj) con Máximo Pa	$Pa(aj) \leq Pa$ 25.80 %	Cumple con la condición 50.00 %
Paso 13.	Calculamos la lámina Bruta	$Lb = \frac{Ln*100}{Ef.}$	30.40 mm
Paso 14.	Calculamos dosis de riego bruta por área	$Db = Lb * 10$	303.98 m3/Ha
Paso 15.	Calculamos la lámina de Reposición diario	$Lrep = \frac{Lb}{Ir(aj)}$	4.37 mm/día
Paso 16.	Calculamos el módulo de Riego	$Mr. = \frac{Lrep * 10000}{Tdisp * 60 * 60}$	0.51 l/s/ha
Paso 17.	Calculamos horas de riego por día	Se elige cuantas horas al día se requiere regar	7.00 Hr/día
Paso 18.	Calculamos horas de riego por turno	$Tr = Lb/Phr$	6.56 Hr/turno
	El tiempo de riego	Tomamos un valor entero superior a lo calculado	7.00Hr/turno
Paso 19.	Calculamos el número de Aspersores a funcionar por 01 Hectárea	$N^{\circ}Asp = \frac{Db * 1000}{QAsp * Tr * 3600}$	38 Asper./ Ha

Calculamos la Dotación de Caudal por Hectárea

Paso 1.	Calculamos la precipitación Media del Sistema	$Pms = \frac{Lb}{Tr}$	4.58 mm/hr
Paso 2.	Se realiza una comparación del Phr y Pms	$Phr \geq Pms$	Cumple con la condición

		4.63 mm/hr	4.58 mm/hr
Paso 3.	Calculamos la dotación de Caudal por Hectárea (01)	$\text{Dot} = \frac{\text{Mr} * \text{Ir}(\text{aj}) * \text{Tdisp}}{\text{Tr}}$	12.72 l/s/ha

2.4.2.2. Diseño hidráulico

El diseño hidráulico se basó en determinar el flujo de agua y la presión en el punto de entrada que alimentará el área del proyecto. Esto permitió elegir los diámetros adecuados de tubería en cada uno de los componentes del sistema, se aseguró que la velocidad del agua en las tuberías estuviera dentro de límites y que las pérdidas de presión fueran controladas. Además, se verificó que la cantidad de agua que llega a cada punto sea la adecuada, así evitando desviaciones significativas.

2.4.3. Implementación del sistema de riego tecnificado por aspersión en la parcela demostrativa

Una vez concluidos con los cálculos correspondientes del diseño agronómico e hidráulico y así como el dimensionamiento adecuado y elaborado el plano de distribución caudales, velocidad y diámetro nominal del sistema de riego por aspersión se procede a implantar en la parcela demostrativa, ver **Figura 2.17**.

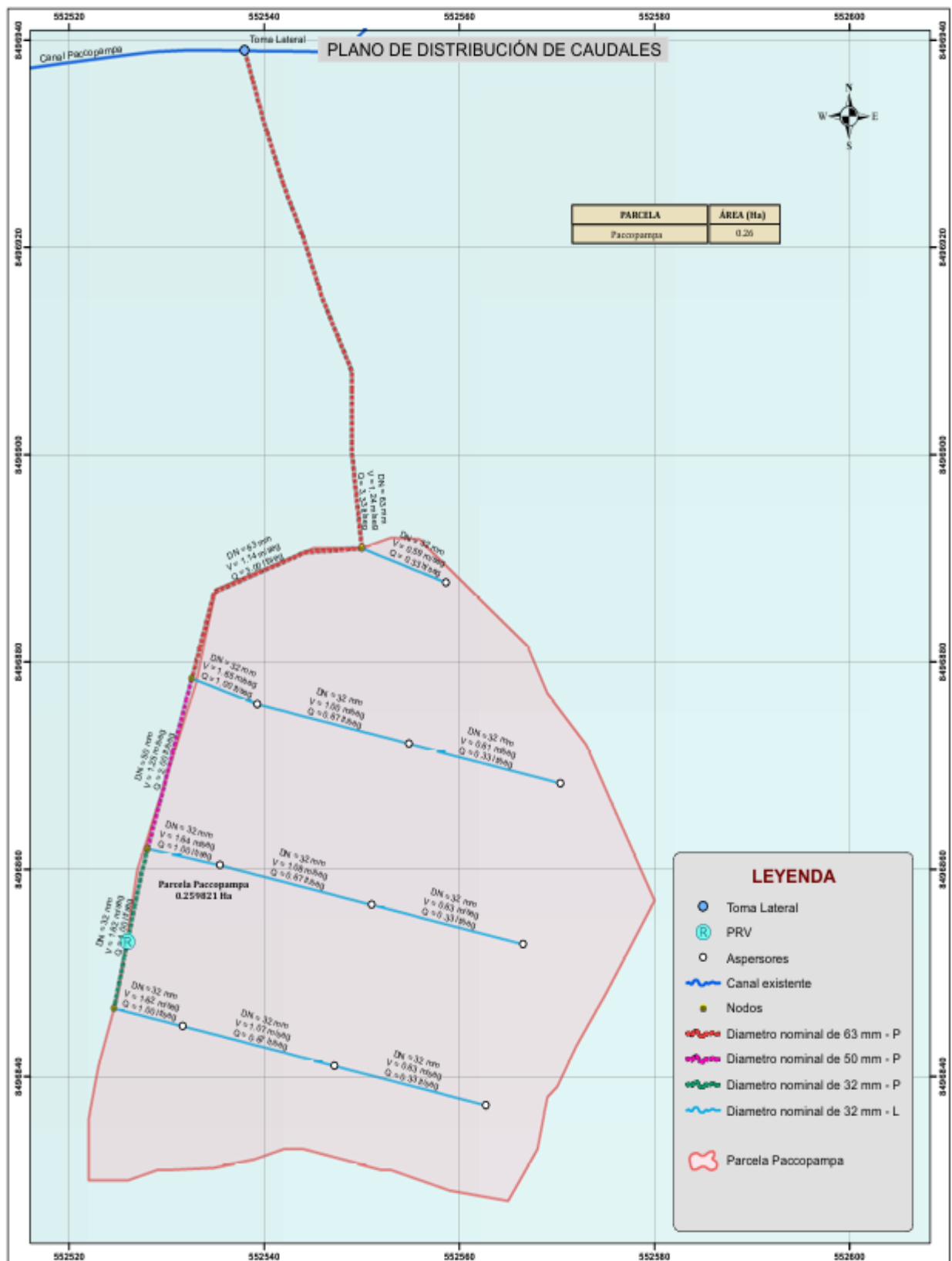


Figura 2.17: Plano de distribución de caudales, velocidad y diámetro nominal para la implementación del sistema de riego

2.4.3.1. Adquisición de elementos para la instalación de riego por aspersión

Para llevar a cabo la implementación del sistema de riego por aspersión, se estableció comunicación con la empresa proveedora para adquirir los componentes necesarios, de acuerdo a los requerimientos del diseño agronómico e hidráulico. La instalación se inició con la conexión de la tubería que transporta el agua desde la compuerta del canal existente hasta la parcela en estudio.

2.4.3.2. Implementación de los elementos de riego por aspersión

- A. **Instalación de la tubería HDPE:** Se ha procedido a la colocación de la tubería HDPE de 63 mm, 50 mm y de 32 mm en la línea principal y 32mm en línea colateral. Esta tubería ha sido dispuesta sobre la superficie del terreno de acuerdo con el diseño de sistema de riego por aspersión, ver **Figura 2.18.**



Figura 2.18: Tendido de tubería HDPE en la parcela en estudio de diferentes diámetros

- B. **Colocación de los accesorios:** Se ha llevado a cabo la colocación de abrazaderas, uniones, reducciones, válvulas de control, cada uno de estos accesorios ha sido instalado para completar el sistema de riego por aspersión y garantizar su correcto funcionamiento de acuerdo con las especificaciones del diseño hidráulico, ver **Figura 2.19.**



Figura 2.19: Colocación de accesorios del sistema de riego

C. **Aspersores:** Una vez finalizada la instalación de las tuberías HDPE se midió cada 16 metros para colocar una abrazadera de 63 mm con salida a 32 mm, de 50mm con salida a una y una abrazadera de 32 mm, en la cual se integró un elevador de tubería HDPE de elevación de 1.50 metros de altura. Este elevador se utiliza para elevar la tubería hasta una altura requerida para la instalación del aspersor Compact Impact, permitiendo así una distribución adecuada de agua a través del sistema de riego. Este es enroscable ya que tenemos que sacarlos y limpiarlos, como se muestra en la **Figura 2.20**.



Figura 2.20: Instalación de aspersores en la parcela en estudio

2.4.3.3. Siembra de arveja

Una vez implementado con riego por aspersión a la parcela en estudio se procedió a sembrar arveja en un área de 0.12 ha, 2 a 3 semillas por golpe, con una distancia entre golpe de 10 a 12cm y la separación entre surcos de 0.80 m para un aprovechamiento eficiente de nutrientes esparcidos en toda el área de la parcela en estudio.



Figura 2.21: Trazado y excavación de surcos para la colocación de semillas (surco a surco de 0.80m de distancia)



Figura 2.22: Colocación de 2 a 3 semillas por golpe

2.4.4. Determinación del coeficiente de uniformidad en la zona en estudio en cultivo de arveja (*Pisum sativum* L.)

Una vez empleada la instalación, se llevó a cabo la evaluación del sistema utilizado la metodología propuesta por Christiansen en 1942.

2.4.4.1. Uniformidad de distribución de la zona evaluada

Para evaluar la uniformidad de distribución del sistema de riego por aspersión primero se eligió la zona a evaluar, como se muestra en la **Figura 2.23**.

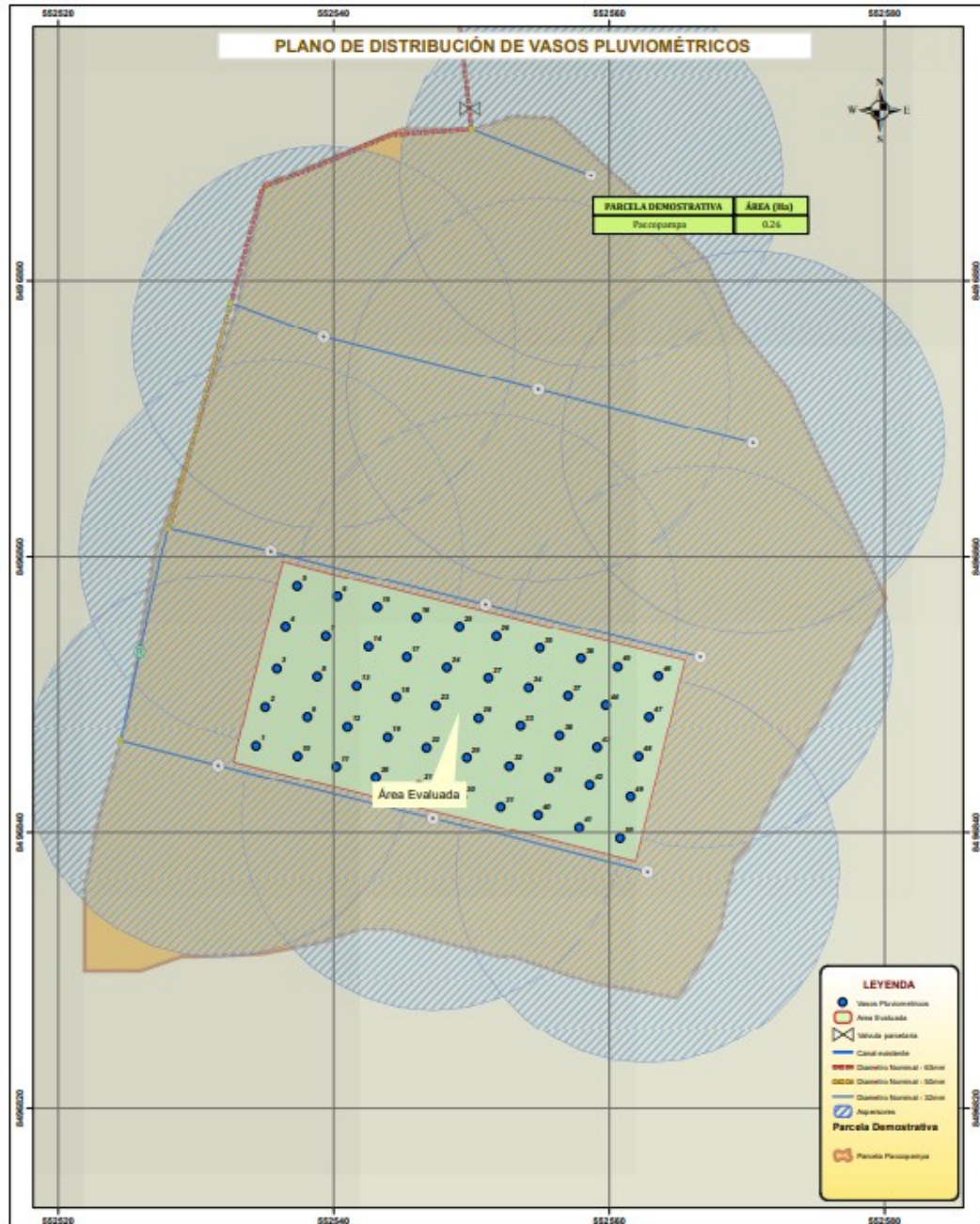


Figura 2.23: Área de evaluación de uniformidad de distribución

2.4.4.2. Determinación de coeficiente de uniformidad de Christiansen

Antes de iniciar el riego, se colocaron los recipientes de plástico de manera equidistante formando una malla entre dos ramales de distribución, con el propósito de evaluar la uniformidad proveniente del aspersor. Los vasos se instalaron sobre el suelo dado que la

cobertura del cultivo no interfiere en la captación del agua generada por los aspersores, esta disposición permite la recolección precisa del volumen de agua aplicada, facilitando así un análisis cuantitativo de la eficiencia del riego y de la distribución hídrica en el área de estudio, a través de esta metodología, buscamos obtener datos fiables que permitan determinar la homogeneidad del riego y evaluamos el funcionamiento del sistema de aspersión implementado.

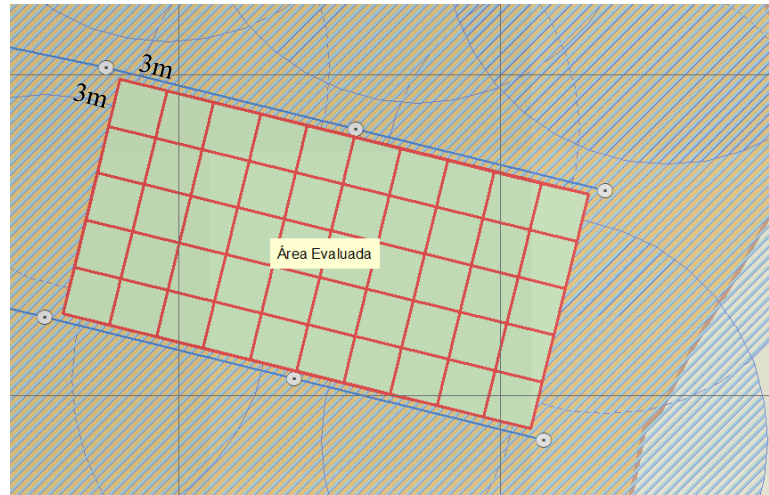


Figura 2.24: Esquema de malla de recipientes de plástico para la evaluación de coeficiente de uniformidad

Los recipientes de plástico se han distribuido en campo formando una malla de 3m x 3m con el apoyo de una wincha de 50 metros como se observa en la **Figura 2.25**, **Figura 2.26**, **Figura 2.27** y **Figura 2.28**.



Figura 2.25: Distribución de recipientes de plástico en la zona evaluada de 3m x 3m



Figura 2.26: Distribución de la pluviometría del aspersor de tipo Compact Impact



Figura 2.27: Verificación de los recipientes de plástico



Figura 2.28: Medición de pluviometrías con la ayuda de la probeta

Una vez terminado de colocar los recipientes de plástico se procedió a regar, permitiendo que los recipientes recolectaran la precipitación generada por los aspersores durante un intervalo de 110 min. Al concluir con el tiempo de riego de 110 min, se cerró la válvula parcelaria. Posteriormente, se llevó a cabo la medición del volumen de agua recolectado en cada vaso utilizando una probeta, ver **Figura 2.29**.



Figura 2.29: Medición de agua regada de cada vaso pluviométrico con una probeta

se realizaron tres repeticiones en diferentes momentos del día: por la mañana, al mediodía y por la tarde. Este procedimiento se diseñó para garantizar que los resultados obtenidos sean representativos y minimicen la influencia de posibles variaciones ambientales o de manipulación del material.

CAPÍTULO III

RESULTADOS

3.1. Procesamiento de los datos recopilados en el campo (datos topográficos con GPS diferencial)

Como resultado de las labores de campo y las actividades de análisis en gabinete, se llevó a cabo un levantamiento topográfico que, una vez procesado, se plasmó en el plano topográfico y parcelario, ver **Figura 3.1**, cuya área de parcela es de 0.26 Ha.

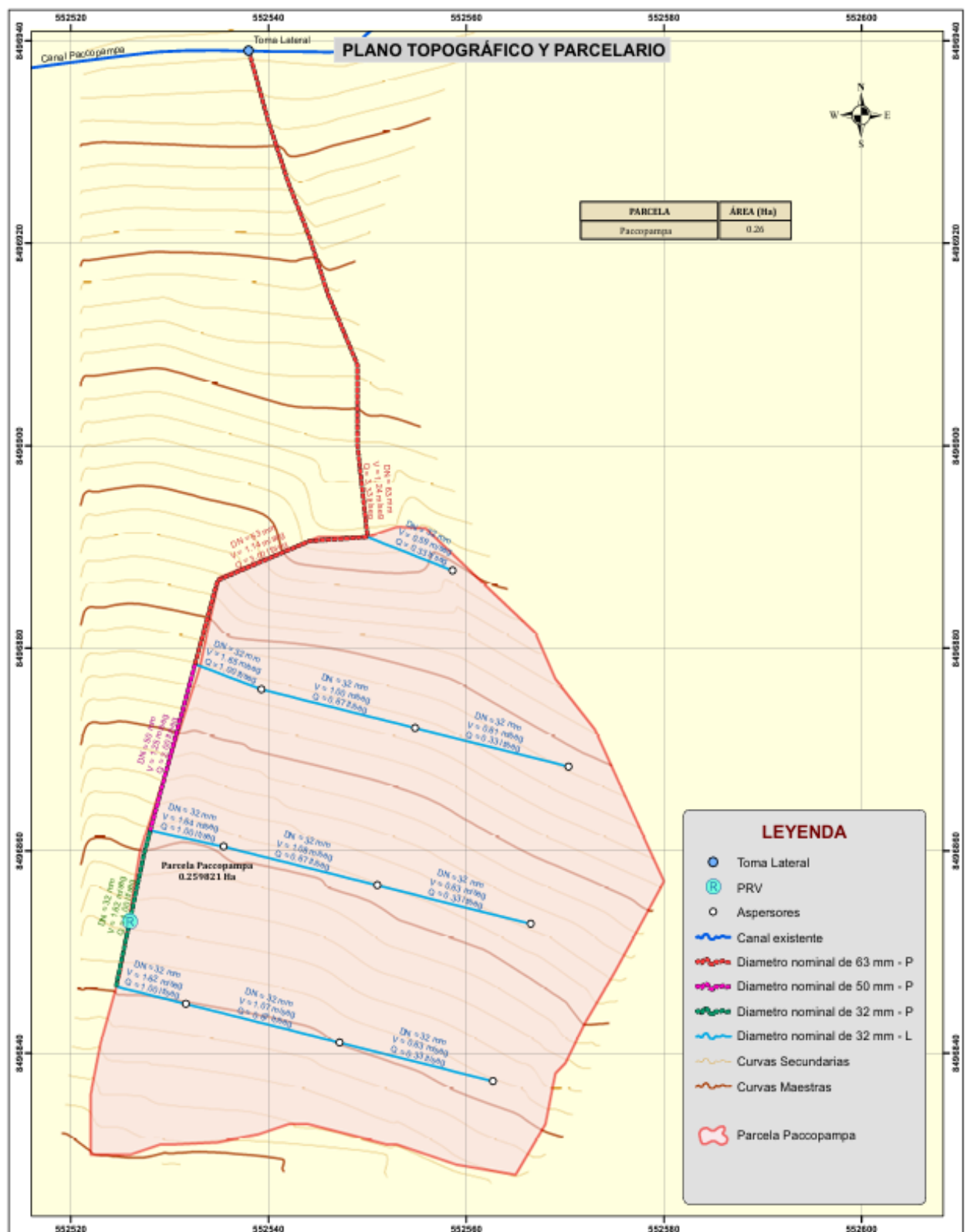


Figura 3.1: Plano topográfico y parcelario

3.2. Análisis de agua

Según los resultados obtenidos del laboratorio el pH del agua es ligeramente alcalina adecuado para el riego, el RAS es menor de 3 indica que el agua tiene un bajo riesgo de generar problemas de salinidad en el suelo, el agua es moderadamente dura y tiene una clasificación C2-S1 (C2: Plantas sensibles pueden mostrar estrés a sales; moderada lixiviación previene la acumulación de sales en el suelo, S1: Puede usarse para el riego de casi todos los suelos, sin peligro de destrucción de la estructura), ver **Tabla 3.1**, los resultados se adjunta en el anexo.

Tabla 3.1: Análisis del agua

pH		7.96
CE	dS/m	0.61
Sólidos en suspensión	g/litro	0.098
Sales solubles totales	ppm	313.0
Relación de adsorción de sodio		1.81
Carbonato de sodio residual	meq/L	-2.90
Dureza total	ppm CaCO ₃	292.0
clasificación		C2 – S1

3.3. Análisis de suelo

Según los resultados obtenidos del laboratorio de la parcela en estudio el suelo arroja una textura franco arenosa con capacidad de campo de 29.8%, punto de marchitez permanente de 16.1% y una densidad aparente 1.29 g/cc, como se detalla en la **Tabla 3.2**, los resultados del suelo se adjuntan en el anexo.

Tabla 3.2: Análisis de suelo

Muestra	Análisis Granulométrico			Clase Textural	Densidad Aparente (g/cc)	Capacidad de Campo (%)	Punto de Marchites (%)
	%Arena	%Limo	%Arcilla				
Suelo	44.2	19.1	36.7	Fr - Ar	1.29	29.8	16.1

3.4. Prueba de infiltración

El resultado de prueba de infiltración de acuerdo a los cálculos es de 26.53 mm/hora, ver **Figura 3.2**, Los resultados de los cálculos de prueba de infiltración se adjunta en el anexo.

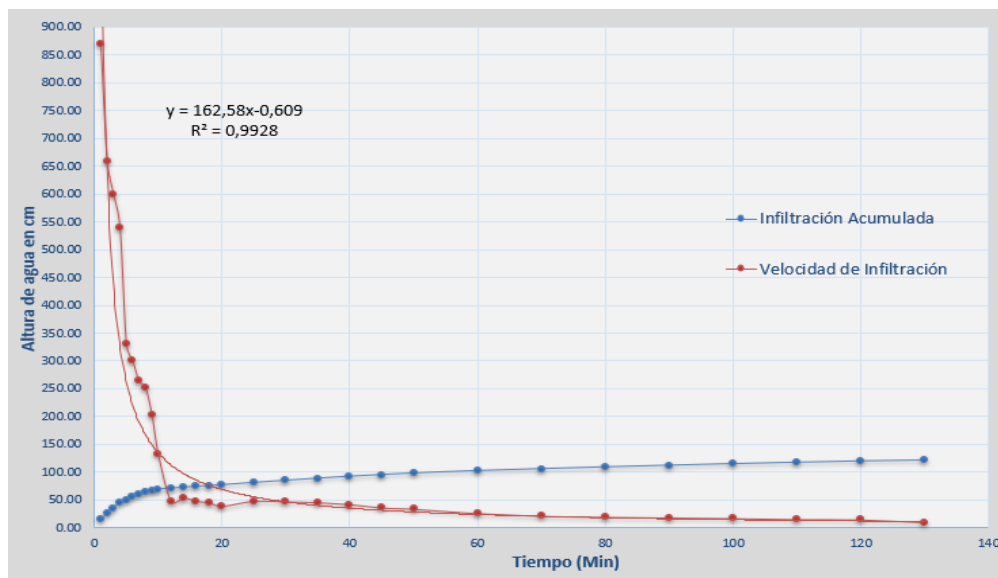


Figura 3.2: Velocidad de infiltración

3.5. Diseño agronómico

Evapotranspiración potencial

Con los datos meteorológicos de la parcela en estudio, Se trabajó con el software PETP V2.0.0 con 4 métodos empíricos: método de Hargreaves en base a la radiación, método de Hargreaves en base a la temperatura, método de Linacre y método de Serruto, como se muestra en la **Tabla 2.10** y en la **Figura 2.14**, en donde para el estudio se tomó en cuenta el método empírico de Hargreaves en base a la radiación, la ETo del mes de julio es de 2.85 mm/día, que se ha tomado para el cálculo del diseño agronómico.

3.5.1. Demanda de agua

La demanda de agua de acuerdo a los cálculos realizados como resultado se muestra en la **Tabla 3.3**, la mayor demanda de agua resulta en el mes de julio (mes más crítico) donde la demanda total mensual es de 352 m³/mes y el módulo de riego es de 0.5159 l/s/ha para un área de riego de 0.26 Ha, donde el caudal de diseño es de 3.33 l/s

Tabla 3.3: Calculo de demanda de agua

Descripción	Fórmula	Unidad	Meses												Total
			Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Eto	Dato	mm/día				3.10	2.83	2.71	2.85	3.22					
Kc	Dato					0.38	0.70	1.15	1.15	0.70					
Uso Consultivo o Evaporación Real	$ET_c = ETo * Kc$	mm/día				1.18	1.98	3.12	3.28	2.26					
Precipitación Efectiva	Dato	mm/día				0.83	0.00	0.00	0.00	0.00					
Lamina Netas del Cultivo	$Ln = ET_c - PE$	mm/día				0.35	1.98	3.12	3.28	2.26					10.98
Eficiencia de aplicación	Dato	%				75%	75%	75%	75%	75%					
Lamina real o bruta del Cultivo	$Lr = Ln/Ef$	mm/día				0.47	2.64	4.15	4.37	3.01					14.64
	$Lr = (Ln/Ef)*10$	m3-ha/día				4.65	26.43	41.55	43.73	30.08					146.43
N° de Días del Mes	Dato					30	31	30	31	31					
Demanda Total Unitaria - Mensual	$Dtu = Lr * \#Días$	m3/ha/mes				140	819	1,246	1,356	932					4,493
Área de Riego	Dato	ha				0.26	0.26	0.26	0.26	0.26					
Demanda Total - Mensual	$Dtm = Dtu * A$	m3/mes				36	213	324	352	242					1,168
Demanda Total - Diaria	$Dtd = Dtm/\# \text{ de días}$	m3/día				1	7	11	11	8					38

Tabla 48: Cálculo del volumen demandado de cultivo de Arveja para tiempo de operación de 24 horas

Descripción	Cálculo	Unidad	Meses												Total
			Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Módulo de Riego		l/s / ha				0.05	0.31	0.48	0.51	0.35					
Demanda Total Diaria		m3/día				1	7	11	11	8					38
Demanda Total Mensual		m3/mes				36	213	324	352	242					1,168
									0.13 l/s						
Demanda de agua		l/s													3.33

De acuerdo a la **Tabla 3.3**, se verifica que el diseño del sistema de riego por aspersión de la parcela en estudio es para el mes de julio, por ser crítico, donde el cultivo de arveja (*Pisum sativum L.*) requiere mayor demanda.

3.5.2. Necesidades de riego

A partir a los cálculos realizados sobre demanda de agua, se obtuvo un caudal óptimo de diseño de 3.33 litros/seg. para un tiempo de 24 horas ya que se dispone de un sistema de almacenamiento (reservorio). La capacidad de descarga del reservorio es de 15 litros/seg (de acuerdo al expediente existente del proyecto ejecutado). Para el diseño del sistema de riego, se ha optado por utilizar el aspersor Compact Impact, seleccionado basado en las condiciones topográficas del área de intervención, teniendo una frecuencia de riego de 7 días, como se observa en la **Tabla 3.4**.

Tabla 3.4: Necesidades de riego de cada aspersor

SISTEMA DE RIEGO		
Método		Aspersión
Eficiencia:		75.0 %
traslape entre aspersores (de, dl)		85.00%
Modelo del Aspersor	Compact Impact Boq. # 11 Amarilla (4.37mm)	
Presión nominal de operación		27.00 m
Caudal nominal del aspersor		1189.5 litros/hora
Diámetro efectivo		27.87 m
Angulo de cobertura:		360 °
Espaciamiento entre emisores	de	16.0 m
	dl	16.0 m
Máx. horas de operación x día		7.00 Hr
Numero de Aspersores máximo		10 Asper.
Caudal de un aspersor		0.333 litros/seg

De acuerdo a la **Tabla 3.4**, se comienza hacer la distribución del aspersor en las parcelas en estudio.

3.6. Número de aspersores en la zona de estudio

De acuerdo a la **Tabla 3.5**, y **Figura 3.3** se muestra la cantidad de aspersores distribuidos en la parcela en estudio.

Tabla 3.5: Numero de aspersores en la parcela en estudio

Parcela en estudio	Número de aspersores
1	10

3.7. Plano de distribución de aspersores

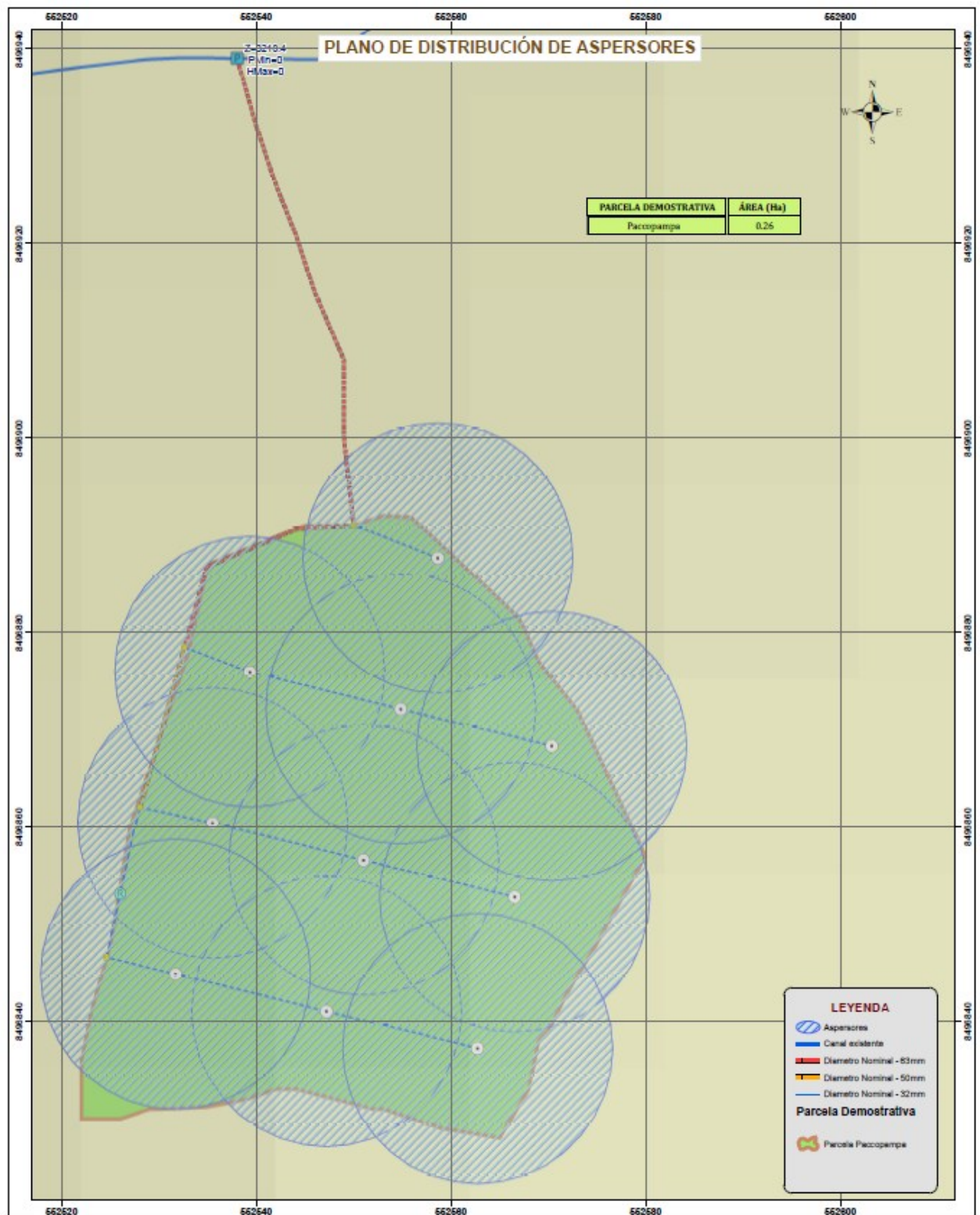


Figura 3.3: Distribución de aspersores dentro de la parcela en estudio

3.8. Comportamiento hidráulico

Los resultados de los diámetros de tubería, longitudes de tubería, velocidades, caudal de diseño etc., se calcularon con el programa SIGOPRAM, para las pérdidas de carga se utilizó la fórmula de Darcy.

Los resultados de los cálculos hidráulicos de riego se muestran en la **Tabla 3.6** y se adjunta en el anexo de cálculos hidráulicos.

Tabla 3.6: Comportamiento hidráulico de la red de tuberías

Departamento : Ayacucho				Distrito : Totos				Lugar : Paccopampa												
Provincia : Cangallo				Centro Poblado : Chacabamba																
Tipo	Material	Nodo inicial	Nodo Final	Diámetro Nominal (mm)	Diámetro Interior (mm)	Diámetro referencial (pulg)	Clase	Rugosidad	Longitud (m)	Cota inicial (msnm)	Cota final (msnm)	Diferencia de cotas (msnm)	Pendiente (%)	Presión Estática (mca)	Presión Dinámica (mca)	Perdidas Totales (m)	Velocidad Máxima (m/seg)	Velocidad Mínima (m/seg)	Velocidad (m/seg)	Caudal de Diseño (m3/seg)
Tubería Principal	HDPE	P1	P2	63	57.00	2	C - 6	0.02	49.98	3218.27	3201.64	16.63	0.33	24.40	22.96	1.44	2.50	0.50	1.24	3.00
Tubería Principal	HDPE	P2	P3	63	57.00	2	C - 6	0.02	24.54	3201.64	3192.93	8.71	0.35	32.35	27.99	0.60	2.50	0.50	1.14	3.33
Tubería Principal	HDPE	P3	P4	50	45.20	1 1/2	C - 6	0.02	17.05	3192.93	3185.82	7.11	0.42	32.40	29.70	0.66	2.50	0.50	1.25	2.00
Tubería Principal	HDPE	P4	P5	32	28.00	1	C - 8	0.02	9.13	3185.82	3182.28	3.54	0.39	36.40	28.00	5.69	2.50	0.50	1.62	1.00
Tubería Principal	HDPE	P5	P6	32	28.00	1	C - 8	0.02	6.66	3182.28	3180.17	2.11	0.32	38.40	29.24	0.76	2.50	0.50	1.62	1.00
Tubería Lateral	HDPE	P2	L1	32	28.00	1	C - 8	0.02	9.28	3201.64	3200.59	1.05	0.11	26.93	25.69	0.10	2.50	0.50	0.59	0.33
Tubería Lateral	HDPE	P3	L2	32	28.00	1	C - 8	0.02	7.19	3192.93	3193.56	-0.63	-0.09	31.60	27.90	0.67	2.50	0.50	1.65	1.00
Tubería Lateral	HDPE	L2	L3	32	28.00	1	C - 8	0.02	16.00	3192.56	3193.58	-1.02	-0.06	31.64	27.32	0.69	2.50	0.50	1.00	0.67
Tubería Lateral	HDPE	L3	L4	32	28.00	1	C - 8	0.02	16.00	3192.58	3194.17	-1.59	-0.10	31.72	26.53	0.19	2.50	0.50	0.61	0.33
Tubería Lateral	HDPE	P4	L5	32	28.00	1	C - 8	0.02	7.62	3185.82	3185.33	0.49	0.06	33.01	28.94	0.89	2.50	0.50	1.64	1.00
Tubería Lateral	HDPE	L5	L6	32	28.00	1	C - 8	0.02	16.00	3185.34	3186.89	-1.55	-0.10	33.01	28.19	0.87	2.50	0.50	1.08	0.67
Tubería Lateral	HDPE	L6	L7	32	28.00	1	C - 8	0.02	16.00	3185.89	3187.23	-1.34	-0.08	32.64	26.59	0.24	2.50	0.50	0.63	0.33
Tubería Lateral	HDPE	P6	L8	32	28.00	1	C - 8	0.02	7.31	3180.17	3180.93	-0.76	-0.10	38.61	28.62	0.83	2.50	0.50	1.62	1.00
Tubería Lateral	HDPE	L8	L9	32	28.00	1	C - 8	0.02	16.00	3179.93	3180.03	-0.10	-0.01	38.61	27.33	0.85	2.50	0.50	1.07	0.67
Tubería Lateral	HDPE	L9	L10	32	28.00	1	C - 8	0.02	16.00	3180.03	3181.90	-1.87	-0.12	38.17	26.35	0.24	2.50	0.50	0.63	0.33

3.9. Implementación del sistema de riego tecnificado en la parcela demostrativa

Los materiales utilizados en la implementación del sistema de riego tecnificado en la parcela demostrativa se detallan en la **Tabla 3.7**.

Tabla 3.7: Materiales instaladas en parcela en estudio

Materiales	Unidad	Cantidad
Tubería HDPE en línea principal		
Tubería HDPE - 6 de 63mm	ml	74.52
Tubería HDPE - 6 de 50mm	ml	17.50
Tubería HDPE - 8 de 32mm	ml	15.78
Accesorios en línea principal		
Abrazaderas de 63 a 33	Und	2.00
Reducción de 63mm a 50mm	Und	1.00
Abrazaderas de 50mm a 33 mm	Und	1.00
Reducción de 50mm a 33mm	Und	1.00
Accesorios de TEE 33 mm	Und	1.00
válvula parcelaria		
Válvulas esfera 63mm	Und	1.00
Válvula de aire de doble efecto	Und	1.00
Abrazaderas de 63 a 33	Und	1.00
Arqueta para protección de válvulas	Und	1.00
Red de distribución parcelaria		
Tubería HDPE – 8 de 33mm	ml	127.41
Accesorios de tubería HDPE parcelaria		
Accesorios de TEE de 33mm	Und	6.00
Accesorios de codo de 33mm	Und	3.00
Emisores de riego		
Aspersores Compac Impac	Und	10.00
Válvulas de purga parcelario		
Válvula esfera de 33mm	Und	1.00
Arqueta para protección de válvulas	Und	1.00

3.10. Cultivo de arveja

El cultivo de arveja de variedad criolla se sembró en 17 del mes de abril del 2024 en un área de 0.12ha. Se estableció un distanciamiento entre surcos de 0.80 m, distanciamiento entre golpe a golpe de 10 a 12cm y en cada golpe se sembraron 2 a 3 semillas, lo que incrementa la probabilidad de una germinación exitosa como se observa en la **Figura 3.4**.

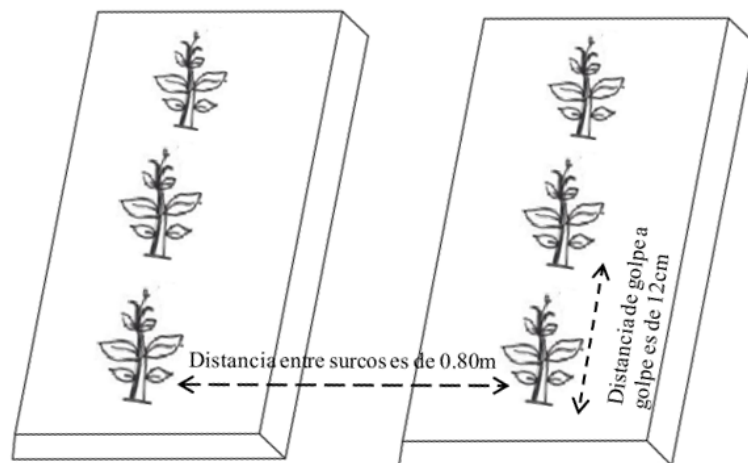


Figura 3.4: Dimensiones de la siembra de cultivo de arveja (*Pisum sativum L.*)

3.11. Evaluación del área de estudio de Paccopampa

3.11.1. Presión

En la parcela Paccopampa, durante las horas de evaluación indicadas (07:00, 13:00 y 18:00), se registraron las presiones máximas y mínimas en bares. A las 07:00, la presión máxima alcanzó 2.86 bar, mientras que la mínima fue de 2.72 bar, resultando en un promedio de 2.79 bar. A las 13:00, la presión máxima observada fue de 2.65 bar, con una presión mínima de 2.60 bar, lo que dio lugar a un promedio de 2.63 bar. Finalmente, a las 18:00, la presión máxima fue de 2.75 bar y la mínima de 2.61 bar, resultando en un promedio de 2.68 bar. En conjunto, el promedio general de todas las mediciones fue de 2.70 bar, reflejando una variación en las presiones a lo largo del día como se detalla en la **Tabla 3.8** y **Figura 3.5**.

Tabla 3.8: Presiones máximas y mínimas en bares

Parcela Paccopampa	Hora de Evaluación			Promedio
Presión (bar)	07.00	13.00	18.00	
Máxima (bar)	2.86	2.65	2.75	2.75
Mínima (bar)	2.72	2.60	2.61	2.64
Promedio	2.79	2.63	2.68	2.70

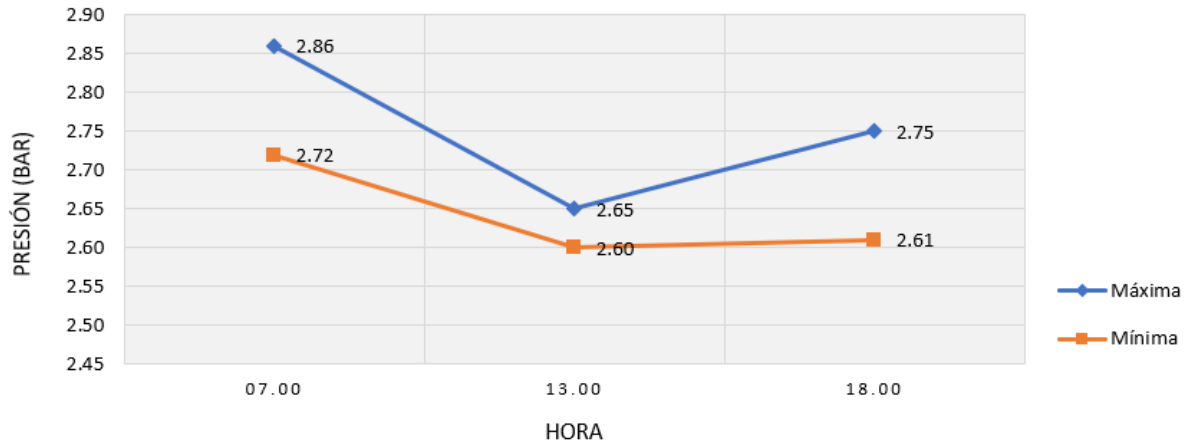


Figura 3.5: Evaluación de presiones máximas y mínimas en bares

3.11.2. Altura de elevadores

Los elevadores son de Tubería HDPE de 32 mm de 150 cm de altura apoyados en listones de madera.

3.11.3. Características del aspersor

Los aspersores empleados en la parcela Paccopampa son de Compac Impac, de plástico, de boquilla # 11, amarilla de 4.37 mm, el difusor del brazo fracciona el chorro, permitiendo una distribución más homogénea del agua en la superficie mojada. Este diseño simula el funcionamiento de una doble boquilla, pero elimina el riesgo de obstrucción que comúnmente afecta a las boquillas secundarias más pequeñas.

3.11.4. Evaluación de la uniformidad de distribución

38	52	43	40	36	53	65	36	38	32
35	40	32	40	52	40	44	43	44	45
65	64	58	60	41	43	44	61	56	39
53	69	65	55	50	49	52	65	53	52
52	50	50	52	52	62	58	50	48	35

$$Vm = 49.62 \text{ cm}^3$$

25% de los pluviómetros que menos volumen recogieron:

34	35	36	36	38	39	40	40	40	40	42	42	42
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

$$V_{25\%} = 38.77 \text{ cm}^3$$

$$UD_{Parcela} = 100 * \frac{V_{25\%}}{Vm}$$

$$UD_{parcela} = 100 * \frac{38.77}{49.62}$$

$$UD_{parcela} = 78.13\%$$

3.11.5. Evaluación de coeficiente de uniformidad

3.11.5.1. Aplicación de la fórmula del Coeficiente de Uniformidad de Christiansen en la parcela de Paccopampa, evaluación en el horario de 07.00 horas a 09.00 horas.

El resultado de los cálculos realizados de coeficiente de uniformidad en la línea lateral, haciendo uso de la ecuación 15 es de 82.77%, ver **Tabla 3.9** y **Tabla 3.10**, este resultado durante las primeras horas del día presenta una distribución uniforme, lo cual indica que el tamaño de partículas tiene una variabilidad moderada, ver **Figura 3.6**.

Tabla 3.9: Croquis de volumen recogido de recipientes de plástico (ml) – Prueba 1 (primeras horas de la mañana)

Numero de Prueba	Prueba I	Descarga del Aspersor	1189 lph	Cultivo	Arveja
Fecha	22/09/2024	Altura del Elevador	1.50 cm	Área Evaluada	512 m2
Comienzo de Prueba	07.00 Am	Espacio entre Pluviómetros	3x3m		
Duración	110 min	Marco de Riego	16x16m		
Fin de la Prueba	08.50 Am				

Asp 1

Asp 2

Asp 3

Asp 4

Asp 5

Asp 6

36 ml	62 ml	42 ml	39 ml	36 ml	56 ml	60 ml	36 ml	58 ml	32 ml
35 ml	39 ml	30 ml	42 ml	52 ml	36 ml	44 ml	44 ml	44 ml	46 ml
68 ml	62 ml	58 ml	58 ml	40 ml	42 ml	42 ml	62 ml	58 ml	38 ml
52 ml	68 ml	64 ml	52 ml	48 ml	49 ml	54 ml	61 ml	54 ml	52 ml
50 ml	48 ml	50 ml	52 ml	60 ml	60 ml	58 ml	52 ml	44 ml	38 ml

Haciendo uso de la ecuación 15 se calcula el coeficiente de uniformidad como se detalla en la **Tabla 3.10**.

Tabla 3.10: Evaluación de Coeficiente de uniformidad por método de Christiansen de prueba

Recipiente	Cantidad (ml)	xi-X
1	50.00	19.26
2	52.00	17.26
3	68.00	14.26
4	35.00	13.26
5	36.00	13.26
6	48.00	13.26
7	68.00	13.26
8	62.00	11.26
9	39.00	11.26
10	62.00	10.26
11	50.00	10.26
12	64.00	9.26
13	58.00	7.26
14	30.00	7.26
15	42.00	7.26
16	52.00	7.26
17	52.00	5.26
18	58.00	5.26
19	42.00	5.26
20	39.00	5.26
21	60.00	3.26
22	48.00	1.26
23	40.00	1.26
24	52.00	0.26
25	36.00	0.74
26	60.00	0.74
27	49.00	2.74
28	42.00	2.74
29	36.00	2.74
30	56.00	2.74
31	58.00	2.74
32	54.00	2.74
33	42.00	4.74
34	44.00	4.74
35	60.00	6.74
36	52.00	8.74
37	61.00	8.74
38	62.00	8.74
39	44.00	8.74
40	36.00	8.74
41	44.00	10.74
42	54.00	10.74
43	58.00	10.74
44	44.00	11.74
45	58.00	12.74
46	38.00	12.74
47	52.00	12.74
48	38.00	14.74
49	46.00	18.74
50	32.00	18.74
Promedio	49.26	8.49
Coefficiente de Uniformidad por Christiansen - Prueba I		
		82.77%

MAX - MIN

Máximo (ml)

68.00

Mínimo (ml)

30.00

Desv. Standard

9.97

Error de media

1.41

N=

50

N25%

13

Medias

Total de datos

49.26

del 25% inferior

36.69

$\Sigma(xi-X)/n$

8.49

Medidas de distribución

Coefficiente de Uniformidad (%)

82.77

Distribución de Uniformidad (%)

74.49

SC

1.64

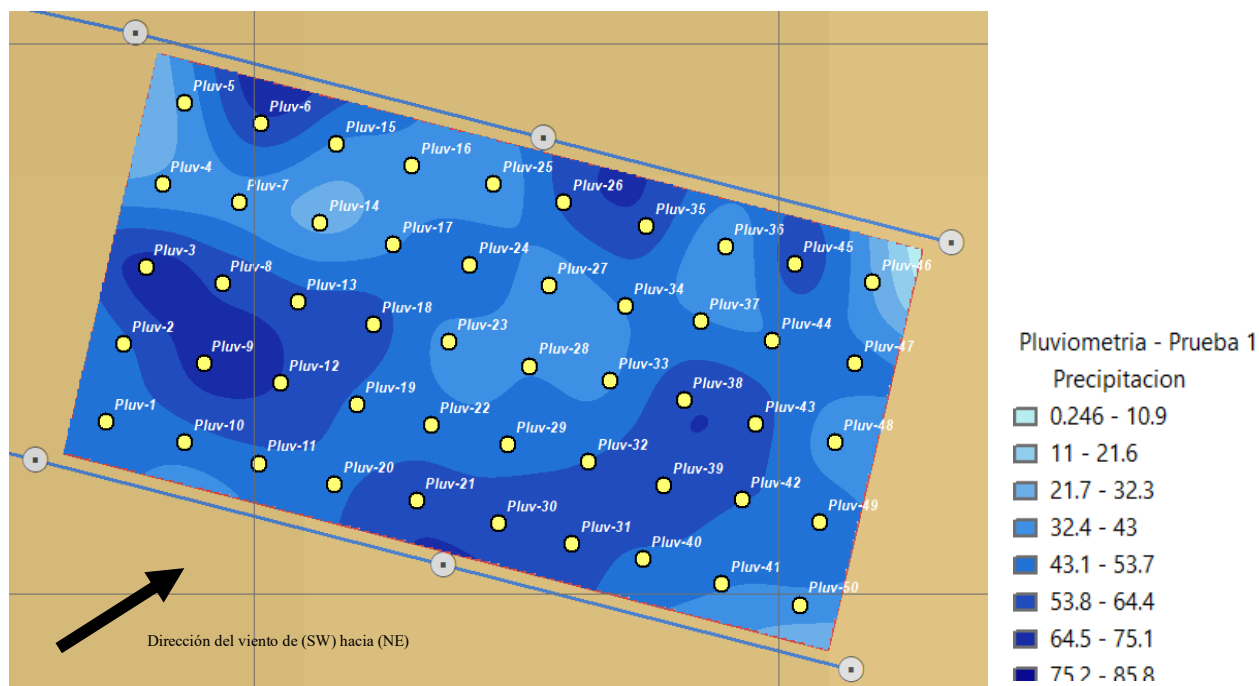


Figura 3.6: Lluvia de prueba de coeficiente de uniformidad por método de Christiansen - Prueba 1

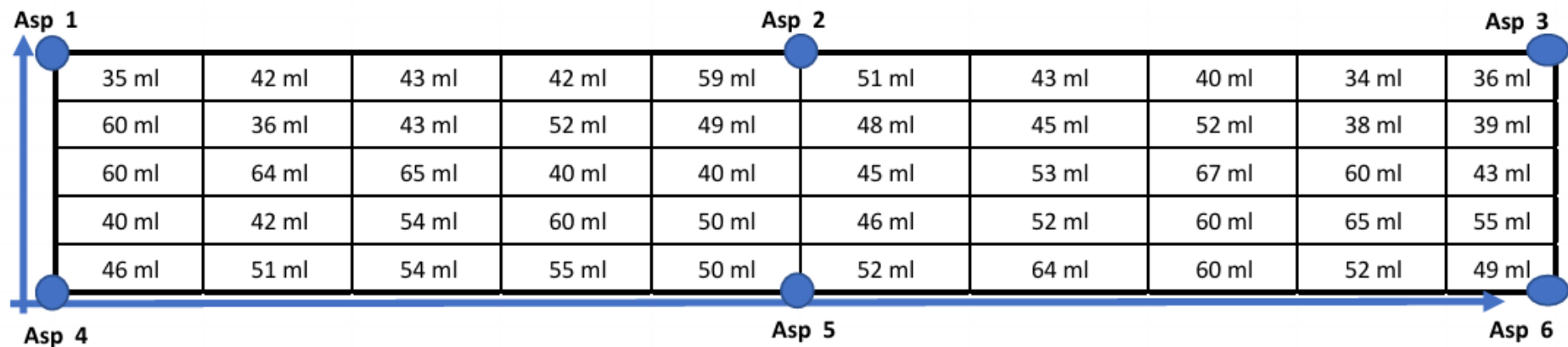
En la prueba I la dirección del viento ha sido sudeste (SE) con un rumbo que se desplaza hacia el noreste (NE) como se observa en la **Figura 3.6**.

3.11.5.2. Aplicación de la fórmula del Coeficiente de Uniformidad de Christiansen en la parcela de Paccopampa, evaluación en el horario de 13.00 horas a 15.00 horas.

El resultado de los cálculos realizados de coeficiente de uniformidad en la línea lateral, haciendo uso de la ecuación 15 es de 84.9%, ver **Tabla 3.11**, **Tabla 3.12** y **Figura 3.7**; la medición realizada al medio día mostro el mayor coeficiente de uniformidad

Tabla 3.11: Croquis de volumen recogido de recipientes de Plástico (ml) – Prueba 2 (Medio día)

Numero de Prueba	Prueba II	Descarga del Aspersor	1189 lph	Cultivo	Arveja
Fecha	22/09/2024	Altura del Elevador	1.50 cm	Área Evaluada	512 m2
Comienzo de Prueba	13.00	Espacio entre Pluviómetros	3x3m		
Duración	110 Min	Marco de Riego	16x16m		
Fin de la Prueba	14.50				



Asp 1	35 ml	42 ml	43 ml	42 ml	59 ml	51 ml	43 ml	40 ml	34 ml	36 ml	Asp 3
	60 ml	36 ml	43 ml	52 ml	49 ml	48 ml	45 ml	52 ml	38 ml	39 ml	
	60 ml	64 ml	65 ml	40 ml	40 ml	45 ml	53 ml	67 ml	60 ml	43 ml	
	40 ml	42 ml	54 ml	60 ml	50 ml	46 ml	52 ml	60 ml	65 ml	55 ml	
Asp 4	46 ml	51 ml	54 ml	55 ml	50 ml	52 ml	64 ml	60 ml	52 ml	49 ml	Asp 6
					Asp 5						

Tabla 3.12: Evaluación de Coeficiente de uniformidad por método de Christiansen de prueba 2

Recipiente	Cantidad (ml)	xi-X		
1	46.00	15.62		
2	40.00	14.62		
3	60.00	13.62		
4	60.00	13.62		
5	35.00	11.62		
6	51.00	10.62		
7	42.00	9.62		
8	64.00	9.62		
9	36.00	9.62		
10	42.00	9.62		
11	54.00	7.62		
12	54.00	7.62		
13	65.00	7.62		
14	43.00	6.62		
15	43.00	6.62		
16	55.00	6.62		
17	60.00	6.62		
18	40.00	4.62		
19	52.00	4.62		
20	42.00	3.62		
21	50.00	3.62		
22	50.00	1.62		
23	40.00	0.62		
24	49.00	0.62		
25	59.00	0.38		
26	52.00	0.38		
27	46.00	1.38		
28	45.00	1.38		
29	48.00	2.38		
30	51.00	2.38		
31	64.00	2.38		
32	52.00	2.38		
33	53.00	2.38		
34	45.00	3.38		
35	43.00	4.38		
36	60.00	4.38		
37	60.00	5.38		
38	67.00	5.38		
39	52.00	9.38		
40	40.00	10.38		
41	52.00	10.38		
42	65.00	10.38		
43	60.00	10.38		
44	38.00	10.38		
45	34.00	10.38		
46	49.00	14.38		
47	55.00	14.38		
48	43.00	15.38		
49	39.00	15.38		
50	36.00	17.38		
Promedio	49.62	7.48		
Coeficiente de Uniformidad por Christiansen - Prueba II		84.9%		
			MAX - MIN	
			Máximo (ml)	67.00
			Mínimo (ml)	34.00
			Desv. Standard	8.96
			Error de media	1.27
			N=	50
			N25%	13
			Medias	
			Total de datos	49.62
			del 25% inferior	38.77
			$\Sigma\{xi-X\}/n$	7.48
			Medidas de distribución	
			Coeficiente de Uniformidad (%)	84.94
			Distribución de Uniformidad (%)	78.13
			SC	1.46

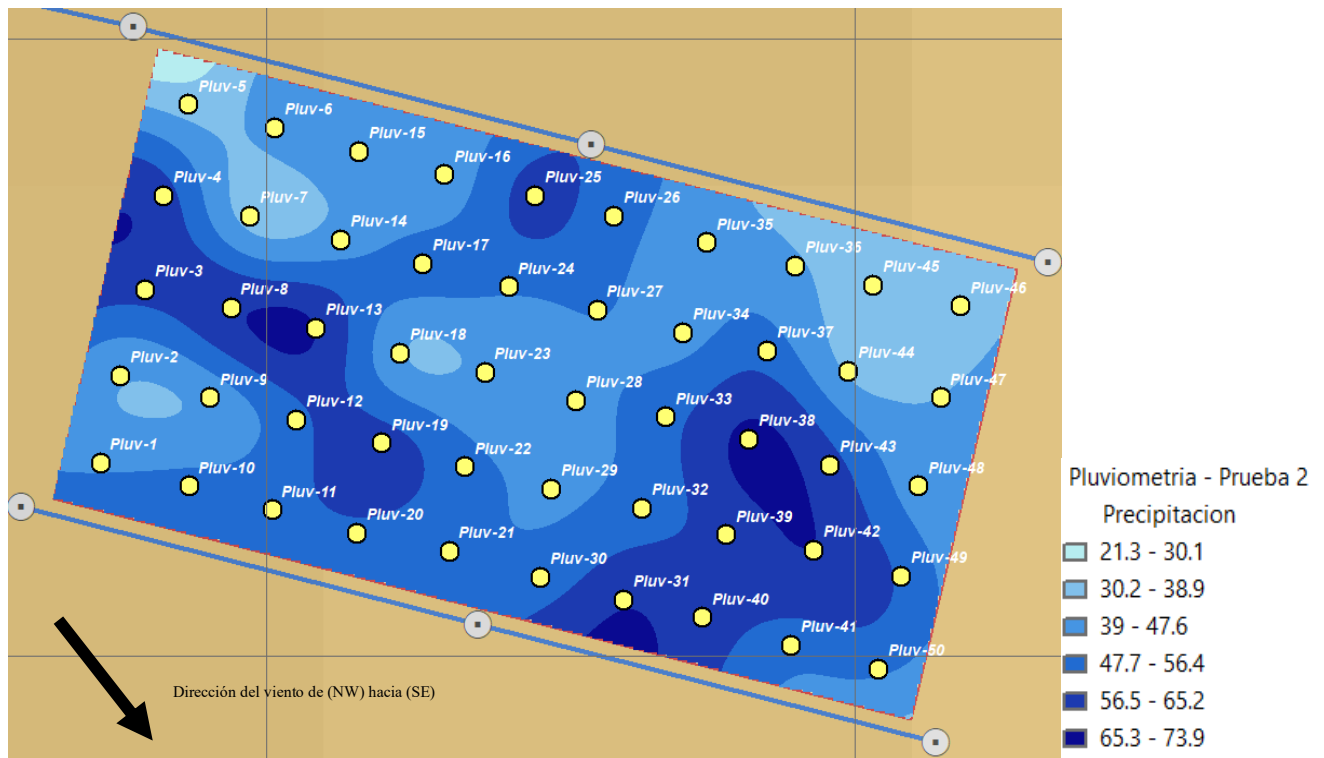


Figura 3.7 Lluvia de la prueba de coeficiente de uniformidad por método de Christiansen - Prueba 2

En la prueba II la dirección del viento ha sido moderada de noroeste (NW) con rumbo que se desplaza hacia el sureste (SE) como se observa en la **Figura 3.7**.

3.11.5.1. Aplicación de la fórmula del Coeficiente de Uniformidad de Christiansen en la parcela de Paccopampa, evaluación en el horario de 16.10 horas a 18.00 horas.

El resultado de los cálculos realizados de coeficiente de uniformidad en la línea lateral, haciendo uso de la ecuación 15 es de 83.77% ver **Tabla 3.13**, **Tabla 3.14** y **Figura 3.8**, representa una ligera disminución respecto al medio día.

Tabla 3.13: Croquis de volumen recogido de recipientes de plástico (ml) – Prueba 3

Numero de Prueba	Prueba III	Descarga del Aspersor	1189 lph	Cultivo	Arveja
Fecha	22/09/2024	Altura del Elevador	1.50 cm	Área Evaluada	512 m2
Comienzo de Prueba	16.10	Espacio entre Pluviómetros	3x3m		
Duración	110 Min	Marco de Riego	16x16m		
Fin de la Prueba	18.00				

Asp 1					Asp 2					Asp 3
38ml	52ml	43ml	40ml	36ml	53ml	65ml	36ml	38ml	32ml	
35ml	40ml	32ml	40ml	52ml	40ml	44ml	43ml	44ml	45ml	
65ml	64ml	58ml	60ml	41ml	43ml	44ml	61ml	56ml	39ml	
53ml	69ml	65ml	55ml	50ml	49ml	52ml	65ml	53ml	52ml	
52ml	50ml	50ml	52ml	62ml	62ml	58ml	50ml	48ml	35ml	
Asp 4					Asp 5					Asp 6

Tabla 3.14: Evaluación de Coeficiente de uniformidad por método de Christiansen de prueba 3

Recipiente	Cantidad (ml)	$\bar{x}_i - \bar{X}$		
1	52.00	17.22		
2	53.00	17.22		
3	65.00	14.22		
4	35.00	14.22		
5	38.00	13.22		
6	50.00	13.22		
7	69.00	11.22		
8	64.00	11.22		
9	40.00	10.22		
10	52.00	9.22		
11	50.00	9.22		
12	65.00	9.22		
13	58.00	9.22		
14	32.00	8.22		
15	43.00	6.22		
16	52.00	6.22		
17	55.00	6.22		
18	60.00	5.22		
19	40.00	5.22		
20	40.00	5.22		
21	62.00	4.22		
22	50.00	1.22		
23	41.00	0.22		
24	52.00	0.78		
25	36.00	0.78		
26	62.00	0.78		
27	49.00	0.78		
28	43.00	2.78		
29	40.00	2.78		
30	53.00	2.78		
31	58.00	2.78		
32	52.00	2.78		
33	44.00	2.78		
34	44.00	3.78		
35	65.00	3.78		
36	50.00	3.78		
37	65.00	5.78		
38	61.00	6.78		
39	43.00	8.78		
40	36.00	8.78		
41	48.00	10.78		
42	53.00	11.78		
43	56.00	12.78		
44	44.00	12.78		
45	38.00	14.78		
46	35.00	15.78		
47	52.00	15.78		
48	39.00	15.78		
49	45.00	15.78		
50	32.00	19.78		
Promedio	49.22	8.28		
Coeficiente de uniformidad por Christiansen - Prueba III		83.77%		

MAX - MIN	
Máximo (ml)	69.00
Mínimo (ml)	32.00
Desv. Standard	9.94
Error de media	1.41
N=	50
N25%	13
Medias	
Total de datos	49.22
del 25% inferior	37.00
$\Sigma(\bar{x}_i - \bar{X})/n$	8.28
Medidas de distribución	
Coeficiente de Uniformidad (%)	83.17
Distribución de Uniformidad (%)	75.17
SC	1.54

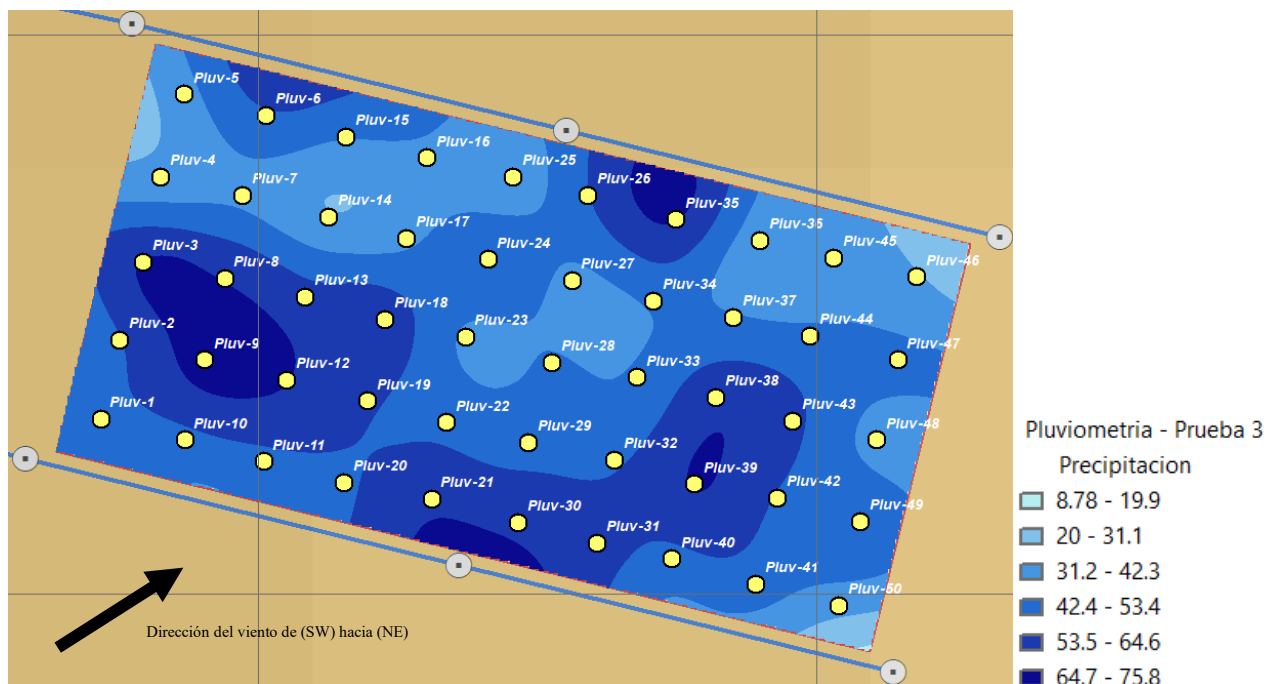


Figura 3.8: Lluvia de la prueba de coeficiente de uniformidad por método de Christiansen - Prueba 3

En la prueba III la dirección del viento ha sido sudeste (SE) con rumbo que se desplaza hacia el noreste (NE) como se observa en la **Figura 3.8**.

Los resultados obtenidos de las evaluaciones del coeficiente de uniformidad que son de 82.77% en la mañana, 84.9% al medio día y de 83.77% por la tarde, se encuentran en un rango de 0.80 a 0.85, lo cual indica características apreciables sobre la distribución del tamaño de partículas del suelo. De acuerdo a (Yagüe, 2003) es apropiado para soportar cultivos con sistemas radicales de profundidad media en suelos de textura media(p. 264).

DISCUSIONES

- a. La evaluación del sistema implementado de riego por aspersión que arroja un promedio del 83.81% de coeficiente de uniformidad de las tres mediciones mediante la fórmula de Christiensen, lo cual indica un buen rendimiento para cultivos con sistemas radicales de profundidad media en suelos de textura media. Este sistema sugiere que el sistema es efectivo y, por ende, puede tener un impacto positivo en la productividad agrícola.
1. Durante el levantamiento topográfico de la parcela en estudio se utilizó GPS diferencial, este equipo es confiable debido a la precisión que varía de 0.1 a 1.0 metros lo que garantiza la exactitud de datos recopilados, como resultado se muestra curvas de nivel cada un metro de distancia como se detalla en plano topográfico, esta información es importante para el diseño agronómico e hidráulico de la parcela ya que proporciona una comprensión clara de la topografía del terreno.

De acuerdo a resultados de laboratorio de análisis físico del suelo la parcela en estudio presenta suelo de textura franco arenosa, cuando se ha ingresado al diagrama triangular de las clases texturales básicas del suelo según el tamaño de partículas, de acuerdo con el USDA la clase textural a la cual pertenece es franco arcilloso arenoso.

La velocidad de infiltración del suelo en la parcela estudiada es de 26.53 mm/hora, este valor se encuentra dentro del rango establecido de 20 a 30 mm/hora de acuerdo a la **Tabla 1.1**, lo que indica que el suelo tiene una capacidad adecuada para absorber agua a una tasa considerablemente más que la pluviometría del sistema de riego por aspersión (Compac Impact) que es de 4.37mm/hora. Este rango sugiere que el suelo puede recibir eficientemente el agua de riego o de lluvia sin generar problemas de escorrentía o encharcamiento.

Así mismo se verificó la disponibilidad de agua en el canal existente de Paccopampa de donde se tomó una muestra para su análisis en laboratorio. Los resultados obtenidos indican que la calidad de agua es óptima para riego debido a que el pH del agua es ligeramente alcalino lo que es adecuado para el riego de los cultivos. Así mismo el RAS es inferior a 3 lo que indica que el agua presenta un bajo riesgo de generar problemas de salinidad en el suelo y tiene una clasificación C2-S1, donde C2 indica que algunas plantas son sensibles y pueden mostrar estrés a sales; aunque se puede prevenir la acumulación de sales en el suelo a través de una lixiviación moderada, por otro lado, la clasificación S1 señala que el agua puede utilizarse para el riego, prácticamente en todos los tipos de suelo sin peligro de deteriorar la estructura del mismo.

2. Para el cálculo de ETo se aplicaron 4 métodos empíricos que son: método de Hargreaves en base a la radiación arroja un valor de 2.85mm/día para el mes de julio, método de Hargreaves en base a la temperatura arroja un valor de 2.77mm/día para el mes de julio, método de Linacre arroja un valor de 3.47 mm/día para el mes de julio y método de Serruto arroja un valor de 2.53 mm/día para el mes de julio, como se observa los resultados obtenidos mediante estos métodos defieren, por lo tanto, para el presente estudio se optó por utilizar el método empírico Hargreaves en base a la radiación que es de 2.85mm/día para el mes de julio, debido a la escases de datos meteorológicos disponibles en la zona en estudio.

El módulo de riego resultó ser mayor en el mes de julio de 0.51 litros/seg/ha que otros meses según la **Tabla 3.3**. “En la sierra andina los proyectos manejan un módulo de riego aproximadamente de 0.50 a 1.5 litros/seg/ha” (Hendriks, 1986, p. 199). De acuerdo a la bibliografía consultada el módulo de riego calculado del mes de julio está dentro del rango.

El caudal de diseño para el sistema de riego por aspersión es de 3.33 litros/seg, valor que es significativamente menor que el caudal del canal existente, que es de 15 litros/seg. Esta diferencia indica que la capacidad del canal es más que suficiente para abastecer el sistema de riego de la parcela en estudio.

3. La implementación del sistema de riego a partir del diseño agronómico e hidráulico permitirá las satisfacciones de las necesidades hídricas del cultivo de arveja criolla que se ha sembrado en un área de 0.12ha.
4. Las evaluaciones realizadas al sistema implementado fueron 3 en la parcela en estudio y arroja un 82.77% en la mañana, 84.9% al medio día y de 83.77% por la tarde, mediante la fórmula de Christiensen, se encuentran en un rango de 0.80 a 0.85, esto garantiza para cultivos con sistemas radicales de profundidad media en suelos de textura media.

CONCLUSIONES

- a. Se evaluó el coeficiente de uniformidad mediante la fórmula de Christiansen, obteniendo un promedio de las tres mediciones (mañana, medio día y tarde) de 83.81%, un valor que se sitúa dentro del rango bueno de 80% al 90%, indicando que el sistema de riego por aspersión, así como sus características operativas y de diseño, estuvieron bien planteados y funcionando de manera adecuada.
1. La parcela en estudio presenta suelo de textura franco arenosa con una capacidad de campo de 29.8%, punto de marchitez permanente de 16.1%, una densidad aparente 1.29 y el pH del agua es ligeramente alcalina, el RAS es menor de 3, moderadamente dura, clasificación C2-S1.
2. La evaluación agronómica calculada indica que la selección del aspersor (Compact Impact), es adecuada debido a que la velocidad de infiltración de suelo es de 26.53mm/hora lo cual supera la tasa de precipitación del aspersor que es de 4.37mm/hora

El diseño hidráulico se evaluó mediante una simulación realizada con el software SIGOPRAM, con el fin de determinar las presiones de diseño en la parcela objeto de estudio. Se emplearon tuberías de diámetros de 62, 50 mm y 32 mm, clasificadas en clase 6 y clase 8, conforme a las presiones específicas de cada tramo. Los resultados de esta simulación permitirán asegurar que el sistema de tuberías esté adecuadamente dimensionado para satisfacer las necesidades de presión y flujo requeridas en la parcela, contribuyendo a la eficiencia del sistema hidráulico.

Se ha diseñado un esquema hidráulico que establece un caudal de descargar de 3.33 litros/seg, lo que garantiza un suministro adecuado de agua para el riego. La frecuencia de riego se ha fijado en 7 días con una duración de riego de 7 horas.

3. Se implementó el diseño de riego tecnificado por aspersión en la parcela demostrativa de acuerdo al diseño planteado en un área de 0.26 ha, y se sembró arveja criolla en un área de 0.12 ha.
4. Se calculó el coeficiente de uniformidad mediante la fórmula de Christiansen, obteniendo los valores de 82.77% en la mañana, 84.9% al medio día y de 83.77% por la tarde, siendo al medio día un valor alto de coeficiente de uniformidad, el promedio de las tres mediciones llega a un 83.81% que está dentro del rango de 80% al 85%.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar el software SIGOPRAM para simular el sistema de riego por aspersión debido que es un programa integral y eficiente para el modelado hidráulico que permitirá analizar y optimizar la distribución del agua, Mediante esta simulación, se podrán evaluar diferentes escenarios de riego, ajustar parámetros como caudales y tiempos de riego, y mejorar la uniformidad en la aplicación del agua.
- De acuerdo a los resultados obtenidos de coeficiente de uniformidad se recomienda realizar los riegos durante las horas de la mañana, lo que permitirá una distribución más eficiente del agua y reducirá la evaporación.
- Se recomienda a los usuarios del sector de paccopampa utilizar el sistema de riego por aspersión con aspersores de tipo Compat Impact debido a que la evaluación de coeficiente de uniformidad es superior al 80% que indica que el sistema de riego proporciona una distribución del agua de manera uniforme a lo largo de la parcela.
- Se recomienda realizar una limpieza periódica de los filtros de succión del agua ya que la acumulación de la sociedad y sedimentos pueden obstruir a los emisores y afectar el coeficiente de uniformidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Absalón, V., Vásquez, I., & Vélchez, G. (2009). Principios básicos del riego. *Facultad de Ingeniería Agrícola, Departamento de Recursos de Agua y Tierra, Instituto Internacional de Riego, UNA La Molina-Perú.*
- Barboza Blanco, J. J., & Mijahuanca Chuquillanque, J. (2022). *Evaluación del Coeficiente de Uniformidad y Eficiencia de Aplicación del sistema de riego por aspersión Veras-Sector de Yerba Buena-Cajamarca.*
- Carnicer, S., Porta, M., & Pérez, G. L. (2020). *Guía para muestreo de suelos agrícolas.*
- Castañón, G. (2000). *Ingeniería del riego: utilización racional del agua* (Issues 84-283-2733-5. FT 02-E11.). ITES-Paraninfo.
- Checa Coral, O. E., Rodríguez Rodríguez, D. M., Ruiz Eraso, M. H., & Muriel Figueroa, J. E. (2022). *La Arveja-Investigación y Tecnología en el Sur de Colombia.*
- Checa, O., Rodríguez, D., Ruíz, M., & Muriel, J. (2022). *La arveja, investigación y tecnología en el Sur de Colombia. Universidad de Nariño.*
- De la Cruz, J. (2015). *Evaluación del coeficiente de uniformidad y eficiencia de aplicación en el sistema de riego por aspersión pacurisocos-Ayacucho.*
- Durand Rojas, G. (2018). *Evaluación del coeficiente de uniformidad de Christiansen en riego por aspersión con línea lateral unitaria en el distrito Huambo, provincia Caylloma, región Arequipa.*
- Fernández, R., Oyonarte, N., García, J., Yruela, M. d, Milla, M., Ávila, R., & Gavilán, P. (2010). *Manual de Riego para Agricultores Módulo 3: Riego por Aspersión. Junta de Andalucía. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. Sevilla España.*
- Fernández, R., Yruela, M., Milla, M., García, J., & Oyonarte, N. (2010). *Manual de riego para agricultores. Sevilla, España: INIFAP.*
- Galindo-Pacheco, J. R. (2020). *Arveja (Pisum sativum L.): Manual de recomendaciones técnicas para su cultivo en el departamento de Cundinamarca.* Universidad Nacional de Colombia-UNAL.
- G Allen, R., S Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo.*
- García, F. (2003). *Curso básico de topografía: planimetría, agrimensura, altimetría. México, DF: Editorial Pax México.*
- González Villa, F. J. (2011). *Ubicación óptima de hidrantes multiusuario en redes de riego a presión mediante el empleo de modelos de localización-asignación.*

- Gutiérrez - Ninahuaman, C., & González-Herrera, R. (2021). Software to analyze ETo. Compilation of indirect methods. *Environmental Modelling & Software*, 142, 105056.
- Hendriks, J. (1986). Distribución de aguas en sistemas de riego: Problemas y Alternativas. *Allpanchis*, 18(28), 185–210.
- Huaylla Limachi, L. (2019). Sistemas de riego tecnificado. *Instituto de Capacitación Del Oriente (ICO)*, 1–26.
- Infoagro. (2008a). *Cultivo del Guisante*.
- Infoagro. (2008b). *El cultivo del guisante*.
- Mendoza, R. B., & Espinoza, A. (2017). *Guía técnica para muestreo de suelos*.
- Minchala, L., & Guamán, M. (2004). *El cultivo de arveja en la Sierra Sur*.
- Montes de Oca, M. (1984). *Topografía*.
- Morales Piñeros, Y., & Contreras, V. (2021). *Evaluación de tres diferentes densidades de siembra sobre el rendimiento de arveja (Pisum sativum L.) variedad Rabo de Gallo, en la vereda San José del municipio de Mutiscua, Norte de Santander*.
- Palomino Huamaní, E. (2016). *Diseño del sistema de riego por aspersión en función a la programación de riego en la comunidad de Urpaypampa-2016*.
- Ponce, C., Arnillas, C. A., & Escobal, J. (2016). *Cambio climático, uso de riego y estrategias de diversificación de cultivos en la sierra peruana*.
- Programa Subsectorial de Irrigaciones. (2014). *Operación y Mantenimiento del Sistema de Riego por Aspersión en Laderas*.
- Ramos Ramos, M. P., & Báez Rivera, D. F. (2013). *Diseño y construcción de un sistema de riego por aspersión en una parcela demostrativa en el Cantón Cevallos*. Escuela Superior Politécnico de Chimborazo.
- Redondo, M. Á. M. (2018). *Diseño agronómico e hidráulico de riegos agrícolas a presión*. Editorial Agrícola Española.
- Solórzano Angulo, A. J. (2012). *Diseño e implementación de un sistema de riego por aspersión, en cacao (theobroma cacao l) en el campus de la ESPAM-MFL*. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.
- Soto, H. J. (2002). Manual para el diseño y gestión de pequeños sistemas de riego por aspersión en laderas. *Cusco, Perú: MASAL*.
- Suasnabar Astete, C., Marmolejo Gutarra, D., Torres Suárez, G., Munive Cerrón, R. V., Valverde Cadillo, A. A., & Gamarra Sánchez, G. (2021a). *Cultivo de Arveja*.

- Suasnabar Astete, C., Marmolejo Gutarra, D., Torres Suárez, G., Munive Cerrón, R. V., Valverde Cadillo, A. A., & Gamarra Sánchez, G. (2021b). *Cultivo de Arveja*.
- Tarjuelo Martín-Benito, J. M. (1999). *El riego por aspersión y su tecnología*.
- Trujillo, A. T., Méndez, I. D., & López, E. I. (n.d.). *Diseño de un sistema de riego por microaspersión automatizado para el cultivo de guanábana "annona muricata" mediante el uso de las herramientas SIG Design of an automated irrigation system by microaspersion for growing soursop" annona muricata" using GIS tools*.
- Venegas Marcalla, W. P. (2011). *Evaluación de dos bioles a partir de dos fuentes orgánicas (bovino y cobayo) a cuatro dosis de aplicación en dos variedades del cultivo de arveja (pisum sativum) en la comunidad de Planchaloma Toacaso Latacunga 2011*.
- Villacís Stacey, M. B. (2012). *Diseño de un sistema de riego por aspersión*. Universidad San Francisco de Quito.
- Yagüe, J. L. F. (2003). *Técnicas de riego*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

ANEXOS

Anexo A: Panel fotográfico

PANEL FOTOGRÁFICO



Figura 1: Estacionamiento topográfico con GPS diferencia



Figura 2: Levantamiento fotográfico con GPS diferencial



Figura 3: Recolección de suelos para el laboratorio



Figura 4: Recolección de agua para análisis de agua de riego



Figura 5: Prueba de infiltración



Figura 6: Instalación de válvula parcelaria



Figura 7: Instalación de accesorios



Figura 8: Corte de tubería HDPE con para cambio de dimensionamiento



Figura 9: Colocación de válvula de aire



Figura 10: Arqueta de protección de la válvula parcelaria



Figura 11: Tendido de tubería HDPE en los laterales de sistema de riego



Figura 12: Sistema de riego en funcionamiento



Figura 13: Limpieza del terreno para la siembra del cultivo de arveja



Figura 14: Trazado de los surcos para la colocación de las semillas de arveja



Figura 15: Colocación de semillas de arveja



Figura 16: Tendido de la Wincha para la colocación de los vasos pluviométricos



Figura 17: Colocación de vasos Pluviométricos con una distancia de 3m x 3m



Figura 18: Sistema de riego en funcionamiento y medición de pluviometría a través de los vasos pluviométricos



Figura 19: Medición de la pluviometría

**Anexo B: Resultados de
laboratorio de análisis Físico –
Químico del agua**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
LABORATORIO DE SUELOS Y ANALISIS FOLIAR
Jr. Abraham Valdelomar N° 249 – Telf. 315936 966942996
Ayacucho – Perú

“Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho”

Región : Ayacucho
Provincia : Cangallo
Distrito : Totos
Localidad : CC. PP. Chacabamba - Parcela Demostrativa
Proyecto : “Evaluación del Coeficiente de Uniformidad de Sistema de Riego por Aspersión en Cultivo de Arveja (*Pisum sativum*) en Chacabamba, Ayacucho – 2023”.
Solicitante : ● Srta. Lyss Kelly Añanca Huamán

HR: 0044

ANALISIS FISICO – QUIMICO DE AGUA

DETERMINACIONES	FUENTE	
	Canal Existente	
CATIONES (meq./ Litro)		
CALCIO (Ca^{++})	2.52	
MAGNESIO (Mg^{++})	3.32	
POTASIO (K^{+})	0.02	
SODIO (Na^{+})	3.10	
AMONIO (NH_4^{+})	0.00	
ANIONES (meq./ Litro)		
BICARBONATOS (HCO_3^{-})	2.82	
CARBONATOS (CO_3^{-})	0.12	
CLORUROS (Cl^{-})	4.38	
FOSFATOS (PO_4^{-3})	0.00	
NITRATOS (NO_3^{-})	0.00	
SULFATOS (SO_4^{-})	1.62	
OTRAS DETERMINACIONES		
pH	7.96	
CE. (dS/m.)	0.61	
Sólidos en Suspensión (g/litro)	0.098	
Sales Solubles Totales (ppm)	313.0	
Relación de Adsorción de Sodio	1.81	
Carbonato de Sodio Residual (meq/L)	-2.90	
Dureza Total (ppm CaCO_3)	292.0	
CLASIFICACION	C2-S1	

OBSERVACIONES: Leer las recomendaciones indicadas en el reverso

Ayacucho, 15 de Abril del 2024

LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS
PLANTA, AGUAS Y FERTILIZANTES
RESPONSABLE

Juan B. Girón Molina
C.I.P. 77120

Anexo C: Resultados de laboratorio de análisis Físico del Suelo



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
PROGRAMA DE INVESTIGACION EN PASTOS Y GANADERIA
LABORATORIO DE SUELOS Y ANALISIS FOLIAR

Jr. Abraham Valdelomar N° 249 – Telf. 315936 966942996

Ayacucho – Perú

“Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho”

Región : Ayacucho HR. 0044
Provincia : Cangallo
Distrito : Totos
Localidad : CC. PP. Chacabamba - Parcela Demostrativa
Proyecto : “Evaluación del Coeficiente de Uniformidad de Sistema de Riego por Aspersión en Cultivo de Arveja (*Pisum sativum*) en Chacabamba, Ayacucho – 2023”.
Solicitante : Srta. Lyss Kelly Añanca Huamán

ANALISIS FISICO DE SUELO

Muestra	Análisis Granulométrico			Clase Textural	Densidad Aparente (g/cc)	Capacidad de Campo (%)	Punto de Marchites (%)
	%Arena	%Limo	%Arcilla				
01	44.2	19.1	36.7	Fr-Ar	1.29	29.8	16.1

Ayacucho, 15 de Abril del 2024.

LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS
PLANTA, AGUAS Y FERTILIZANTES
RESPONSABLE

Juan B. Girón Molina
C.I.P. 77120



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
PROGRAMA DE INVESTIGACION EN PASTOS Y GANADERIA
LABORATORIO DE SUELOS Y ANALISIS FOLIAR
Jr. Abraham Valdelomar N° 249 – Telf. 315936 966942996
Ayacucho – Perú

“Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junin y Ayacucho”

Región : Ayacucho
Provincia : Cangallo
Distrito : Totos
Localidad : CC. PP. Chacabamba - Parcela Demostrativa
Proyecto : “Evaluación del Coeficiente de Uniformidad de Sistema de Riego por Aspersión en Cultivo de Arveja (*Pisum sativum*) en Chacabamba, Ayacucho – 2023”.
Solicitante : Srta. Lyss Kelly Añanca Humán

HR: 00150

ANALISIS DE CARACTERIZACION

Muestra	Análisis mecánico (%)			Clase Textural	pH (H ₂ O) 1:2.5	C. E. (dS/m.) 1:1	CaCO ₃ (%)	M.O. (%)	Nt (%)	Elementos Disp. (ppm)		Cationes cambiables (Cmol(+)/Kg)						C. I. C. (Cmol(+)/Kg)
	Arena	Limo	Arcilla							P	K	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³	H ⁺	
01	44.2	19.1	36.7	Fr-Ar	7.64	0.24	0.0	1.82	0.09	4.8	182.6	4.96	1.28	0.93	0.58	0.0	0.0	14.5

Ayacucho, 15 de Abril del 2024.

LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS
PLANTA, AGUAS Y FERTILIZANTES
RESPONSABLE

Juan B. Giron Molina
C.I.P. 77120

Ao: Arenoso; AoFr: Arena franca; FrAo: Franco arenosos; Fr: Franco; FrL: Franco limoso; L: Limoso; FrArAo: Franco arcillo arenoso; FrAr: Franco arcilloso; FrAr: Franco arcillosos; FrArL: Franco arcillo limoso; ArAo: Arcillo arenoso; ArL: Arcillo limoso; Ar: Arcilloso

Anexo D: Datos Climatológicos del Área de Estudio

Tabla 1: Registro de precipitación total mensual (mm) - Santa Cruz de Hospicio

Estación: SANTA CRUZ DE HOSPICIO **Latitud** :13° 39' 25" S **Dpto.** Ayacucho
Parámetro: Precipitación Total Mensual (mm) **Longitud** : 73° 22' 15" W **Prov.** Cangallo
Código 113248 **Altitud** : 2933 msnm **Dist.** Paras
Tipo EAMA - Meteorológica

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
2015	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2016	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2017	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	47.80	84.20	32.10	S/D
2018	9.30	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2019	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	17.60	S/D	26.80	34.20	98.20	277.20
2020	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	17.60	S/D	26.80	34.20	98.20	277.20
2021	275.40	333.60	519.00	196.60	71.20	4.80	5.80	14.60	42.20	110.20	71.00	161.80
2022	276.00	218.70	241.40	99.00	3.00	7.40	7.40	5.60	5.60	13.60	34.40	259.80
2023	240.00	309.20	237.60	66.00	41.40	S/D	4.60	12.80	16.80	74.20	122.00	138.00
2024	220.80	270.80	240.40	80.20	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
Max.	276.00	333.60	519.00	196.60	71.20	7.40	17.60	14.60	47.80	110.20	122.00	277.20
Min.	9.30	218.70	237.60	66.00	3.00	4.80	4.60	5.60	5.60	13.60	32.10	138.00
Desv.	111.54	50.10	139.61	59.00	34.19	1.84	6.47	4.76	15.64	36.82	36.84	67.45
Prom.	204.30	283.08	309.60	110.45	38.53	6.10	10.60	11.00	27.67	58.43	75.98	222.80

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú

Tabla 2: Registro de precipitación total mensual (mm) - Pampa Cangallo

Estación: PAMPA CANGALLO **Latitud** 13°33'42.61" **Dpto.** Ayacucho
Parámetro: Precipitación Total Mensual (mm) **Longitud** 74°11'56" **Prov.** Cangallo
Código 4729D600 **Altitud** 3315 msnm. **Dist.** Los Morochucos
Tipo EMA - Meteorológica

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
2015	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2016	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2017	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2018	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2019	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	5.90	10.30	0.00	14.80	25.60	3.50	148.60
2020	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	5.90	10.30	0.00	14.80	25.60	3.50	148.60
2021	181.10	149.40	149.60	42.00	16.50	1.40	1.90	5.20	17.60	66.00	44.30	40.20
2022	142.50	161.00	148.50	45.70	2.00	2.50	0.10	3.10	9.20	3.80	5.20	113.80
2023	186.50	181.40	126.80	16.10	27.30	0.00	1.90	0.20	27.30	70.60	82.40	118.80
2024	168.10	138.50	74.70	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
Max.	186.50	181.40	149.60	45.70	27.30	5.90	10.30	5.20	27.30	70.60	82.40	148.60
Min.	142.50	138.50	74.70	16.10	2.00	0.00	0.10	0.00	9.20	3.80	3.50	40.20
Desv.	19.62	18.35	35.07	16.13	12.70	2.67	4.98	2.36	6.65	28.82	35.16	44.34
Prom.	169.55	157.58	124.90	34.60	15.27	3.14	4.90	1.70	16.74	38.32	27.78	114.00

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú

Tabla 3: Registro de precipitación total mensual (mm) - Huancasancos

Estación:	HUANCASANCOS	Latitud	13°55'1"	Dpto.	Ayacucho
Parámetro:	Precipitación Total Mensual (mm)	Longitud	74°20'1"	Prov.	Huancasancos
Código	100055	Altitud	3440 msnm.	Dist.	Sancos
Tipo	CO - Meteorológica				

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
2016	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2017	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2018	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2019	143.70	178.20	79.30	64.00	1.70	0.00	12.70	0.00	2.60	16.90	67.50	150.60
2020	110.50	167.20	51.10	0.00	12.20	31.40	14.70	245.40	0.00	0.00	0.00	0.00
2021	158.70	114.40	142.80	84.90	14.80	5.00	1.40	1.70	22.30	56.60	58.50	107.50
2022	160.60	129.00	126.00	46.70	S/D	1.80	S/D	S/D	0.20	0.00	5.60	109.70
2023	195.60	154.20	141.70	45.80	18.40	0.00	1.00	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2024	159.20	184.20	89.30	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
Max.	195.60	184.20	142.80	84.90	18.40	31.40	14.70	245.40	22.30	56.60	67.50	150.60
Min.	110.50	114.40	51.10	0.00	1.70	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Desv.	27.64	27.80	37.49	31.34	7.18	13.44	7.26	141.19	10.75	26.70	35.02	64.42
Prom.	154.72	154.53	105.03	48.28	11.78	7.64	7.45	82.37	6.28	18.38	32.90	91.95

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú

Tabla 4: Registro de Dirección del Viento - Pampa Cangallo

Estación:	PAMPA CANGALLO	Latitud	13°33'42.61"	Dpto.	Ayacucho
Parámetro:	Dirección del Viento	Longitud	74°11'56"	Prov.	Cangallo
Código	4729D600	Altitud	3315 msnm.	Dist.	Los Morochucos
Tipo	EMA - Meteorológica				

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
2015	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2016	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2017	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2018	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2019	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	215.93	223.34	216.46	198.89	203.09	208.87	201.90
2020	209.33	190.09	197.06	214.50	222.86	227.75	228.45	206.92	193.63	210.76	216.41	198.90
2021	189.96	200.28	196.88	215.77	216.43	226.59	223.49	221.84	208.19	222.58	218.01	211.03
2022	199.90	191.09	167.55	223.69	231.22	222.25	215.40	217.72	210.10	217.84	213.32	204.75
2023	202.31	192.35	167.55	222.29	220.74	229.92	222.84	223.94	214.33	202.25	203.49	196.84
2024	206.47	201.88	167.55	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
Max.	209.33	201.88	197.06	223.69	231.22	229.92	228.45	223.94	214.33	222.58	218.01	211.03
Min.	189.96	190.09	167.55	214.50	216.43	215.93	215.40	206.92	193.63	202.25	203.49	196.84
Desv.	7.46	5.51	16.12	4.60	6.21	5.54	4.68	6.58	8.51	8.94	5.90	5.55
Prom.	201.59	195.14	179.32	219.06	222.81	224.49	222.70	217.38	205.03	211.30	212.02	202.69

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú

Tabla 5: Registro de dirección del viento - Santa Cruz de Hospicio

Estación:	SANTA CRUZ DE HOSPICIO	Latitud	13° 39' 25" S	Dpto.	Ayacucho
Parámetro:	Dirección del Viento	Longitud	73° 22' 15" W	Prov.	Cangallo
Código	113248	Altitud	2933 msnm	Dist.	Paras
Tipo	EAMA - Meteorológica				

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
2015	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2016	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2017	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	158.49	161.65	166.05	188.42
2018	241.84	S/D	S/D	141.20	238.00	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2019	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	93.00	169.04	160.13	142.78	163.36	166.66	171.58
2020	154.18	174.26	157.93	158.01	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2021	181.66	167.04	172.69	163.89	158.28	167.47	168.39	167.37	152.50	173.80	184.18	170.68
2022	173.98	173.96	167.55	167.07	185.86	172.73	172.73	191.19	190.78	188.58	189.86	173.19
2023	163.36	158.12	167.55	146.67	162.94	174.83	184.05	182.41	156.84	155.30	167.64	156.23
2024	163.15	164.35	167.55	160.80	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
Max.	241.84	174.26	172.69	167.07	238.00	174.83	184.05	191.19	190.78	188.58	189.86	188.42
Min.	154.18	158.12	157.93	141.20	158.28	93.00	168.39	160.13	142.78	155.30	166.05	156.23
Desv.	31.91	6.81	5.36	10.17	36.53	39.46	7.25	14.10	18.11	13.03	11.28	11.42
Prom.	179.69	167.54	166.65	156.27	186.27	152.01	173.55	175.28	160.28	168.54	174.88	172.02

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú

Tabla 6: Registro de Humedad Relativa Mensual (%) - Santa Cruz de Hospicio

Estación:	SANTA CRUZ DE HOSPICIO					Latitud	:13° 39' 25" S			Dpto.	Ayacucho	
Parámetro:	Humedad Relativa Mensual (%)					Longitud	: 73° 22' 15" W			Prov.	Cangallo	
Código	113248					Altitud	: 2933 msnm			Dist.	Paras	
Tipo	EAMA - Meteorológica											
Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
2015	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2016	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2017	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	59.73	64.12	59.61	52.10
2018	79.93	S/D	S/D	75.80	24.00	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2019	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	50.00	50.91	40.39	58.88	56.08	75.24	80.57
2020	71.11	80.67	77.77	66.77	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2021	81.55	72.96	81.27	71.30	64.72	56.27	49.02	50.51	61.35	64.99	60.76	70.14
2022	76.41	79.32	82.10	65.10	50.76	48.98	48.98	44.23	43.95	41.02	45.98	70.96
2023	77.29	81.20	78.97	68.28	62.91	38.86	39.64	43.54	50.27	66.72	65.94	73.49
2024	80.78	78.97	82.06	76.31	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
Max.	81.55	81.20	82.10	76.31	64.72	56.27	50.91	50.51	61.35	66.72	75.24	80.57
Min.	71.11	72.96	77.77	65.10	24.00	38.86	39.64	40.39	43.95	41.02	45.98	52.10
Desv.	3.86	3.30	1.96	4.70	18.78	7.21	5.08	4.24	7.45	10.64	10.65	10.53
Prom.	77.84	78.62	80.44	70.59	50.60	48.53	47.14	44.67	54.84	58.59	61.51	69.45

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú

Tabla 7: Registro de Humedad Relativa Mensual (%) - Pampa Cangallo

Estación:	PAMPA CANGALLO					Latitud	13°33'42.61"			Dpto.	Ayacucho	
Parámetro:	Humedad Relativa Mensual (%)					Longitud	74°11'56"			Prov.	Cangallo	
Código	4729D600					Altitud	3315 msnm.			Dist.	Los Morochucos	
Tipo	EMA - Meteorológica											
Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
2015	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2016	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2017	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2018	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2019	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	50.72	49.97	41.59	55.19	55.03	68.33	71.56
2020	69.62	80.25	76.12	63.05	54.99	48.19	36.06	39.89	51.66	52.53	40.20	74.89
2021	77.23	69.48	79.02	71.71	61.32	51.57	45.19	45.02	56.47	54.24	53.53	59.94
2022	74.13	78.44	79.22	62.52	49.59	45.64	40.83	43.38	38.62	34.24	39.70	61.21
2023	71.08	79.04	74.04	62.61	61.33	40.14	42.68	40.51	54.33	56.33	58.00	70.11
2024	77.61	75.18	72.01	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
Max.	77.61	80.25	79.22	71.71	61.33	51.57	49.97	45.02	56.47	56.33	68.33	74.89
Min.	69.62	69.48	72.01	62.52	49.59	40.14	36.06	39.89	38.62	34.24	39.70	59.94
Desv.	3.58	4.34	3.13	4.50	5.66	4.60	5.16	2.11	7.28	9.18	12.20	6.61
Prom.	73.93	76.48	76.08	64.97	56.81	47.25	42.94	42.08	51.26	50.48	51.95	67.54

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú

Tabla 8: Registro de Humedad Relativa Mensual (%) - Huancasancos

Estación:	HUANCASANCOS					Latitud	13°55'1"			Dpto.	Ayacucho		
Parámetro:	Humedad Relativa Mensual (%)					Longitud	74°20'1"			Prov.	Huancasancos		
Código	100055					Altitud	3440 msnm.			Dist.	Sancos		
Tipo	CO - Meteorológica												
Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	
2016	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	
2017	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	
2018	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	
2019	72.18	78.33	74.98	72.32	63.35	55.55	60.79	58.24	59.51	57.89	67.74	70.17	
2020	71.25	78.36	78.66	58.54	63.72	67.42	57.39	73.48	0.00	0.00	0.00	0.00	
2021	75.42	73.70	80.04	75.80	73.14	65.25	64.54	64.41	66.78	65.79	62.39	71.04	
2022	74.76	72.84	75.61	S/D	S/D	69.36	S/D	S/D	64.40	62.85	61.39	70.29	
2023	69.95	74.49	75.16	72.53	70.46	59.89	60.76	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	
2024	81.76	72.11	79.35	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	
Max.	81.76	78.36	80.04	75.80	73.14	69.36	64.54	73.48	66.78	65.79	67.74	71.04	
Min.	69.95	72.11	74.98	58.54	63.35	55.55	57.39	58.24	0.00	0.00	0.00	0.00	
Desv.	4.24	2.73	2.30	7.67	4.90	5.68	2.92	7.67	31.93	31.26	32.04	35.25	
Prom.	74.22	74.97	77.30	69.80	67.67	63.49	60.87	65.38	47.67	46.63	47.88	52.88	

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú

Tabla 9: Registro de Temperaturas Máximas Mensuales (°C) - Santa Cruz de Hospicio

Estación:	SANTA CRUZ DE HOSPICIO					Latitud	:13° 39' 25" S			Dpto.	Ayacucho		
Parámetro:	Temperatura Máxima Mensual (°C)					Longitud	: 73° 22' 15" W			Prov.	Cangallo		
Código	113248					Altitud	: 2933 msnm			Dist.	Paras		
Tipo	EAMA - Meteorológica												
Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	
2015	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	
2016	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	
2017	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	14.32	14.27	15.16	12.55	
2018	8.55	S/D	S/D	13.00	13.40	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	
2019	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	11.20	13.32	15.02	14.84	15.12	13.94	13.56	
2020	13.46	13.19	13.54	13.64	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	
2021	12.57	13.65	12.75	13.75	13.55	13.42	14.07	14.63	14.75	15.75	15.07	14.44	
2022	12.94	13.00	12.78	14.43	14.30	13.56	13.56	15.26	15.24	16.45	17.09	13.78	
2023	13.85	13.18	13.42	14.33	14.03	15.09	16.24	15.97	15.53	15.92	15.70	15.62	
2024	14.89	14.83	14.59	15.24	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	
Max.	14.89	14.83	14.59	15.24	14.30	15.09	16.24	15.97	15.53	16.45	17.09	15.62	
Min.	8.55	13.00	12.75	13.00	13.40	11.20	13.32	14.63	14.32	14.27	13.94	12.55	
Desv.	2.19	0.74	0.75	0.77	0.42	1.60	1.33	0.56	0.47	0.84	1.14	1.14	
Prom.	12.71	13.57	13.42	14.06	13.82	13.32	14.30	15.22	14.93	15.50	15.39	13.99	

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú

Tabla 10: Registro de Temperaturas Máximas Mensuales (°C) - Pampa Cangallo

Estación:	PAMPA CANGALLO					Latitud	13°33'42.61"			Dpto.	Ayacucho		
Parámetro:	Temperatura Máxima Mensual (°C)					Longitud	74°11'56"			Prov.	Cangallo		
Código	4729D600					Altitud	3315 msnm.			Dist.	Los Morochucos		
Tipo	EMA - Meteorológica												
Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	
2015	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	
2016	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	
2017	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	
2018	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	
2019	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	18.91	18.54	19.48	18.93	19.48	19.01	18.77	
2020	17.99	17.67	17.94	18.56	18.90	19.18	19.90	20.75	19.31	19.25	22.00	18.45	
2021	17.25	18.18	16.40	17.42	17.80	18.58	18.88	19.78	19.26	20.65	19.78	19.25	
2022	17.94	17.65	17.46	18.76	19.14	18.16	19.33	19.92	21.87	22.30	22.44	19.82	
2023	18.34	17.02	17.32	18.76	18.11	19.53	20.58	20.95	20.87	20.97	20.45	19.51	
2024	18.87	18.70	19.23	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	
Max.	18.87	18.70	19.23	18.76	19.14	19.53	20.58	20.95	21.87	22.30	22.44	19.82	
Min.	17.25	17.02	16.40	17.42	17.80	18.16	18.54	19.48	18.93	19.25	19.01	18.45	
Desv.	0.59	0.63	1.04	0.64	0.64	0.53	0.81	0.64	1.27	1.24	1.46	0.55	
Prom.	18.08	17.84	17.67	18.38	18.49	18.87	19.44	20.18	20.05	20.53	20.74	19.16	

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú

Tabla 11: Registro de Temperaturas Máximas Mensuales (°C) - Huancasancos

Estación:	HUANCASANCOS					Latitud	13°55'1"			Dpto.	Ayacucho		
Parámetro:	Temperatura Máxima Mensual (°C)					Longitud	74°20'1"			Prov.	Huancasancos		
Código	100055					Altitud	3440 msnm.			Dist.	Sancos		
Tipo	CO - Meteorológica												
Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	
2016	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	
2017	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	
2018	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	
2019	20.96	19.85	19.85	20.47	21.12	21.31	20.75	20.83	23.26	22.89	22.68	21.78	
2020	20.46	20.52	20.59	22.10	21.34	22.71	23.47	20.75	0.00	0.00	0.00	0.00	
2021	19.86	20.12	19.45	20.30	20.88	20.93	21.16	21.87	21.37	22.66	22.86	21.64	
2022	19.92	19.27	19.64	S/D	S/D	20.25	S/D	S/D	23.06	23.73	23.63	21.41	
2023	20.00	19.00	19.17	20.27	19.67	20.84	21.49	22.43	21.97	22.95	22.56	22.09	
2024	20.99	19.08	20.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Max.	20.99	20.52	20.59	22.10	21.34	22.71	23.47	22.43	23.26	23.73	23.63	22.09	
Min.	19.86	19.00	19.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Desv.	0.52	0.62	0.50	9.33	9.30	8.70	9.77	9.63	11.60	11.91	11.85	11.22	
Prom.	20.36	19.64	19.79	16.63	16.60	17.67	17.37	17.18	14.94	15.37	15.29	14.49	

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú

Tabla 12: Registro de Temperaturas Mínimas Mensuales (°C) - Santa Cruz de Hospicio

Estación: **SANTA CRUZ DE HOSPICIO** Latitud :13° 39' 25" S Dpto. Ayacucho
 Parámetro: Temperatura Mínima Mensual (°C) Longitud : 73° 22' 15" W Prov. Cangallo
 Código 113248 Altitud : 2933 msnm Dist. Paras
 Tipo EAMA - Meteorológica

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
2015	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2016	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2017	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	1.92	1.64	2.04	2.57
2018	2.65	S/D	S/D	3.20	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2019	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	-1.48	-0.58	2.23	1.54	2.83	3.36
2020	3.65	4.42	3.95	2.19	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2021	3.21	2.60	3.22	1.65	0.03	-1.19	-1.75	-0.51	1.68	2.32	1.67	2.61
2022	2.63	3.29	3.73	1.55	-0.43	-2.01	-2.01	-0.75	-0.29	-0.54	1.18	1.83
2023	2.55	3.59	3.44	2.39	0.79	-2.32	-1.42	-0.14	4.02	3.39	3.17	4.57
2024	4.84	4.14	4.75	3.56	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
Max.	4.84	4.42	4.75	3.56	0.79	-1.19	-1.42	-0.14	4.02	3.39	3.17	4.57
Min.	2.55	2.60	3.22	1.55	-0.43	-2.32	-2.01	-0.75	-0.29	-0.54	1.18	1.83
Desv.	0.88	0.72	0.59	0.81	0.62	0.59	0.27	0.26	1.54	1.44	0.82	1.04
Prom.	3.25	3.61	3.82	2.42	0.13	-1.84	-1.66	-0.49	1.91	1.67	2.18	2.99

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú

Tabla 13: Registro de Temperaturas Mínimas Mensuales (°C) - Pampa Cangallo

Estación: **PAMPA CANGALLO** Latitud 13°33'42.61" Dpto. Ayacucho
 Parámetro: Temperatura Mínima Mensual (°C) Longitud 74°11'56" Prov. Cangallo
 Código 4729D600 Altitud 3315 msnm. Dist. Los Morochucos
 Tipo EMA - Meteorológica

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
2015	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2016	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2017	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2018	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2019	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	3.41	2.66	2.86	6.22	5.08	6.91	7.34
2020	7.19	7.37	7.72	5.98	4.40	3.16	2.05	3.82	5.44	5.47	5.73	6.49
2021	6.20	0.00	7.60	0.00	4.40	0.00	7.70	5.80	0.00	4.60	0.00	5.70
2022	6.75	7.03	6.85	5.44	3.30	2.04	2.67	3.46	4.39	4.12	5.74	5.99
2023	6.27	7.20	7.45	5.99	4.60	1.49	2.67	3.45	6.25	7.51	7.38	7.81
2024	8.51	7.78	7.28	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
Max.	8.51	7.78	7.72	5.99	4.60	3.41	7.70	5.80	6.25	7.51	7.38	7.81
Min.	6.20	0.00	6.85	0.00	3.30	0.00	2.05	2.86	0.00	4.12	0.00	5.70
Desv.	0.94	3.30	0.34	2.91	0.59	1.38	2.33	1.13	2.61	1.31	2.97	0.89
Prom.	6.98	5.87	7.38	4.35	4.17	2.02	3.55	3.88	4.46	5.35	5.15	6.67

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú

Tabla 14: Registro de Temperaturas Mínimas Mensuales (°C) - Huancasancos

Estación:	HUANCASANCOS	Latitud	13°55'1"	Dpto.	Ayacucho
Parámetro:	Temperatura Mínima Mensual (°C)	Longitud	74°20'1"	Prov.	Huancasancos
Código	100055	Altitud	3440 msnm.	Dist.	Sancos
Tipo	CO - Meteorológica				

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
2016	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2017	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2018	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2019	4.83	7.12	7.40	5.49	2.81	0.60	0.64	0.70	3.41	4.55	5.86	5.80
2020	4.87	6.21	6.40	S/D	0.00	S/D	S/D	S/D	0.00	0.00	0.00	0.00
2021	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	2.81	4.40
2022	4.68	5.14	5.36	S/D	S/D	-1.57	S/D	S/D	0.11	0.44	0.70	3.48
2023	3.82	4.71	4.49	3.79	2.17	-1.54	-0.20	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2024	7.01	5.10	7.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max.	7.01	7.12	7.40	5.49	2.81	0.60	0.64	0.70	3.41	4.55	5.86	5.80
Min.	3.82	4.71	4.49	0.00	0.00	-1.57	-0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Desv.	1.18	0.99	1.21	2.81	1.46	1.10	0.44	0.50	1.69	2.21	2.51	2.63
Prom.	5.04	5.66	6.14	3.10	1.24	-0.63	0.15	0.35	0.88	1.25	1.87	2.74

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú

Tabla 15: Registro de Temperaturas Medias Mensuales (°C) - Santa Cruz de Hospicio

Estación:	SANTA CRUZ DE HOSPICIO	Latitud	13°26'17.88"	Dpto.	Ayacucho
Parámetro:	Temperatura Media Mensual (°C)	Longitud	74°47'57.48"	Prov.	Cangallo
Código	113248	Altitud	4273 msnm.	Dist.	Paras
Tipo	EAMA - Meteorológica				

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
2015	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2016	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2017	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	8.12	7.95	8.60	7.56
2018	5.60	S/D	S/D	8.10	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2019	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	5.92	7.22	8.54	8.33	8.39	8.46
2020	8.56	8.80	8.74	7.91	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2021	7.89	8.13	7.99	7.70	6.79	6.11	6.16	7.06	8.22	9.03	8.37	8.52
2022	7.79	8.14	8.26	7.99	6.94	5.78	5.78	7.26	7.48	7.96	9.13	7.81
2023	8.20	8.39	8.43	8.36	7.41	6.38	7.41	7.91	9.78	9.65	9.44	10.09
2024	9.86	9.49	9.67	9.40	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
Max.	9.86	9.49	9.67	9.40	7.41	6.38	7.41	7.91	9.78	9.65	9.44	10.09
Min.	5.60	8.13	7.99	7.70	6.79	5.78	5.78	7.06	7.48	7.95	8.37	7.56
Desv.	1.39	0.57	0.65	0.61	0.32	0.30	0.75	0.38	0.85	0.74	0.48	0.99
Prom.	7.98	8.59	8.62	8.24	7.04	6.09	6.32	7.36	8.42	8.59	8.78	8.49

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú

Tabla 16: Registro de Temperaturas Medias Mensuales (°C) - Pampa Cangallo

Estación:	PAMPA CANGALLO	Latitud	13°33'42.61"	Dpto.	Ayacucho
Parámetro:	Temperatura Media Mensual (°C)	Longitud	74°11'56"	Prov.	Cangallo
Código	4729D600	Altitud	3315 msnm.	Dist.	Los Morochucos
Tipo	EMA - Meteorológica				

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
2015	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2016	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2017	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2018	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2019	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	11.16	10.60	11.17	12.58	12.28	12.96	13.05
2020	12.59	12.52	12.83	12.27	11.65	11.17	10.98	12.29	12.37	12.36	13.87	12.47
2021	11.73	9.09	12.00	8.71	11.10	9.29	13.29	12.79	9.63	12.63	9.89	12.47
2022	12.34	12.34	12.15	12.10	11.22	10.10	11.00	11.69	13.13	13.21	14.09	12.91
2023	12.30	12.11	12.38	12.37	11.35	10.51	11.63	12.20	13.56	14.24	13.92	13.66
2024	13.69	13.24	13.25	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
Max.	13.69	13.24	13.25	12.37	11.65	11.17	13.29	12.79	13.56	14.24	14.09	13.66
Min.	11.73	9.09	12.00	8.71	11.10	9.29	10.60	11.17	9.63	12.28	9.89	12.47
Desv.	0.72	1.60	0.51	1.77	0.24	0.79	1.07	0.62	1.54	0.81	1.76	0.49
Prom.	12.53	11.86	12.52	11.36	11.33	10.45	11.50	12.03	12.25	12.94	12.94	12.91

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú

Tabla 17: Registro de Temperaturas Medias Mensuales (°C) - Huancasancos

Estación:	HUANCASANCOS	Latitud	13°55'1"	Dpto.	Ayacucho
Parámetro:	Temperatura Media Mensual (°C)	Longitud	74°20'1"	Prov.	Cangallo
Código	100055	Altitud	3440 msnm.	Dist.	Los Morochucos
Tipo	CO - Meteorológica				

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
2016	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2017	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2018	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2019	12.89	13.48	13.63	12.98	11.96	10.96	10.69	10.77	13.33	13.72	14.27	13.79
2020	12.67	13.37	13.49	11.05	10.67	11.36	11.74	10.37	0.00	0.00	0.00	0.00
2021	9.93	10.06	9.72	10.15	10.44	10.46	10.58	10.94	10.68	11.33	12.84	13.02
2022	12.30	12.20	12.50	S/D	S/D	9.34	S/D	S/D	11.58	12.08	12.16	12.45
2023	11.91	11.85	11.83	12.03	10.92	9.65	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2024	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
Max.	12.89	13.48	13.63	12.98	11.96	11.36	11.74	10.94	13.33	13.72	14.27	13.79
Min.	9.93	10.06	9.72	10.15	10.44	9.34	10.58	10.37	0.00	0.00	0.00	0.00
Desv.	1.18	1.39	1.59	1.22	0.67	0.85	0.64	0.29	6.03	6.27	6.60	6.57
Prom.	11.94	12.19	12.23	11.55	11.00	10.35	11.00	10.69	8.90	9.28	9.82	9.81

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú

Tabla 18: Registro de Velocidad del Viento (m/seg) - Santa Cruz de Hospicio

Estación: SANTA CRUZ DE HOSPICIO **Latitud** :13° 39' 25" S **Dpto.** Ayacucho
Parámetro: Velocidad del Viento **Longitud** : 73° 22' 15" W **Prov.** Cangallo
Código 113248 **Altitud** : 2933 msnm **Dist.** Paras
Tipo EAMA - Meteorológica

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
2015	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2016	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2017	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	2.55	2.46	2.32	2.41
2018	2.15	S/D	S/D	1.98	5.00	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2019	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	4.10	2.53	3.28	2.90	2.74	2.01	2.12
2020	2.31	2.20	2.41	2.37	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2021	2.29	2.58	2.27	2.11	2.27	2.12	2.62	2.85	2.82	2.43	2.39	2.24
2022	2.27	2.29	2.26	2.37	2.48	2.37	2.37	2.94	2.94	3.02	3.14	2.49
2023	2.35	2.39	2.52	2.36	2.34	2.82	3.01	2.99	3.35	2.79	2.60	2.64
2024	2.55	2.63	2.39	2.42	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
Max.	2.55	2.63	2.52	2.42	5.00	4.10	3.01	3.28	3.35	3.02	3.14	2.64
Min.	2.15	2.20	2.26	1.98	2.27	2.12	2.37	2.85	2.55	2.43	2.01	2.12
Desv.	0.13	0.19	0.11	0.18	1.32	0.88	0.27	0.18	0.29	0.25	0.42	0.20
Prom.	2.32	2.42	2.37	2.27	3.02	2.85	2.63	3.02	2.92	2.69	2.49	2.38

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú

Tabla 19: Registro de Velocidad del Viento (m/seg) - Pampa Cangallo

Estación: PAMPA CANGALLO **Latitud** 13°33'42.61" **Dpto.** Ayacucho
Parámetro: Velocidad del Viento **Longitud** 74°11'56" **Prov.** Cangallo
Código 4729D600 **Altitud** 3315 msnm. **Dist.** Los Morochucos
Tipo EMA - Meteorológica

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
2015	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2016	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2017	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2018	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2019	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	1.57	1.59	1.67	1.69	1.73	1.55	1.43
2020	1.45	1.37	1.44	1.46	1.50	1.55	1.67	1.75	1.74	1.88	1.97	1.53
2021	1.63	1.64	1.47	1.41	1.56	1.54	1.73	1.72	1.77	1.69	1.62	1.59
2022	1.57	1.59	1.52	1.59	1.66	1.70	1.76	1.84	1.94	2.25	2.30	2.01
2023	1.81	1.57	1.65	1.61	1.61	1.72	1.75	1.84	1.80	1.96	1.84	1.67
2024	1.57	1.68	1.49	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
Max.	1.81	1.68	1.65	1.61	1.66	1.72	1.76	1.84	1.94	2.25	2.30	2.01
Min.	1.45	1.37	1.44	1.41	1.50	1.54	1.59	1.67	1.69	1.69	1.55	1.43
Desv.	0.13	0.12	0.08	0.10	0.07	0.09	0.07	0.07	0.09	0.22	0.30	0.22
Prom.	1.60	1.57	1.51	1.52	1.58	1.62	1.70	1.76	1.79	1.90	1.86	1.65

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú

Estación:	:Parcela en Estudio	Latitud	: 13°35'47.10"S	Dpto.	: Ayacucho
Parámetro:	: Precipitación Mensual	Longitud	: 74°30'51.38"W	Prov.	: Cangallo
		Altitud	3180.180 msnm.	Dist.	: Totos

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
2000	121.6	103.1	155.9	31.5	12.8	10.0	2.5	14.8	4.7	78.5	23.5	106.3	665.2
2001	177.8	97.1	198.0	42.5	27.8	3.7	12.2	9.3	14.8	46.3	55.3	28.5	713.3
2002	128.7	136.9	119.1	29.8	9.3	5.6	42.8	6.6	50.8	36.6	111.2	197.5	874.9
2003	148.7	137.7	126.4	40.0	9.8	0.0	0.0	17.2	22.3	39.0	36.0	149.4	726.5
2004	57.7	161.3	126.2	46.6	2.2	6.4	10.9	11.2	31.1	35.1	54.0	132.1	674.8
2005	97.4	72.0	134.9	30.6	0.0	0.0	1.9	19.3	41.8	23.4	20.5	141.7	583.5
2006	189.0	121.1	156.0	54.2	1.4	2.5	0.0	14.2	28.7	36.0	48.5	72.0	723.6
2007	100.0	97.1	181.7	83.5	11.6	2.0	3.1	0.0	24.1	43.5	36.8	116.0	699.4
2008	213.5	166.5	81.2	22.8	5.6	5.7	0.7	3.8	13.0	37.9	53.5	84.8	689.0
2009	102.3	168.0	124.7	56.6	2.8	0.0	14.4	0.0	12.7	42.4	91.8	75.6	691.3
2010	216.5	114.6	98.3	32.9	4.2	2.0	0.0	2.4	8.0	41.5	17.6	158.8	696.8
2011	291.4	228.3	138.1	93.8	7.1	1.2	10.0	2.4	32.4	18.3	67.3	106.7	997.0
2012	123.9	254.4	169.0	152.3	3.2	8.6	2.3	0.7	12.9	21.3	6.6	195.1	950.3
2013	122.2	185.5	124.3	1.8	27.6	12.7	6.1	10.4	16.5	46.2	40.2	145.5	739.0
2014	174.0	114.7	121.2	49.0	11.7	7.1	13.7	11.4	49.9	74.7	35.3	100.5	763.2
2015	165.7	124.2	159.6	39.2	26.6	2.2	8.9	16.4	16.1	32.0	47.6	82.7	721.2
2016	45.3	132.7	81.7	26.4	8.1	11.2	10.7	8.2	22.4	26.3	10.7	79.4	463.1
2017	280.9	194.9	147.1	52.0	11.6	5.9	12.2	7.2	26.5	6.7	51.2	36.7	832.9
2018	163.6	110.6	148.6	53.7	11.0	13.9	22.0	8.8	15.6	4.1	0.0	45.0	596.9
2019	118.6	165.6	95.3	48.4	1.7	3.9	10.0	0.0	9.6	16.4	24.4	137.7	631.6
2020	108.4	146.8	94.4	2.5	11.0	14.5	11.4	116.5	9.1	12.2	0.0	91.7	618.5
2021	174.5	130.1	145.6	63.3	12.7	3.1	1.1	0.4	19.4	63.5	51.4	66.4	731.5
2022	172.5	145.6	142.7	47.8	1.6	2.2	0.3	0.3	5.3	0.0	3.6	110.8	632.7
2023	197.9	169.4	134.5	31.2	22.7	0.0	0.4	4.8	17.5	67.3	65.0	127.4	838.1
2024	164.9	157.3	67.8	37.9	7.3	0.7	2.5	12.5	21.0	14.3	65.9	57.6	609.7
MEDIA	154.3	145.4	130.9	46.8	10.1	5.0	8.0	12.0	21.0	34.5	40.7	105.8	714.6
D.S	59.3	41.7	32.0	30.0	8.3	4.5	9.4	22.6	12.5	21.1	27.9	45.0	116.8
MAX	291.4	254.4	198.0	152.3	27.8	14.5	42.8	116.5	50.8	78.5	111.2	197.5	997.0
MIN	45.3	72.0	67.8	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	4.7	0.0	0.0	28.5	463.1

Tabla 21: Registro de velocidades del viento mensual (m/seg) - Parcela en Estudio

Estación: :Parcela en Estudio
Parámetro: : velocidad del viento

Latitud : 13°35'47.10"S
Longitud : 74°30'51.38"W
Altitud : 3180.180 msnm.

Dpto. : Ayacucho
Prov. : Cangallo
Dist. : Totos

ESTACIONES	Altitud (msnm)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Santa cruz de Hospicio	2933	2.3	2.4	2.4	2.3	3.0	2.9	2.6	3.0	2.9	2.7	2.5	2.4
Pampa Cangallo	3315	1.6	1.6	1.5	1.5	1.6	1.6	1.7	1.8	1.8	1.9	1.9	1.6
Promedio	3440	2.0	2.0	1.9	1.9	2.3	2.2	2.2	2.4	2.4	2.3	2.2	2.0

Tabla 22: Temperaturas Máximas Mensual (°C) - Parcela en Estudio

Estación: :Parcela en Estudio
Parámetro: : Temperaturas Máximas

Latitud : 13°35'47.10"S
Longitud : 74°30'51.38"W
Altitud : 3180.180 msnm.

Dpto. : Ayacucho
Prov. : Cangallo
Dist. : Totos

ESTACIONES	Altitud (msnm)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Santa cruz de Hospicio	2,933.00	12.7	13.6	13.4	14.1	13.8	13.3	14.3	15.2	14.9	15.5	15.4	14.0
Pampa Cangallo	3,315.00	18.1	17.8	17.7	18.4	18.5	18.9	19.4	20.2	20.0	20.5	20.7	19.2
Huanca sancos	3,440.00	20.4	19.6	19.8	16.6	16.6	17.7	17.4	17.2	14.9	15.4	15.3	14.5
Parcela demostrativ:	3180	16.5	16.5	16.3	16.0	16.1	16.2	16.6	17.2	16.6	17.0	16.9	15.6131

Tabla 23: Temperaturas Mínimas mensual (°C) - Parcela en Estudio

Estación: :Parcela en Estudio
Parámetro: : Temperaturas Mínimas

Latitud : 13°35'47.10"S
Longitud : 74°30'51.38"W
Altitud : 3180.180 msnm.

Dpto. : Ayacucho
Prov. : Cangallo
Dist. : Totos

ESTACIONES	Altitud (msnm)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Santa cruz de Hospicio	2,933.00	3.3	3.6	3.8	2.4	0.1	-1.8	-1.7	-0.5	1.9	1.7	2.2	3.0
Pampa Cangallo	3,315.00	7.0	5.9	7.4	4.4	4.2	2.0	3.6	3.9	4.5	5.4	5.2	6.7
Huanca sancos	3,440.00	5.0	5.7	6.1	3.1	1.2	-0.6	0.1	0.4	0.9	1.2	1.9	2.7
Parcela demostrativ:	3180	4.9	4.9	5.5	3.2	1.7	-0.4	0.3	1.2	2.4	2.6	3.1	4.1

Tabla 24: Humedad Relativa Media mensual (m/seg) - Parcela en Estudio

Estación: :Parcela en Estudio
Parámetro: : Humedad Relativa

Latitud : 13°35'47.10"S
Longitud : 74°30'51.38"W
Altitud : 3180.180 msnm.

Dpto. : Ayacucho
Prov. : Cangallo
Dist. : Totos

ESTACIONES	Altitud (msnm)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Santa cruz de Hospicio	2,933.00	77.8	78.6	80.4	70.6	50.6	48.5	47.1	44.7	54.8	58.6	61.5	69.5
Pampa Cangallo	3,315.00	73.9	76.5	76.1	65.0	56.8	47.3	42.9	42.1	51.3	50.5	52.0	67.5
Huanca sancos	3,440.00	74.2	75.0	77.3	69.8	67.7	63.5	60.9	65.4	47.7	46.6	47.9	52.9
Parcela demostrativ:	3180	75.6	77.1	78.3	68.5	57.0	52.0	49.5	49.3	51.9	53.1	55.2	64.6

Tabla 25: Regionalización de Temperatura media mensual (°C) - Parcela en Estudio

Estación: :Parcela en Estudio
Parámetro: : Temperatura media mensual

Latitud : 13°35'47.10"S
Longitud : 74°30'51.38"W
Altitud : 3180.180 msnm.

Dpto. : Ayacucho
Prov. : Cangallo
Dist. : Totos

ESTACIONES	Altitud (msnm)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Santa cruz de Hospicio	2,933.00	8.0	8.6	8.6	8.2	7.0	6.1	6.3	7.4	8.4	8.6	8.8	8.5
Pampa Cangallo	3,315.00	12.5	11.9	12.5	11.4	11.3	10.4	11.5	12.0	12.3	12.9	12.9	12.9
Huanca sancos	3,440.00	11.9	12.2	12.2	11.6	11.0	10.4	11.0	10.7	8.9	9.3	9.8	9.8
Parcela demostrativ:	3180	10.5	10.4	10.9	10.0	9.4	8.5	9.2	9.7	9.8	10.0	10.3	10.1

Anexo E: Lamina y Velocidad de Infiltración

Tabla 26: Datos de velocidad de Infiltración Obtenidos en Campo de Prueba

Ubicación :	Paccopampa	Observador :	Bach. Lyss Kelly Añanca Huamán
Fecha :	17/04/2024	N° Prueba :	1
Método :	Cilindros infiltrómetros	Observación :	Suelo totalmente seco
Textura :	Fr - Ar		

Hora de Muestreo			Hora	Tiempo		Lectura	
Hora	Min	Seg	Min	Parcial	Acumulado	Inicial (cm)	Cambio (cm)
4	10	0	970.00	0.00	--	28.50	
4	11	0	971.00	1.00	1.00	14.00	
4	12	0	972.00	1.00	2.00	3.00	23.50
4	13	0	973.00	1.00	3.00	13.50	
4	14	0	974.00	1.00	4.00	4.50	21.00
4	15	0	975.00	1.00	5.00	15.50	
4	16	0	976.00	1.00	6.00	10.50	20.00
4	17	0	977.00	1.00	7.00	15.60	
4	18	0	978.00	1.00	8.00	11.40	
4	19	0	979.00	1.00	9.00	8.00	24.00
4	20	0	980.00	1.00	10.00	21.80	
4	22	0	982.00	2.00	12.00	20.20	
4	24	0	984.00	2.00	14.00	18.40	
4	26	0	986.00	2.00	16.00	16.80	
4	28	0	988.00	2.00	18.00	15.30	
4	30	0	990.00	2.00	20.00	14.00	
4	35	0	995.00	5.00	25.00	10.00	20.70
4	40	0	1000.00	5.00	30.00	16.80	
4	45	0	1005.00	5.00	35.00	13.00	19.00
4	50	0	1010.00	5.00	40.00	15.50	
4	55	0	1015.00	5.00	45.00	12.50	22.10
5	60	0	1020.00	5.00	50.00	19.30	
5	10	0	1030.00	10.00	60.00	15.00	30.00
5	20	0	1040.00	10.00	70.00	26.50	
5	30	0	1050.00	10.00	80.00	23.30	
5	40	0	1060.00	10.00	90.00	20.30	
5	50	0	1070.00	10.00	100.00	17.50	
6	0	0	1080.00	10.00	110.00	15.00	
6	10	0	1090.00	10.00	120.00	12.60	
6	20	0	1100.00	10.00	130.00	11.00	

Tabla 27: Datos de prueba de infiltración

Sector	:	Paccopampa	Observador	:	Bach. Lyss Kelly Añanca H.
Fecha	:	17/04/2024	N° Prueba	:	1
Método	:	Cilindros infiltrómetros	Observación	:	Suelo totalmente seco
Textura	:	Fr - Ar			

Hora	Tiempo (min)		Lectura		Lamina infiltrada (cm)		Velocidad de infiltración (cm/hr)	
	Parcial	Acumulado	Inicial	Cambio	Parcial	Acumulada	Instantánea	Promedio
4.10	0	--	28.50		--	--	--	--
4.11	1	1	14.00		14.50	14.50	870.00	870.00
4.12	1	2	3.00	23.5	11.00	25.50	660.00	765.00
4.13	1	3	13.50		10.00	35.50	600.00	710.00
4.14	1	4	4.50	21.0	9.00	44.50	540.00	667.50
4.15	1	5	15.50		5.50	50.00	330.00	600.00
4.16	1	6	10.50	20.0	5.00	55.00	300.00	550.00
4.17	1	7	15.60		4.40	59.40	264.00	509.14
4.18	1	8	11.40		4.20	63.60	252.00	477.00
4.19	1	9	8.00	24.0	3.40	67.00	204.00	446.67
4.20	1	10	21.80		2.20	69.20	132.00	415.20
4.22	2	12	20.20		1.60	70.80	48.00	354.00
4.24	2	14	18.40		1.80	72.60	54.00	311.14
4.26	2	16	16.80		1.60	74.20	48.00	278.25
4.28	2	18	15.30		1.50	75.70	45.00	252.33
4.30	2	20	14.00		1.30	77.00	39.00	231.00
4.35	5	25	10.00	20.7	4.00	81.00	48.00	194.40
4.40	5	30	16.80		3.90	84.90	46.80	169.80
4.45	5	35	13.00	19.0	3.80	88.70	45.60	152.06
4.50	5	40	15.50		3.50	92.20	42.00	138.30
4.55	5	45	12.50	22.1	3.00	95.20	36.00	126.93
5.00	5	50	19.30		2.80	98.00	33.60	117.60
5.10	10	60	15.00	30.0	4.30	102.30	25.80	102.30
5.20	10	70	26.50		3.50	105.80	21.00	90.69
5.30	10	80	23.30		3.20	109.00	19.20	81.75
5.40	10	90	20.30		3.00	112.00	18.00	74.67
5.50	10	100	17.50		2.80	114.80	16.80	68.88
6.00	10	110	15.00		2.50	117.30	15.00	63.98
6.10	10	120	12.60		2.40	119.70	14.40	59.85
6.20	10	130	11.00		1.60	121.30	9.60	55.98

Figura 20: Prueba de infiltración

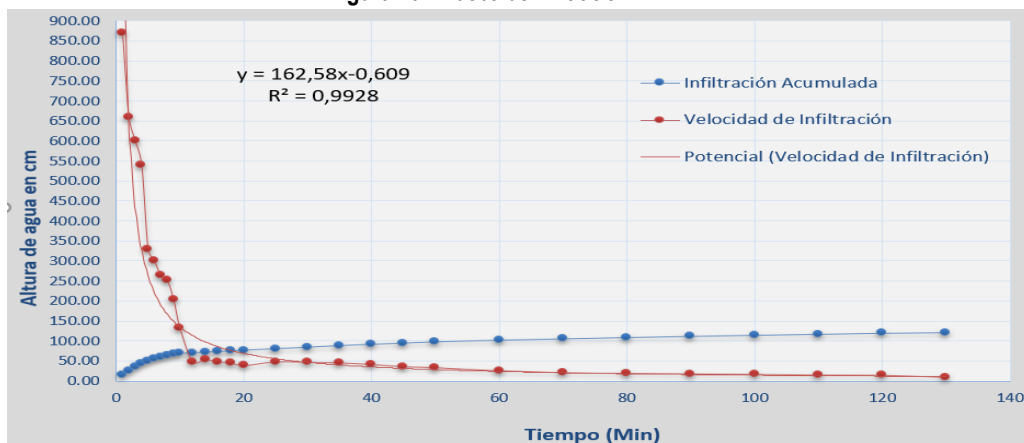


Tabla 28: Cálculo de la función de la lámina infiltrada acumulada (Icum)

Tiempo acumulado (min)	Lamina infiltrada acumulada (cm)	LogTo=X	Log(Icum)=Y	XY	X^2	Y^2
To	Icum					
1	14.5	--	1.16	--	--	--
2	25.5	0.30	1.41	0.42	0.09	1.98
3	35.5	0.48	1.55	0.74	0.23	2.40
4	44.5	0.60	1.65	0.99	0.36	2.72
5	50.0	0.70	1.70	1.19	0.49	2.89
6	55.0	0.78	1.74	1.35	0.61	3.03
7	59.4	0.85	1.77	1.50	0.71	3.15
8	63.6	0.90	1.80	1.63	0.82	3.25
9	67.0	0.95	1.83	1.74	0.91	3.33
10	69.2	1.00	1.84	1.84	1.00	3.39
12	70.8	1.08	1.85	2.00	1.16	3.42
14	72.6	1.15	1.86	2.13	1.31	3.46
16	74.2	1.20	1.87	2.25	1.45	3.50
18	75.7	1.26	1.88	2.36	1.58	3.53
20	77.0	1.30	1.89	2.45	1.69	3.56
25	81.0	1.40	1.91	2.67	1.95	3.64
30	84.9	1.48	1.93	2.85	2.18	3.72
35	88.7	1.54	1.95	3.01	2.38	3.79
40	92.2	1.60	1.96	3.15	2.57	3.86
45	95.2	1.65	1.98	3.27	2.73	3.92
50	98.0	1.70	1.99	3.38	2.89	3.96
60	102.3	1.78	2.01	3.57	3.16	4.04
70	105.8	1.85	2.02	3.74	3.40	4.10
80	109.0	1.90	2.04	3.88	3.62	4.15
90	112.0	1.95	2.05	4.00	3.82	4.20
100	114.8	2.00	2.06	4.12	4.00	4.24
110	117.3	2.04	2.07	4.22	4.17	4.28
120	119.7	2.08	2.08	4.32	4.32	4.32
130	121.3	2.11	2.08	4.41	4.47	4.34
Sumatoria		37.63	53.93	73.19	58.08	100.18

Ecuación de la lamina infiltrada $Icum = AT^B$; $A = Antilog (A_0)$ y $B = \frac{n * (\sum x_i y_i) - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x)^2}$

Donde:

$$A_0 = \frac{(\sum y_i) - B * \sum x_i}{n} \quad r^2 = \frac{(\sum x_i y_i - \frac{\sum x_i \sum y_i}{n})^2}{(\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}) * (\sum y_i^2 - \frac{(\sum y_i)^2}{n})}$$

Ao= 1.4095631

B= 0.346787666

A= 25.67811269

r2= 0.878912825

0.347

Infiltración acumulada

Icum= 25.678 T

Tabla 29: Cálculo de la función de la velocidad infiltración (I)

Tiempo acumulado (min)	Lamina infiltrada acumulada (cm/hr)	LogTo=X	Log(Icum)=Y	XY	X^2	Y^2
To	Icum					
1	870.0	--	2.94	--	--	8.64
2	660.0	0.30	2.82	0.85	0.09	7.95
3	600.0	0.48	2.78	1.33	0.23	7.72
4	540.0	0.60	2.73	1.65	0.36	7.47
5	330.0	0.70	2.52	1.76	0.49	6.34
6	300.0	0.78	2.48	1.93	0.61	6.14
7	264.0	0.85	2.42	2.05	0.71	5.86
8	252.0	0.90	2.40	2.17	0.82	5.77
9	204.0	0.95	2.31	2.20	0.91	5.33
10	132.0	1.00	2.12	2.12	1.00	4.50
12	48.0	1.08	1.68	1.81	1.16	2.83
14	54.0	1.15	1.73	1.99	1.31	3.00
16	48.0	1.20	1.68	2.02	1.45	2.83
18	45.0	1.26	1.65	2.08	1.58	2.73
20	39.0	1.30	1.59	2.07	1.69	2.53
25	48.0	1.40	1.68	2.35	1.95	2.83
30	46.8	1.48	1.67	2.47	2.18	2.79
35	45.6	1.54	1.66	2.56	2.38	2.75
40	42.0	1.60	1.62	2.60	2.57	2.63
45	36.0	1.65	1.56	2.57	2.73	2.42
50	33.6	1.70	1.53	2.59	2.89	2.33
60	25.8	1.78	1.41	2.51	3.16	1.99
70	21.0	1.85	1.32	2.44	3.40	1.75
80	19.2	1.90	1.28	2.44	3.62	1.65
90	18.0	1.95	1.26	2.45	3.82	1.58
100	16.8	2.00	1.23	2.45	4.00	1.50
110	15.0	2.04	1.18	2.40	4.17	1.38
120	14.4	2.08	1.16	2.41	4.32	1.34
130	9.6	2.11	0.98	2.08	4.47	0.96
Sumatoria		37.63	53.39	60.34	58.08	98.90

Ao= 3.095745023

B= -0.966898112

A= 1246.651383

r2= 0.315612792

-0.967

Velocidad de Infiltración

Icum= **1246.651**

T

Tiempo básico

Tb= 580.139

min

Infiltración básica

Ib= 2.653

cm/hr

Figura 21: Función de la velocidad de infiltración y acumulada

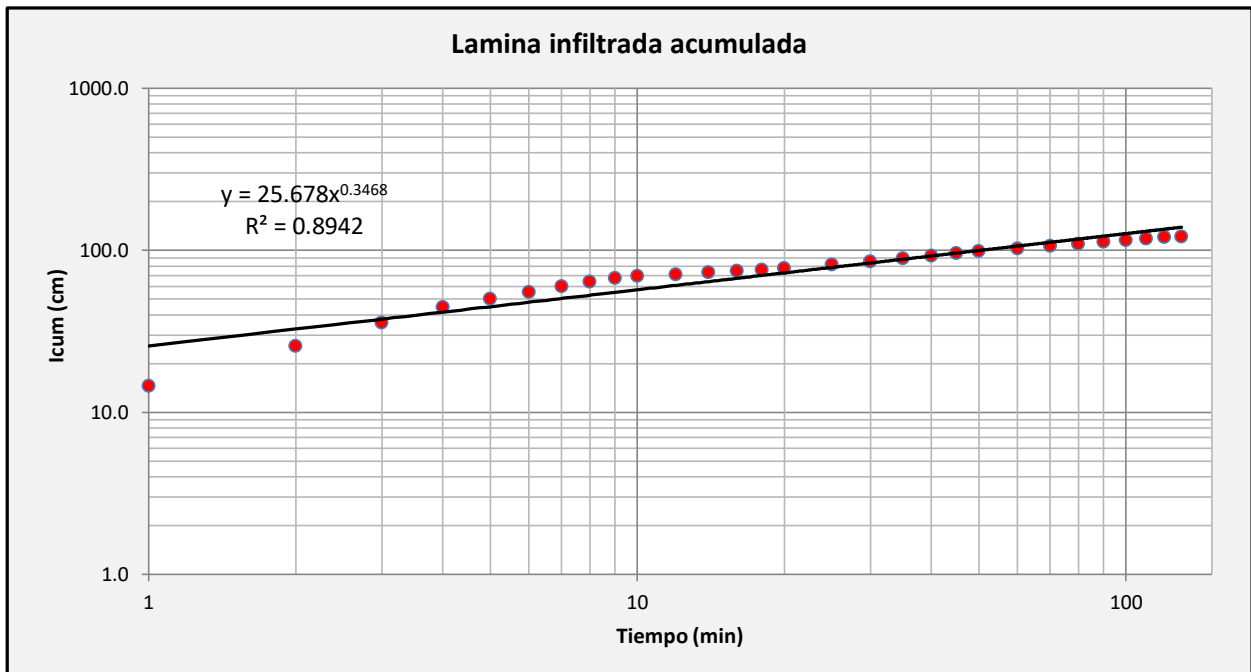
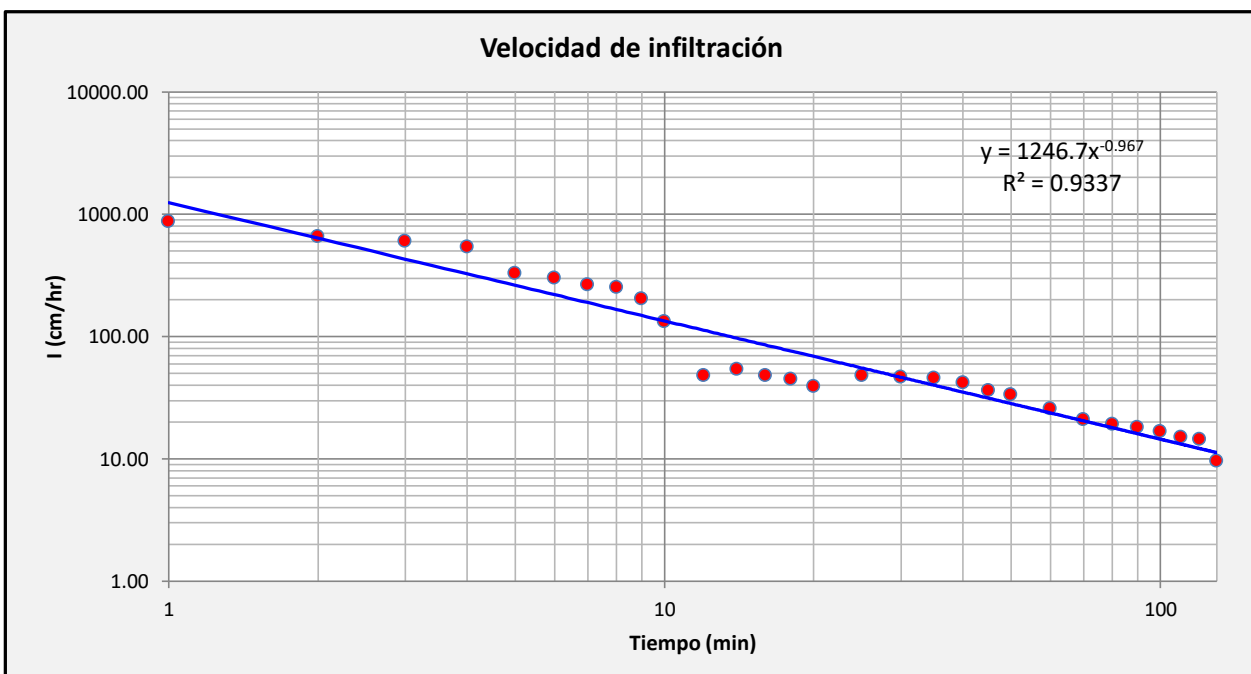


Figura 21: Velocidad de infiltración



**Anexo F: Ensayos Realizados
para la determinación de
Coeficiente de Uniformidad por
Christiansen**

Tabla 30: Datos recolectados en campo en marco de riego de 6 aspersores para el cálculo de coeficiente de uniformidad de Christiansen - Prueba I

Numero de Prueba	Prueba I	Descarga del Aspersor	1189 lph	Cultivo	Arveja
Fecha	22/09/2024	Altura del Elevador	1.50 cm	Área Evaluada	512 m2
Comienzo de Prueba	07.00 Am	Espacio entre Pluviómetros	3x3m		
Duración	110 min	Marco de Riego	16x16m		
Fin de la Prueba	08.50 Am				

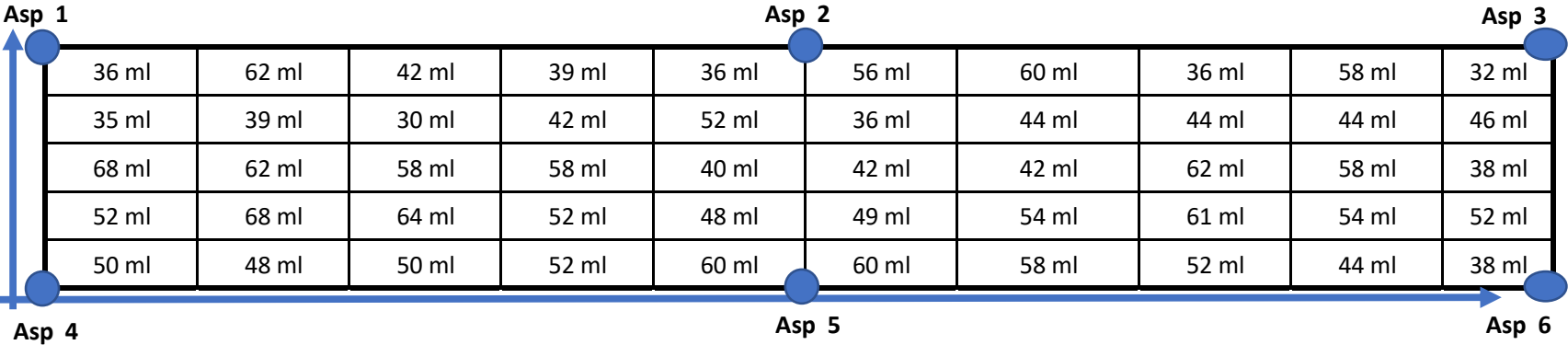
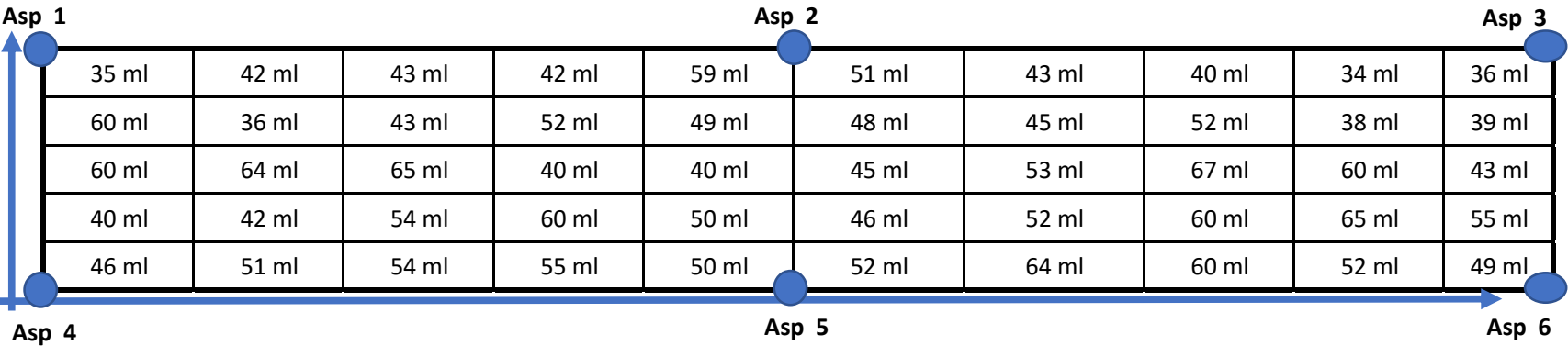


Tabla 31: Cálculo de Coeficiente de uniformidad por
Christiansen - Prueba I

Recipiente	Cantidad (ml)	xi-X		
1	50.00	19.26		
2	52.00	17.26		
3	68.00	14.26		
4	35.00	13.26		
5	36.00	13.26		
6	48.00	13.26		
7	68.00	13.26		
8	62.00	11.26		
9	39.00	11.26		
10	62.00	10.26		
11	50.00	10.26		
12	64.00	9.26		
13	58.00	7.26		
14	30.00	7.26		
15	42.00	7.26		
16	52.00	7.26		
17	52.00	5.26		
18	58.00	5.26		
19	42.00	5.26		
20	39.00	5.26		
21	60.00	3.26		
22	48.00	1.26		
23	40.00	1.26		
24	52.00	0.26		
25	36.00	0.74		
26	60.00	0.74		
27	49.00	2.74		
28	42.00	2.74		
29	36.00	2.74		
30	56.00	2.74		
31	58.00	2.74		
32	54.00	2.74		
33	42.00	4.74		
34	44.00	4.74		
35	60.00	6.74		
36	52.00	8.74		
37	61.00	8.74		
38	62.00	8.74		
39	44.00	8.74		
40	36.00	8.74		
41	44.00	10.74		
42	54.00	10.74		
43	58.00	10.74		
44	44.00	11.74		
45	58.00	12.74		
46	38.00	12.74		
47	52.00	12.74		
48	38.00	14.74		
49	46.00	18.74		
50	32.00	18.74		
Promedio	49.26	8.49		
Coeficiente de Uniformidad por Christiansen - Prueba I			82.77%	
			MAX - MIN	
			Máximo (ml)	68.00
			Mínimo (ml)	30.00
			Desv. Standard	9.97
			Error de media	1.41
			N=	50
			N25%	13
			Medias	
			Total de datos	49.26
			del 25% inferior	36.69
			$\Sigma(xi-X)/n$	8.49
			Medidas de distribución	
			Coeficiente de Uniformidad (%)	82.77
			Distribución de Uniformidad (%)	74.49
			SC	1.64

Tabla 32: Datos recolectados en campo en marco de riego de 6 aspersores para el cálculo de coeficiente de uniformidad de Christiansen - Prueba II

Numero de Prueba	Prueba II	Descarga del Aspersor	1189 lph	Cultivo	Arveja
Fecha	22/09/2024	Altura del Elevador	1.50 cm	Área Evaluada	512 m2
Comienzo de Prueba	13.00	Espacio entre Pluviómetros	3x3m		
Duración	110 Min	Marco de Riego	16x16m		
Fin de la Prueba	14.50				



Recipiente	Cantidad (ml)	xi-X
1	46.00	15.62
2	40.00	14.62
3	60.00	13.62
4	60.00	13.62
5	35.00	11.62
6	51.00	10.62
7	42.00	9.62
8	64.00	9.62
9	36.00	9.62
10	42.00	9.62
11	54.00	7.62
12	54.00	7.62
13	65.00	7.62
14	43.00	6.62
15	43.00	6.62
16	55.00	6.62
17	60.00	6.62
18	40.00	4.62
19	52.00	4.62
20	42.00	3.62
21	50.00	3.62
22	50.00	1.62
23	40.00	0.62
24	49.00	0.62
25	59.00	0.38
26	52.00	0.38
27	46.00	1.38
28	45.00	1.38
29	48.00	2.38
30	51.00	2.38
31	64.00	2.38
32	52.00	2.38
33	53.00	2.38
34	45.00	3.38
35	43.00	4.38
36	60.00	4.38
37	60.00	5.38
38	67.00	5.38
39	52.00	9.38
40	40.00	10.38
41	52.00	10.38
42	65.00	10.38
43	60.00	10.38
44	38.00	10.38
45	34.00	10.38
46	49.00	14.38
47	55.00	14.38
48	43.00	15.38
49	39.00	15.38
50	36.00	17.38
Promedio	49.62	7.48
Coeficiente de Uniformidad por Christiansen - Prueba II		84.9%

MAX - MIN	
Máximo (ml)	67.00
Mínimo (ml)	34.00
Desv. Standard	8.96
Error de media	1.27
N=	50
N25%	13
Medias	
Total de datos	49.62
del 25% inferior	38.77
$\Sigma(xi-X)/n$	7.48
Medidas de distribución	
Coefficiente de Uniformidad (%)	84.94
Distribución de Uniformidad (%)	78.13
SC	1.46

Tabla 34: Datos recolectados en campo en marco de riego de 6 aspersores para el cálculo de coeficiente de uniformidad de Christiansen - Prueba III

Numero de Prueba	Prueba III	Descarga del Aspersor	1189 lph	Cultivo	Arveja
Fecha	22/09/2024	Altura del Elevador	1.50 cm	Área Evaluada	512 m2
Comienzo de Prueba	16.10	Espacio entre Pluviómetros	3x3m		
Duración	110 Min	Marco de Riego	16x16m		
Fin de la Prueba	18.00				

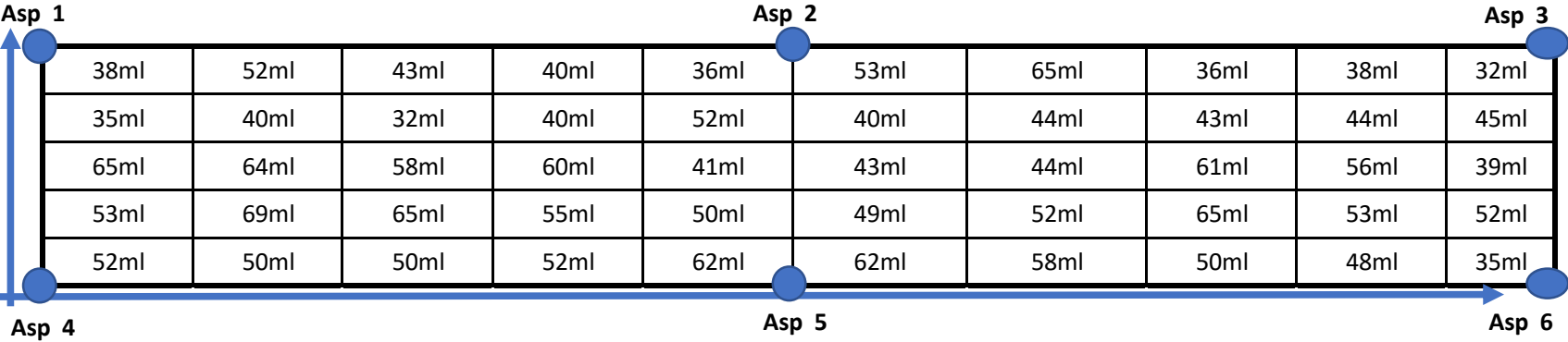


Tabla 35: Cálculo de Coeficiente de uniformidad por Christiansen - Prueba III

Recipiente	Cantidad (ml)	xi-X		
1	52.00	17.22		
2	53.00	17.22		
3	65.00	14.22		
4	35.00	14.22		
5	38.00	13.22		
6	50.00	13.22		
7	69.00	11.22		
8	64.00	11.22		
9	40.00	10.22		
10	52.00	9.22		
11	50.00	9.22		
12	65.00	9.22		
13	58.00	9.22		
14	32.00	8.22		
15	43.00	6.22		
16	52.00	6.22		
17	55.00	6.22		
18	60.00	5.22		
19	40.00	5.22		
20	40.00	5.22		
21	62.00	4.22		
22	50.00	1.22		
23	41.00	0.22		
24	52.00	0.78		
25	36.00	0.78		
26	62.00	0.78		
27	49.00	0.78		
28	43.00	2.78		
29	40.00	2.78		
30	53.00	2.78		
31	58.00	2.78		
32	52.00	2.78		
33	44.00	2.78		
34	44.00	3.78		
35	65.00	3.78		
36	50.00	3.78		
37	65.00	5.78		
38	61.00	6.78		
39	43.00	8.78		
40	36.00	8.78		
41	48.00	10.78		
42	53.00	11.78		
43	56.00	12.78		
44	44.00	12.78		
45	38.00	14.78		
46	35.00	15.78		
47	52.00	15.78		
48	39.00	15.78		
49	45.00	15.78		
50	32.00	19.78		
Promedio	49.22	8.28		
Coeficiente de uniformidad por Christiansen - Prueba III		83.77%		

		MAX - MIN	
Máximo (ml)			69.00
Mínimo (ml)			32.00
Desv. Standard			9.94
Error de media			1.41
N=			50
N25%			13
		Medias	
Total de datos			49.22
del 25% inferior			37.00
		$\Sigma(xi-X)/n$	8.28
		Medidas de distribución	
Coeficiente de Uniformidad (%)			83.17
Distribución de Uniformidad (%)			75.17
SC			1.54

Anexo G: Cálculos de parámetros de Diseño Agronómica

Tabla 36: Datos para el cálculo del diseño agronómico

DATOS DEL CLIMA				DATOS DE LA FUENTE			
Eto (Julio)	mm/día		2.85	Caudal de diseño: [Tiempo de operación --►	7 hr]		3.33 lt/sg
PP efectiva al 75% (Julio)	mm/día		0.00	Caudal disponible en fuente: [Tiempo disponible --►	24 hr]		15.00 lt/sg
Humedad Relativa media	HRm		49.5 %				
Velocidad del viento	> 3	de [h]	2 m/sg	Volumen Nocturno con oferta disponible			918 m3
m/sg	a [h]		3 m/sg	Capacidad Reservorio Existente			918 m3
				Caudal oferta durante la operación con Reserv. (Qo)			51.43 l/s
DATOS DEL SUELO				DATOS DE LA PARCELA			
Textura			Fr - Ar	Area bruta	Ha		0.26
Capacidad de Campo	CC		29.80 %	Area neta bajo riego	Sr		0.26
Punto de Marchitez permanente	PMP		16.10 %	Pendiente	%		33.0
Peso especifico aparente	Pea		1.29 gr/Cm3				
Velocidad de infiltración básica	V I		26.53 mm/Hr				
Profundidad efectiva	PE		0.30 m				
Peso especifico del agua	Pew		1.00 gr/Cm3				
DATOS DEL CULTIVO				DATOS DE RIEGO POR ASPERSIÓN			
Nombre:			VARIOS	Método		Aspersión	
Eta			Media Temporada	Eficiencia de aplicación	Ef		75.0 %
Kc (Medianos del periodo)			1.15	Porcentaje de traslape en aspersores	(de, dl)		85.00%
% del área bajo riego PAR	Min.% Area bajo riego		100 %	Modelo del Aspersor		Compact Impact Boq. # 11 Amarilla (4.37mm)	
	Max.% Area bajo riego		100 %	Presión nominal de operación			27.00 m
Profundidad radicular efectiva	zr		0.50 m	Caudal nominal del aspersor	qe		1,189.5 lph
Máx % de agua aprovechable	Pa		50.0 %	Diametro efectivo	d		27.87 m
				Angulo de cobertura	α		360 °
				Espaciamiento entre emisores	de		16.0 m
					dl		16.0 m
				Máxima hora de operacion por día	Hm		7.00 Hr
				Numero de Aspersores maximo por turno			10 Asper.
				Caudal de un aspersor			0.33 lt/sg

Figura 23: Aspersor Compact Impact Boq. # 11 Amarilla (4.37mm)



Figura 24: Marco de riego del aspersor

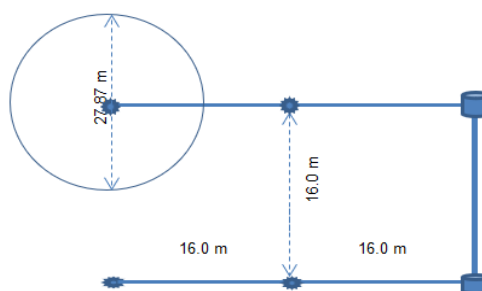


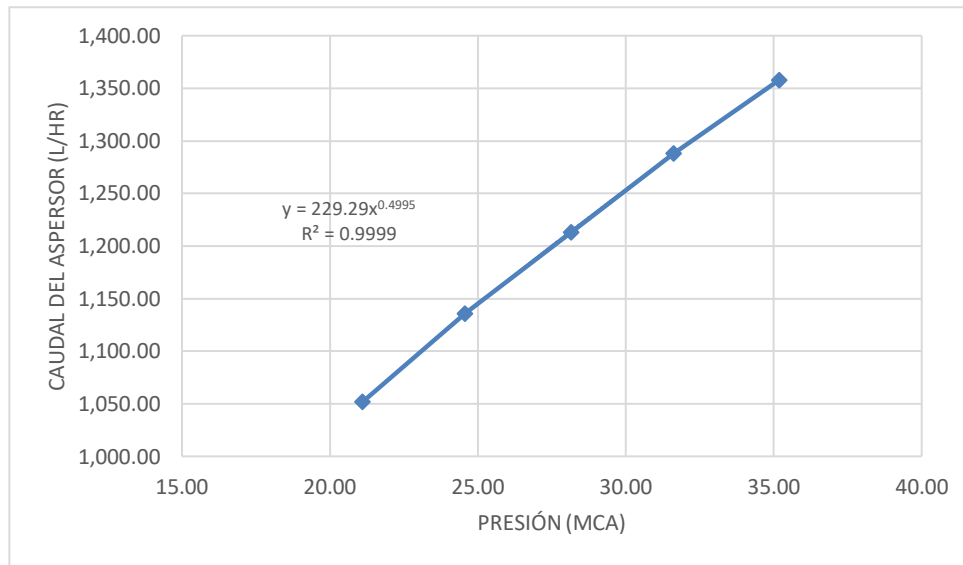
Tabla 37: Cálculo de diseño agronómico

PASOS	DESCRIPCIÓN	FÓRMULA	VALOR
Paso 1.	Calculamos el Caudal del aspersor en litros por segundo	$Q_{asp} = q_e / 3600$	0.33 lt/s
Paso 2.	Calculamos la Precipitación horaria efectiva de riego por aspersión	$Phr = \frac{q_e * 100}{de * dl * PAR}$	4.63 mm/Hr
Paso 3.	Se realiza una comparación de Precipitación del aspersor con infiltración básica del suelo	Phs (aspersor) ≤ Ibasica(Suelo) 4.63 mm/Hr 26.53 mm/Hr	Cumple con la condición
Paso 4.	Calculamos la lámina de agua disponible, en mm a la profundidad radicular efectiva	$LD_{ZR} = (CC - PMP) * \frac{P_{ea}}{P_{EW}} * Zr * 10$	88.4 mm/zr
Paso 5.	Calculamos la lámina de agua aprovechable en la zona radicular efectiva	$LA_{ZR} = \frac{LD_{ZR} * P_A}{100}$	44.18 mm/zr
Paso 6.	Calculamos el volumen de agua disponible, en m3 a la profundidad radicular efectiva	$VD_{ZR} = LD_{ZR} * 10$	883.7 m3/Ha/zr
Paso 7.	Calculamos la evapotranspiración del cultivo	$Etc. = ETo * Kc - PP_{Efect}$	3.28 mm/dia
Paso 8.	Calculamos la lámina neta	$Ln = (CC - PMP) * P_{ea} * Pr * HFU / 100$	22.80 mm
Paso 9.	Calculamos el intervalo de riego	$Ir = \frac{Ln}{Etc}$	6.96 dias
	El intervalo de riego	Tomamos un valor entero superior a lo calculado	7.00 dias
Paso 10.	Se realiza una comparación LR(aj) con Lazr	$Lr \leq LA_{Zr}$ 22.80 mm 44.18 mm	Cumple con la condición
Paso 11.	Calculamos el porcentaje de agua aprovechable ajustado	$Pa(aj) = \frac{Ln * 100}{LD_{Zr}}$	25.80 %
Paso 12.	Se realiza una comparación del Pa(aj) con Máximo Pa	$Pa(aj) \leq Pa$ 25.80 % 50.00 %	Cumple con la condicion
Paso 13.	Calculamos la lamina Bruta	$Lb = \frac{Ln * 100}{Ef.}$	30.40 mm
Paso 14.	Calculamos dosis de riego bruta por área	$Db = Lb * 10$	303.98 m3/Ha
Paso 15.	Calculamos la lamina de Reposición diario	$Lrep = \frac{Lb}{Ir(aj)}$	4.37 mm/dia
Paso 16.	Calculamos el módulo de Riego	$Mr. = \frac{Lrep * 10000}{Tdisp * 60 * 60}$	0.51 l/s/ha
Paso 17.	Calculamos horas de riego por día	Se elige cuantas horas al día se requiere regar	7.00 Hr/dia
Paso 18.	Calculamos horas de riego por turno	$Tr = Lb / Phr$	6.56 Hr/turno
	El tiempo de riego	Tomamos un valor entero superior a lo calculado	7.00 Hr/turno
Paso 19.	Calculamos el número de Aspersores a funcionar por 01 Hectárea	$N^{\circ} Asp = \frac{Db * 1000}{Q_{Asp} * Tr * 3600}$	38 Asper. / Ha
Calculamos la Dotación de Caudal por Hectárea			
Paso 1.	Calculamos la precipitación Media del Sistema	$Pms = \frac{Lb}{Tr}$	4.58 mm/hr
Paso 2.	Se realiza una comparación del Phr y Pms	$Phr \geq Pms$ 4.63 mm/hr 4.58 mm/hr	Cumple con la condición
Paso 3.	Calculamos la dotación de Caudal por Hectárea (01)	$Dot = \frac{Mr * Ir(aj) * Tdisp}{Tr}$	12.72 l/s/ha

Tabla 38: Operación del aspersor de tipo Compact Impact Boq. # 11 Amarillo (4.37mm)

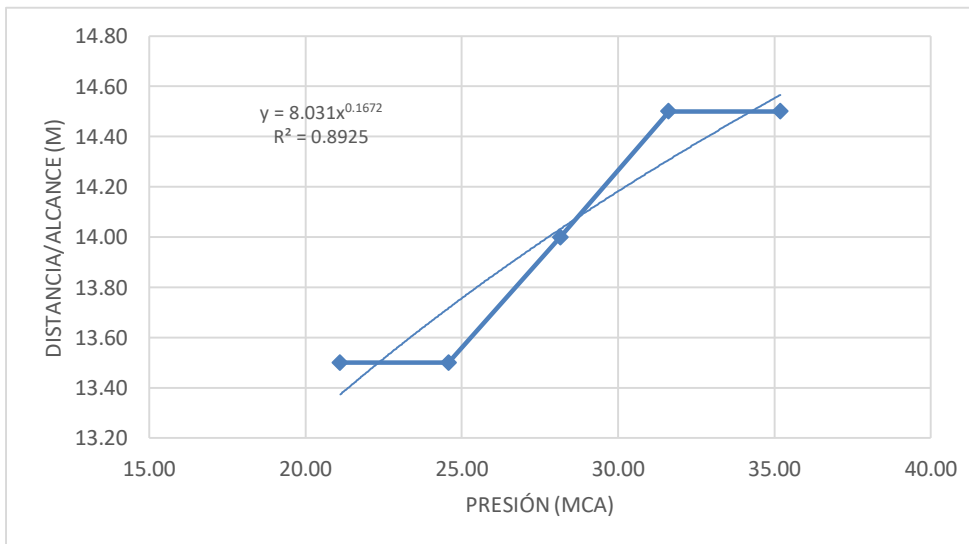
PRESION		Qasp		Ømojado	Distancia alcance (m)
Bar	m c a	l/hr	l/s		
2.07	21.11	1,052.00	0.29	27.00	13.50
2.41	24.58	1,136.00	0.32	27.00	13.50
2.76	28.15	1,213.00	0.34	28.00	14.00
3.10	31.62	1,288.00	0.36	29.00	14.50
3.45	35.19	1,358.00	0.38	29.00	14.50

Figura 25: Caudal real del aspersor de tipo Compact Impact



Ptrabajo = 27.00 mca
Qreal = 1,189.46 lph

Figura 26: Alcance real del aspersor



Presion de trabajo = 27.00 mca
Alcance real = 13.93 mt

Anexo H: Cálculos de Diseño Hidráulico

Tabla 39: Comportamiento hidráulico de la tubería principal y laterales en sistema de riego por aspersión

Departamento : Provincia :				Ayacucho Cangallo		Distrito : Centro Poblado :			Totos Chacabamba		Lugar : Paccopampa									
Tipo	Material	Nodo inicial	Nodo Final	Diámetro Nominal (mm)	Diámetro Interior (mm)	Diámetro referencial (pulg)	Clase	Rugosidad	Longitud (m)	Cota inicial (msnm)	Cota final (msnm)	Diferencia de cotas (msnm)	Pendiente (%)	Presión Estática (mca)	Presión Dinámica (mca)	Perdidas Totales (m)	Velocidad Máxima (m/seg)	Velocidad Mínima (m/seg)	Velocidad (m/seg)	Caudal de Diseño (m3/seg)
Tubería Principal	HDPE	P1	P2	63	57.00	2	C - 6	0.02	49.98	3218.27	3201.64	16.63	0.33	24.40	22.96	1.44	2.50	0.50	1.24	3.00
Tubería Principal	HDPE	P2	P3	63	57.00	2	C - 6	0.02	24.54	3201.64	3192.93	8.71	0.35	32.35	27.99	0.60	2.50	0.50	1.14	3.33
Tubería Principal	HDPE	P3	P4	50	45.20	1 1/2	C - 6	0.02	17.05	3192.93	3185.82	7.11	0.42	32.40	29.70	0.66	2.50	0.50	1.25	2.00
Tubería Principal	HDPE	P4	P5	32	28.00	1	C - 8	0.02	9.13	3185.82	3182.28	3.54	0.39	36.40	28.00	5.69	2.50	0.50	1.62	1.00
Tubería Principal	HDPE	P5	P6	32	28.00	1	C - 8	0.02	6.66	3182.28	3180.17	2.11	0.32	38.40	29.24	0.76	2.50	0.50	1.62	1.00
Tubería Lateral	HDPE	P2	L1	32	28.00	1	C - 8	0.02	9.28	3201.64	3200.59	1.05	0.11	26.93	25.69	0.10	2.50	0.50	0.59	0.33
Tubería Lateral	HDPE	P3	L2	32	28.00	1	C - 8	0.02	7.19	3192.93	3193.56	-0.63	-0.09	31.60	27.90	0.67	2.50	0.50	1.65	1.00
Tubería Lateral	HDPE	L2	L3	32	28.00	1	C - 8	0.02	16.00	3192.56	3193.58	-1.02	-0.06	31.64	27.32	0.69	2.50	0.50	1.00	0.67
Tubería Lateral	HDPE	L3	L4	32	28.00	1	C - 8	0.02	16.00	3192.58	3194.17	-1.59	-0.10	31.72	26.53	0.19	2.50	0.50	0.61	0.33
Tubería Lateral	HDPE	P4	L5	32	28.00	1	C - 8	0.02	7.62	3185.82	3185.33	0.49	0.06	33.01	28.94	0.89	2.50	0.50	1.64	1.00
Tubería Lateral	HDPE	L5	L6	32	28.00	1	C - 8	0.02	16.00	3185.34	3186.89	-1.55	-0.10	33.01	28.19	0.87	2.50	0.50	1.08	0.67
Tubería Lateral	HDPE	L6	L7	32	28.00	1	C - 8	0.02	16.00	3185.89	3187.23	-1.34	-0.08	32.64	26.59	0.24	2.50	0.50	0.63	0.33
Tubería Lateral	HDPE	P6	L8	32	28.00	1	C - 8	0.02	7.31	3180.17	3180.93	-0.76	-0.10	38.61	28.62	0.83	2.50	0.50	1.62	1.00
Tubería Lateral	HDPE	L8	L9	32	28.00	1	C - 8	0.02	16.00	3179.93	3180.03	-0.10	-0.01	38.61	27.33	0.85	2.50	0.50	1.07	0.67
Tubería Lateral	HDPE	L9	L10	32	28.00	1	C - 8	0.02	16.00	3180.03	3181.90	-1.87	-0.12	38.17	26.35	0.24	2.50	0.50	0.63	0.33

Anexo I: Cálculo de Demanda de Agua

Tabla 40: Información referencial para el cálculo de demanda de agua del cultivo

Descripción	Unidad	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Precipitación Promedio Mensual	mm	154.28	145.42	130.89	46.81	10.06	5.00	8.00	11.95	21.05	34.54	40.72	105.84
Precipitación Total Mensual al 90%	mm	98.44	99.50	86.78	24.24	1.64	-	0.12	0.12	8.44	8.90	4.80	50.04
Precipitación Total Mensual al 75%	mm	118.60	114.70	119.10	31.20	3.20	2.00	1.10	2.40	12.90	18.30	20.50	75.60

Tabla 41: Información Requerida para el cálculo de demanda de agua del cultivo

Descripción	Unidad	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Precipitación Efectiva Mensual al 75%	mm	89.12	87.37	89.35	24.83	-	-	-	-	7.51	12.64	14.73	63.14
Humedad Relativa	%	75.64	77.11	78.34	68.53	56.96	51.98	49.54	49.31	51.93	53.12	55.20	64.57

Tabla 42: Cédula de cultivo de Arveja para cálculo de demanda de agua del cultivo

CULTIVOS BASE	ÁREA		Modalidad de Cultivo												CULTIVOS DE ROTACIÓN	ÁREA Ha
	Há	%	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		
			B	B	B	R	R	R	R	R	B	B	B	B	Arveja	0.26
Cultivado (há)	-	0.00%	-	-	-	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	-	-	-	-		0.26

Tabla 43: Coeficiente de cultivo de Arveja para cálculo de demanda de agua del cultivo

CULTIVOS BASE	Kc de los Cultivos											CULTIVOS DE ROTACIÓN	
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
				0.38	0.70	1.15	1.15	0.70					Arveja

Tabla 44: Cédula de cultivo

CULTIVOS BASE	ÁREA	M E S E S												CULTIVOS DE ROTACIÓN	ÁREA Há	
	Há	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D			
		=====				-----					=====				Arveja	0.26
TOTAL	-	-	-	-	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	-	-	-	-		0.26	

CULTIVO BASE =====

CULTIVO ROTACIÓN -----

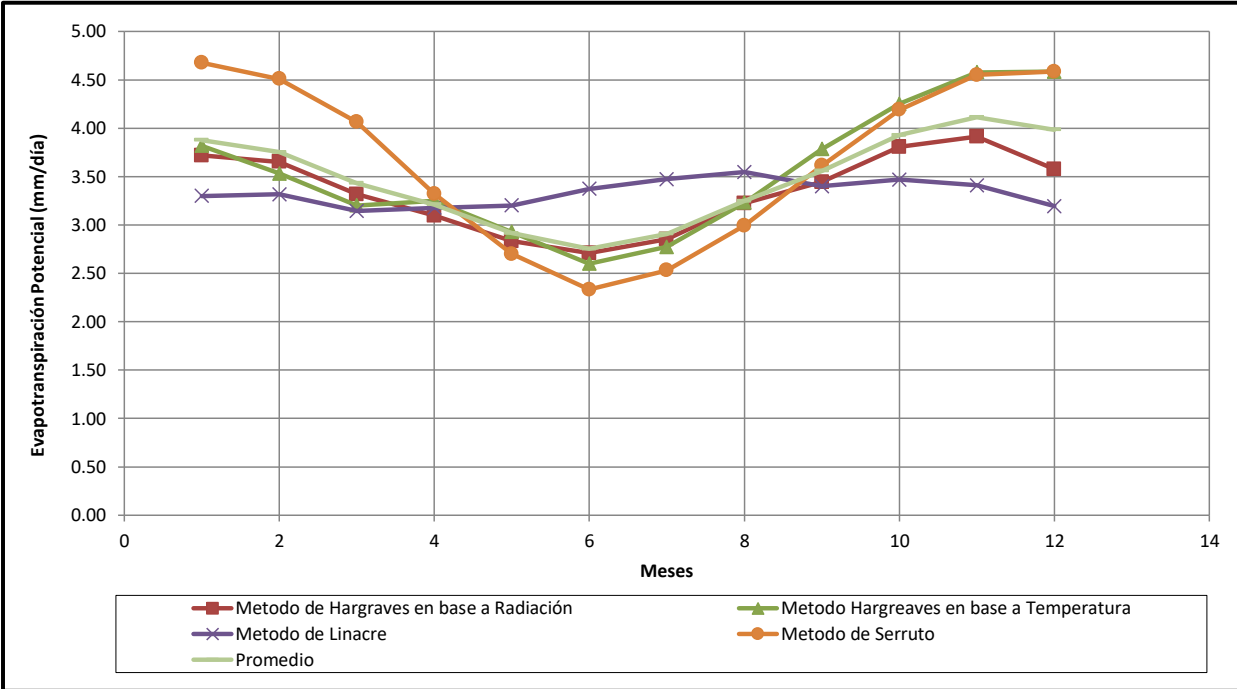
Tabla 45: Coeficiente de uso consuntivo de Arveja para la cédula de cultivo

CULTIVOS DE BASE	ÁREA há	Kc												CULTIVOS DE	ÁREA há
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		
					0.38	0.70	1.15	1.15	0.70					Arveja	0.26

Tabla 46: Resumen de Evapotranspiración Potencial

Mes	Método de Hargreaves en base a Radiación	Método de Hargreaves en base a Temperatura	Método de Linacre	Método de Serruto	Promedio
Enero	3.72	3.82	3.30	4.68	3.88
Febrero	3.65	3.53	3.32	4.51	3.75
Marzo	3.32	3.20	3.14	4.06	3.43
Abril	3.10	3.25	3.18	3.32	3.21
Mayo	2.83	2.93	3.20	2.70	2.92
Junio	2.71	2.60	3.37	2.33	2.75
Julio	2.85	2.77	3.47	2.53	2.91
Agosto	3.22	3.23	3.55	2.99	3.25
Setiembre	3.44	3.78	3.40	3.61	3.56
Octubre	3.81	4.25	3.47	4.19	3.93
Noviembre	3.91	4.58	3.41	4.55	4.11
Diciembre	3.58	4.59	3.20	4.58	3.99

Figura 27: Resumen de Evapotranspiración Potencial (mm/día)



PROGRAMA EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL (PETP V2.0.0)

Por: César Vidal Gutiérrez Ninahuamán

Hora: 06:57:27

Fecha: 12/05/2024

Tabla 47: Resumen de demanda de agua del cultivo de Arveja

Descripción	Fórmula	Unidad	Meses												Total
			Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Eto	Dato	mm/día				3.10	2.83	2.71	2.85	3.22					
Kc	Dato					0.38	0.70	1.15	1.15	0.70					
Uso Consultivo o Evaporación Real	$ET_c = ETo * Kc$	mm/día				1.18	1.98	3.12	3.28	2.26					
Precipitación Efectiva	Dato	mm/día				0.83	0.00	0.00	0.00	0.00					
Lamina Netas del Cultivo	$Ln = ET_c - PE$	mm/día				0.35	1.98	3.12	3.28	2.26					10.98
Eficiencia de aplicación	Dato	%				75%	75%	75%	75%	75%					
Lamina real o bruta del Cultivo	$Lr = Ln / Ef$	mm/día				0.47	2.64	4.15	4.37	3.01					14.64
	$Lr = (Ln / Ef) * 10$	m3-ha/día				4.65	26.43	41.55	43.73	30.08					146.43
N° de Días del Mes	Dato					30	31	30	31	31					
Demanda Total Unitaria - Mensual	$Dtu = Lr * \#Días$	m3/ha/mes				140	819	1,246	1,356	932					4,493
Área de Riego	Dato	ha				0.26	0.26	0.26	0.26	0.26					
Demanda Total - Mensual	$Dtm = Dtu * A$	m3/mes				36	213	324	352	242					1,168
Demanda Total - Diaria	$Dtd = Dtm / \# \text{ de días}$	m3/día				1	7	11	11	8					38

Tabla 48: Cálculo del volumen demandado de cultivo de Arveja para tiempo de operación de 24 horas

Descripción	Cálculo	Unidad	Meses												Total
			Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Módulo de Riego		l/s / ha				0.05	0.31	0.48	0.51	0.35					
Demanda Total Diaria		m3/día				1	7	11	11	8					38
Demanda Total Mensual		m3/mes				36	213	324	352	242					1,168
Demanda de agua		l/s							0.13 l/s						3.33

Anexo J: Precipitación Efectiva

Tabla 49: Precipitación efectiva por el Método del Water Power Resources Service (WPRS – USA)

Latitud : 13°35'47.10"S		Longitud : 74°30'51.38"W		Altitud: 3180.180 msnm.									
	AÑO	MESES											
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Registro de Datos de Precipitaciones Mensuales (mm)	2000	121.60	103.10	155.90	31.50	12.80	10.00	2.50	14.80	4.70	78.50	23.50	106.30
	2001	177.80	97.10	198.00	42.50	27.80	3.70	12.20	9.30	14.80	46.30	55.30	28.50
	2002	128.70	136.90	119.10	29.80	9.30	5.60	42.80	6.60	50.80	36.60	111.20	197.50
	2003	148.70	137.70	126.40	40.00	9.80	0.00	0.00	17.20	22.30	39.00	36.00	149.40
	2004	57.70	161.30	126.20	46.60	2.20	6.40	10.90	11.20	31.10	35.10	54.00	132.10
	2005	97.40	72.00	134.90	30.60	0.00	0.00	1.90	19.30	41.80	23.40	20.50	141.70
	2006	189.00	121.10	156.00	54.20	1.40	2.50	0.00	14.20	28.70	36.00	48.50	72.00
	2007	100.00	97.10	181.70	83.50	11.60	2.00	3.10	0.00	24.10	43.50	36.80	116.00
	2008	213.50	166.50	81.20	22.80	5.60	5.70	0.70	3.80	13.00	37.90	53.50	84.80
	2009	102.30	168.00	124.70	56.60	2.80	0.00	14.40	0.00	12.70	42.40	91.80	75.60
	2010	216.50	114.60	98.30	32.90	4.20	2.00	0.00	2.40	8.00	41.50	17.60	158.80
	2011	291.40	228.30	138.10	93.80	7.10	1.20	10.00	2.40	32.40	18.30	67.30	106.70
	2012	123.90	254.40	169.00	152.30	3.20	8.60	2.30	0.70	12.90	21.30	6.60	195.10
	2013	122.20	185.50	124.30	1.80	27.60	12.70	6.10	10.40	16.50	46.20	40.20	145.50
	2014	174.00	114.70	121.20	49.00	11.70	7.10	13.70	11.40	49.90	74.70	35.30	100.50
	2015	165.70	124.20	159.60	39.20	26.60	2.20	8.90	16.40	16.10	32.00	47.60	82.70
	2016	45.30	132.70	81.70	26.40	8.10	11.20	10.70	8.20	22.40	26.30	10.70	79.40
	2017	280.90	194.90	147.10	52.00	11.60	5.90	12.20	7.20	26.50	6.70	51.20	36.70
	2018	163.60	110.60	148.60	53.70	11.00	13.90	22.00	8.80	15.60	4.10	0.00	45.00
	2019	118.60	165.60	95.30	48.40	1.70	3.90	10.00	0.00	9.60	16.40	24.40	137.70
	2020	108.40	146.80	94.40	2.50	11.00	14.50	11.40	116.50	9.10	12.20	0.00	91.70
	2021	174.50	130.10	145.60	63.30	12.70	3.10	1.10	0.40	19.40	63.50	51.40	66.40
	2022	172.50	145.60	142.70	47.80	1.60	2.20	0.30	0.30	5.30	0.00	3.60	110.80
	2023	197.90	169.40	134.50	31.20	22.70	0.00	0.40	4.80	17.50	67.30	65.00	127.40
	2024	164.90	157.30	67.80	37.90	7.30	0.70	2.50	12.50	21.00	14.30	65.90	57.60
Precipitación Promedio	PP	154.28	145.42	130.89	46.81	10.06	5.00	8.00	11.95	21.05	34.54	40.72	105.84
Precipitación Máxima	PP max	291.40	254.40	198.00	152.30	27.80	14.50	42.80	116.50	50.80	78.50	111.20	197.50
Precipitación Mínima	PP Min	45.30	72.00	67.80	1.80	0.00	0.00	0.00	0.00	4.70	0.00	0.00	28.50
Desviación Standard	DESV.	59.34	41.66	31.96	30.00	8.25	4.53	9.40	22.60	12.53	21.14	27.93	44.97
Precipitación al 50% de probabilidad	PP 50%	163.60	137.70	134.50	42.50	9.30	3.70	6.10	8.20	17.50	36.00	40.20	106.30
Precipitación al 90% de probabilidad	PP 90%	98.44	99.50	86.78	24.24	1.64	0.00	0.12	0.12	8.44	8.90	4.80	50.04
Precipitación al 75% de probabilidad	PP 75%	118.60	114.70	119.10	31.20	3.20	2.00	1.10	2.40	12.90	18.30	20.50	75.60
	5	5	5	5	5	0	0	0	0	5	5	5	5
	30	25	25	25	25	3.2	2	1.1	2.4	7.9	13.3	15.5	25
	55	25	25	25	1.2	0	0	0	0	0	0	0	25
	80	25	25	25	0	0	0	0	0	0	0	0	20.6
	105	25	25	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	130	13.6	9.7	14.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	155	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>155	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.95	23.75	23.75	23.75	23.75	3.04	1.90	1.05	2.28	7.51	12.64	14.73	23.75
	0.90	22.50	22.50	22.50	1.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.50
	0.82	20.50	20.50	20.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.89
	0.65	16.25	16.25	16.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.45	6.12	4.37	6.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		89.12	87.37	89.35	24.83	3.04	1.90	1.05	2.28	7.51	12.64	14.73	63.14
Precipitación Efectiva al 75%	PE 75%	89.12	87.37	89.35	24.83	-	-	-	-	7.51	12.64	14.73	63.14

Anexo K: Curvas K_c del Cultivo de Arveja

Cálculo del Coeficiente de Cultivo (Kc)

(Método recomendado por la FAO)

1° DATOS GENERALES :

Cultivo	=	<u>ARVEJA</u>	Lugar	=	<u>Centro poblado de Chacabamba</u>
Periodo	=	<u>1 AÑO (2024)</u>	Altitud (msnm)	=	<u>3180.180</u>
Fecha siembra	=	<u>17 de abril del 2024</u>	Latitud	=	<u>13°35'47.10"S</u>
			Longitud	=	<u>74°30'51.38"W</u>

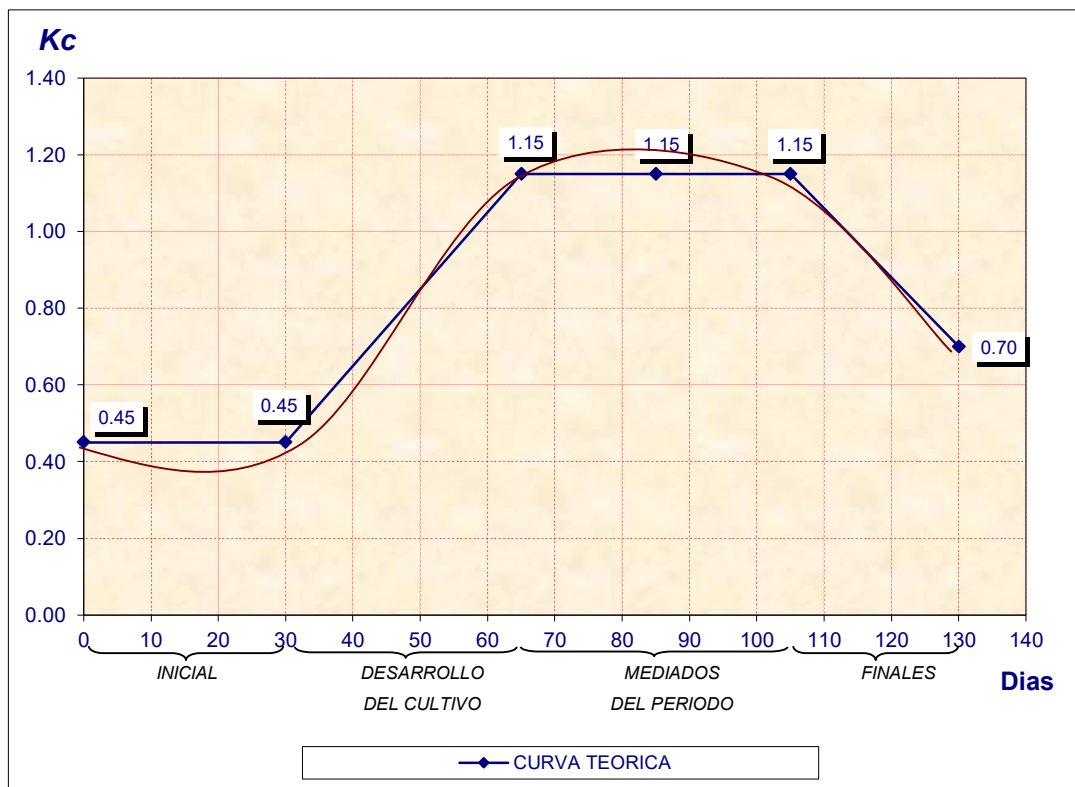
2° DURACION DE LAS FASES

		Fecha
Inicial	=	30 días
Desarrollo del cultivo	=	35 días
Mediados del cultivo	=	40 días
Finales del cultivo	=	25 días
		<u>130 días</u>

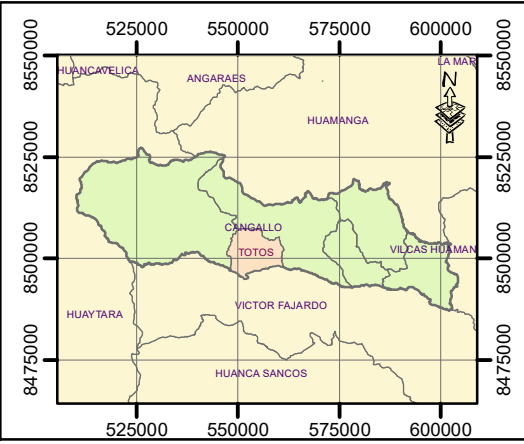
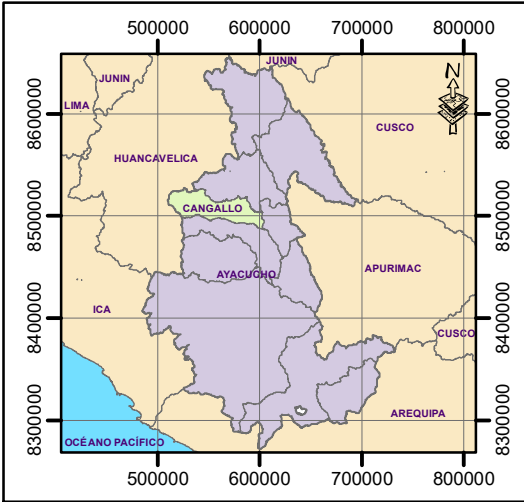
3° DURACION DE LAS FASES

Kc - fase inicial	=	0.45	(tabla 03,04,05)
ET _o	=	3.10 mm/día	(dato método Hargreaves)
Frecuencia de riego	=	07 días	(dato experimental)
Kc - mediad. desarrollo	=	1.15	(tabla 03,04,05)
Kc - final periodo	=	0.70	(tabla 03,04,05)

Figura 28: Curva Kc del cultivo de Arveja



Anexo L: Planos



1 centimeter = 669 meters

Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 18S
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984

ESCALA: 1:66,868 0 0.5 1 2 3 4 Km



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA

TESIS : "Evaluación de coeficiente de uniformidad de sistema de riego por aspersión en el cultivo de arveja (*Pisum sativum* L.) en Chacabamba a 2955 msnm-Ayacucho, 2023"

UBICACIÓN :

REGIÓN : AYACUCHO
PROVINCIA: CANGALLO
DISTRITO : TOTOS
CC.PP : CHACABAMBA

PLANO :

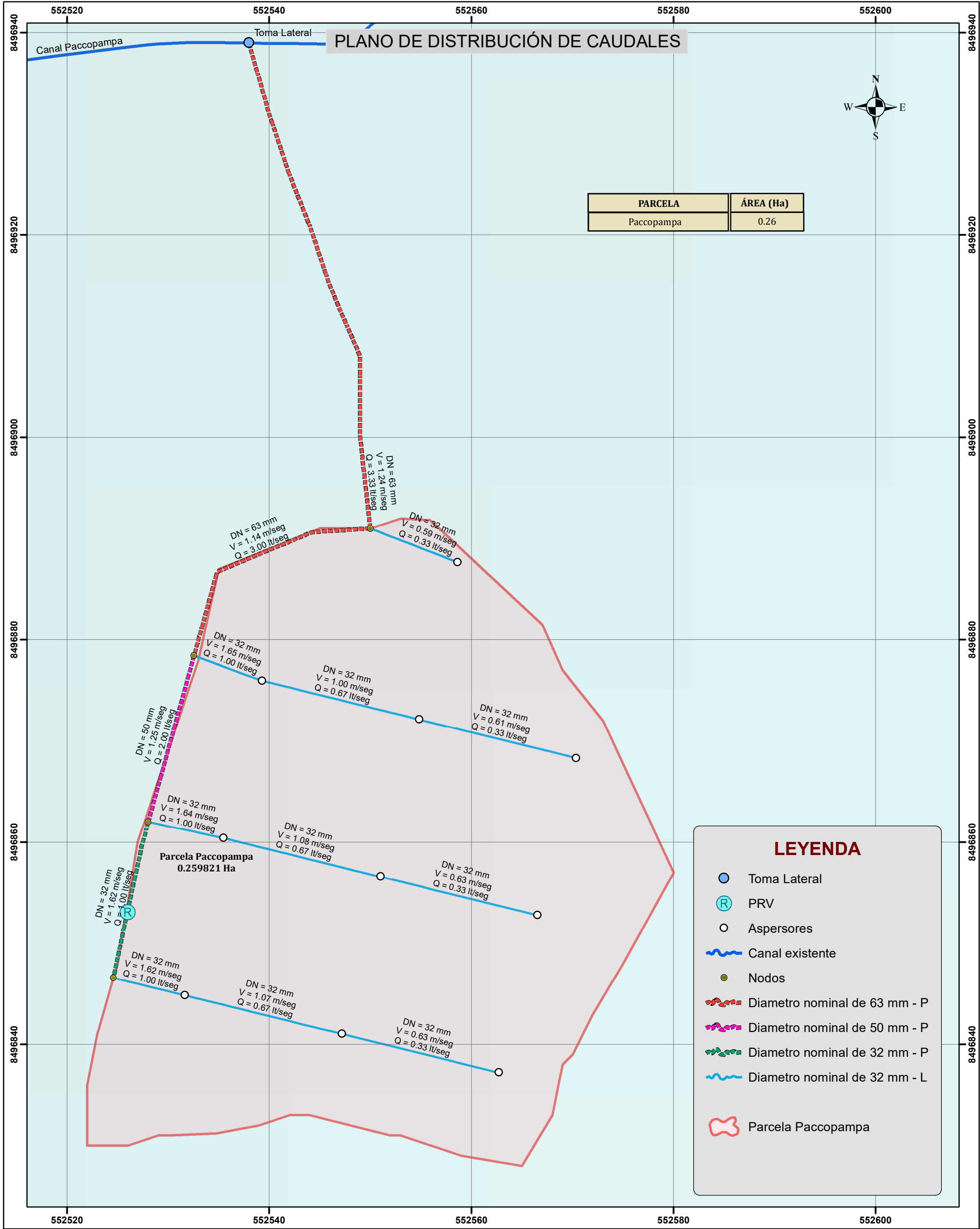
PARCELA: PACCOPAMPA
ESCALA: INDICADA
FECHA: FEBRERO - 2024

UBICACIÓN POLÍTICA

REVISIÓN :
APROVACIÓN :

LÁMINA :
UP-01





Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 18S
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA

TESIS : "Evaluación de coeficiente de uniformidad de sistema de riego por aspersión en el cultivo de arveja (*Pisum sativum* L.) en Chacabamba a 2955 msnm-Ayacucho, 2023"

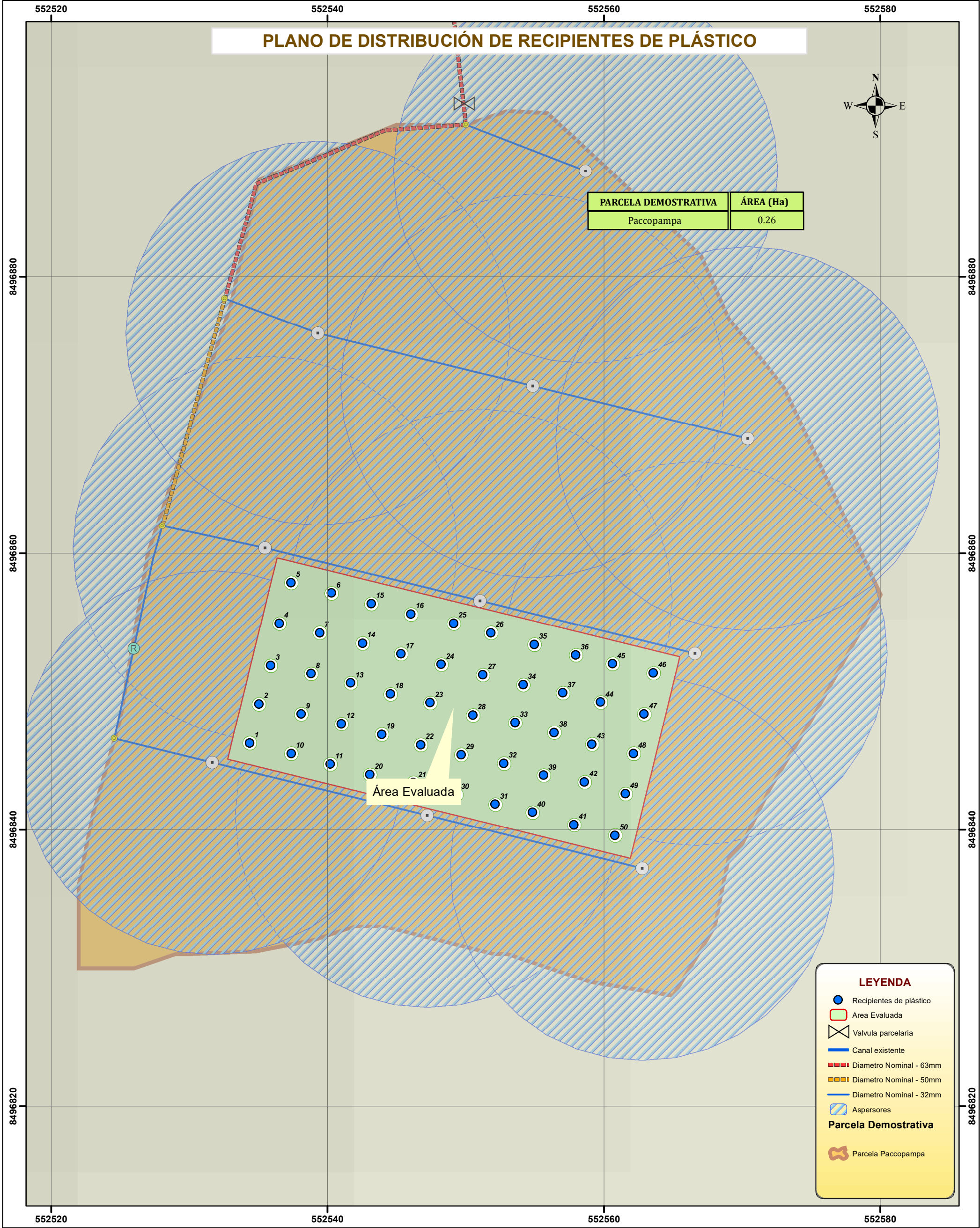


UBICACIÓN :

REGIÓN : AYACUCHO
PROVINCIA: CANGALLO
DISTRITO : TOTOS
CC.PP : CHACABAMBA

PLANO : DISTRIBUCIÓN DE CAUDALES

PARCELA: PACCOPAMPA	REVISIÓN :	LÁMINA :
ESCALA: INDICADA	APROVACIÓN :	DC - 01
FECHA: ABRIL - 2024		



Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 18S
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA

TESIS : "Evaluación de coeficiente de uniformidad de sistema de riego por aspersión en el cultivo de arveja (*Pisum sativum* L.) en Chacabamba a msnm-Ayacucho, 2023"

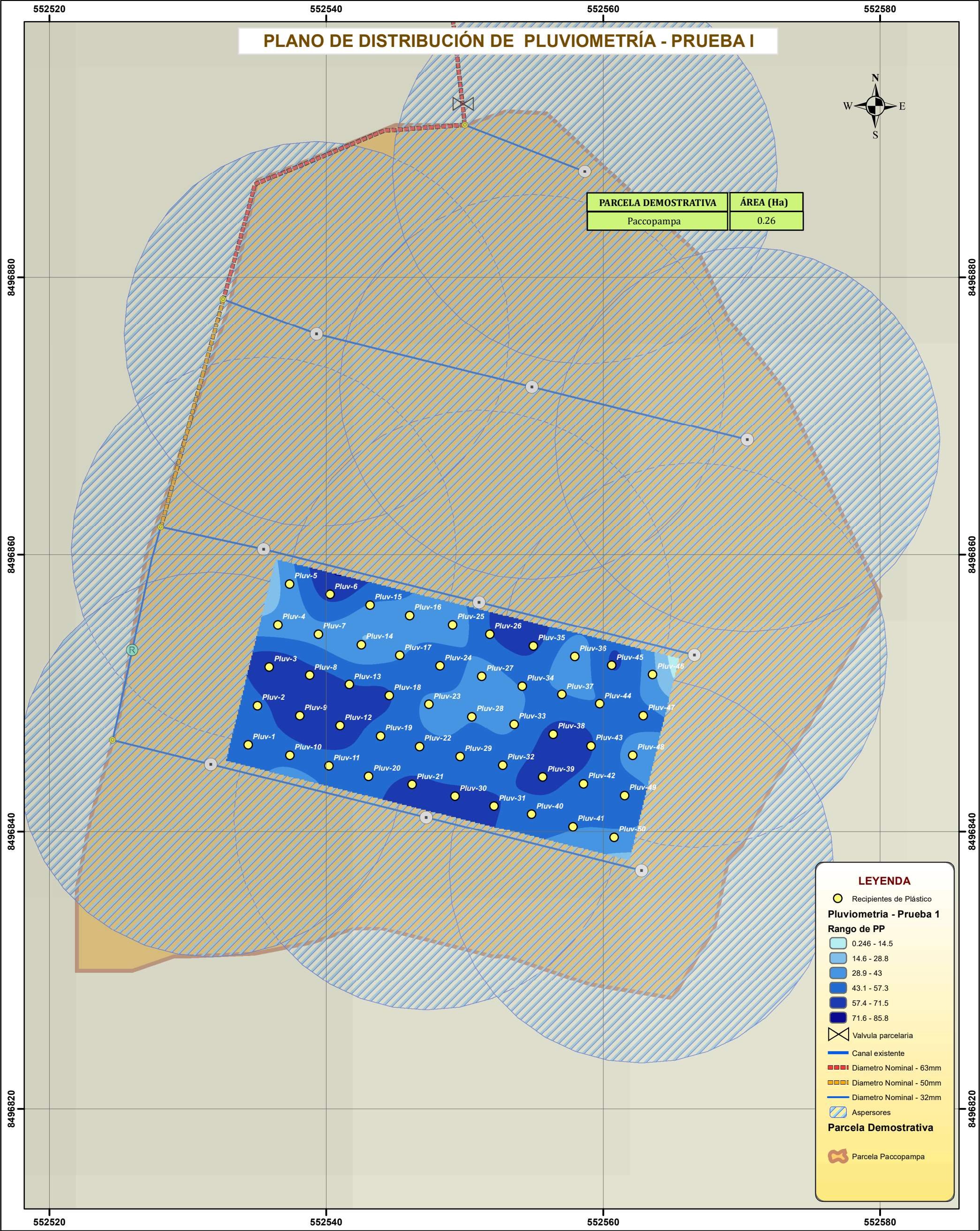


UBICACIÓN :

REGIÓN : AYACUCHO
PROVINCIA: CANGALLO
DISTRITO : TOTOS
CC.PP : CHACABAMBA

PLANO : DISTRIBUCIÓN DE RECIPIENTES DE PLÁSTICO

PARCELA: PACCOPAMPA	REVISIÓN :	LÁMINA :
ESCALA: INDICADA	APROVACIÓN :	DVP - 01
FECHA: SETIEMBRE - 2024		



Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 18S
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA

TESIS: "Evaluación de coeficiente de uniformidad de sistema de riego por aspersión en el cultivo de arveja (*Pisum sativum* L.) en Chacabamba a 2955 msnm-Ayacucho, 2023"

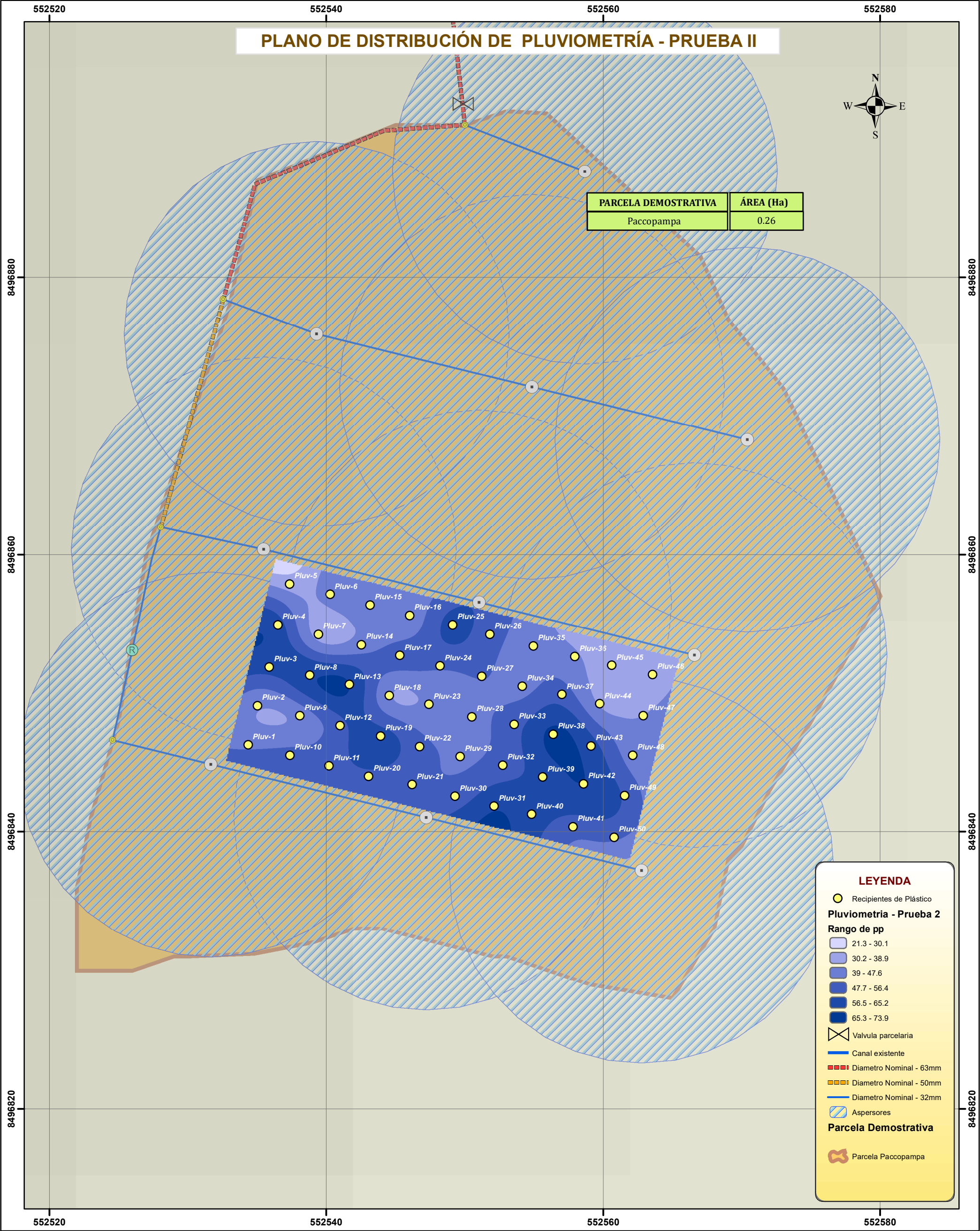


UBICACIÓN :

REGIÓN : AYACUCHO
PROVINCIA: CANGALLO
DISTRITO : TOTOS
CC.PP : CHACABAMBA

PLANO : DISTRIBUCIÓN DE PLUVIOMETRÍA - PRUEBA I

PARCELA: PACCOPAMPA	REVISIÓN :	LÁMINA :
ESCALA: INDICADA	APROVACIÓN :	DP - 01
FECHA: SETIEMBRE - 2024		



Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 18S
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA

TESIS : "Evaluación de coeficiente de uniformidad de sistema de riego por aspersión en el cultivo de arveja (*Pisum sativum* L.) en Chacabamba a 2955 msnm-Ayacucho, 2023"

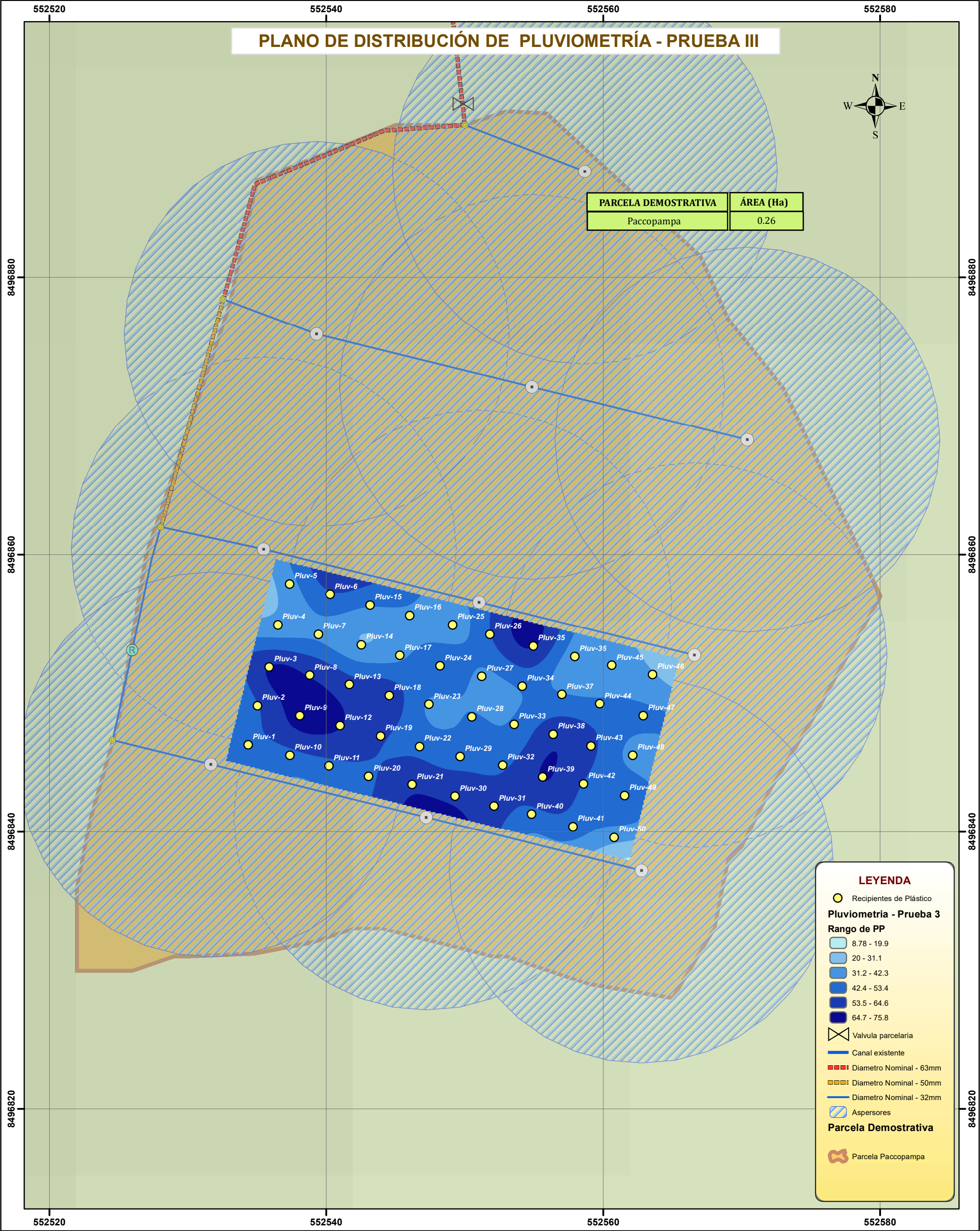


UBICACIÓN :

REGIÓN : AYACUCHO
PROVINCIA: CANGALLO
DISTRITO : TOTOS
CC.PP : CHACABAMBA

PLANO : DISTRIBUCIÓN DE PLUVIOMETRÍA - PRUEBA II

PARCELA: PACCOPAMPA	REVISIÓN :	LÁMINA :
ESCALA: INDICADA	APROVACIÓN :	DP - 02
FECHA: SETIEMBRE - 2024		



Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 18S
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA

TESIS : "Evaluación de coeficiente de uniformidad de sistema de riego por aspersión en el cultivo de arveja (*Pisum sativum* L.) en Chacabamba a 2955 msnm-Ayacucho, 2023"



UBICACIÓN :

REGIÓN : AYACUCHO
PROVINCIA: CANGALLO
DISTRITO : TOTOS
CC.PP : CHACABAMBA

PLANO : DISTRIBUCIÓN DE PLUVIOMETRÍA - PRUEBA III		
PARCELA: PACCOPAMPA	REVISIÓN :	LÁMINA :
ESCALA: INDICADA	APROVACIÓN :	DP - 03
FECHA: SETIEMBRE - 2024		



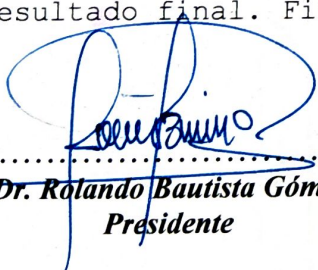
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
Bach. LYSS KELLY AÑANCA HUAMAN
R.D. N° 339-2024-UNSCH-FCA-D

En la ciudad de Ayacucho a los veinticinco días del mes de noviembre del año dos mil veinticuatro, siendo las dieciséis horas, se reunieron en el auditorio de la Facultad de Ciencias Agrarias, bajo la presidencia del Dr. Rolando Bautista Gómez Decano (e) de la Facultad de Ciencias Agrarias; los miembros del jurado conformado por Dr. Rolando Bautista Gómez, M.Sc. César Vidal Gutiérrez Ninahuamán como asesor, Ing. Herbert Núñez Alfaro y Mtro. Jaime Villar Rodríguez; actuando como secretario de actas el Mtro. Rodolfo Alca Mendoza, para recibir la sustentación de la Tesis titulado: **Evaluación de coeficiente de uniformidad de sistema de riego por aspersión en el cultivo de arveja (*Pisum sativum* L.) en Chacabamba 2955 msnm-Ayacucho, 2023**, para obtener el Título Profesional de Ingeniera Agrícola presentado por la Bachiller **LYSS KELLY AÑANCA HUAMAN**.

El señor Decano (e) previa verificación de los documentos exigidos solicitó se proceda con la sustentación y posterior defensa de la tesis en un periodo de cuarenta y cinco minutos de acuerdo al reglamento de grados y títulos vigente. Terminado la exposición, los miembros del Jurado, formularon sus preguntas, aclaraciones y/o observaciones correspondientes. Luego se invitó a los miembros del jurado pasar a otra aula para la deliberación y calificación del trabajo de tesis, teniendo el siguiente resultado:

Jurado evaluador	Exposición	Respuestas a las preguntas	Generación de conocimiento	Promedio
Dr. Rolando Bautista Gómez	16	16	16	16
M.Sc. César Vidal Gutiérrez Ninahuamán	16	15	16	16
Ing. Herbert Núñez Alfaro	16	15	16	16
Mtro. Jaime Villar Rodríguez	15	16	14	15
PROMEDIO GENERAL				16

Acto seguido se invita al sustentante y público en general para dar a conocer el resultado final. Firman el acta.


.....
Dr. Rolando Bautista Gómez
Presidente


.....
M.Sc. César Vidal Gutiérrez Ninahuamán
Asesora


.....
Ing. Herbert Núñez Alfaro
Jurado


.....
Mtro. Jaime Villar Rodríguez
Jurado


.....
Mtro. Rodolfo Alca Mendoza
Secretario Docente

**UNSCH****FACULTAD DE CIENCIAS
AGRARIAS**

CONSTANCIA DE CONTROL DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE TESIS

El que suscribe coordinador responsable de la valoración y verificación de originalidad de los trabajos de investigación y de tesis de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, designado mediante la RCF N° 005-2024-UNSCH-FCA-CF; hace constar que el trabajo de tesis titulado;

“Evaluación de coeficiente de uniformidad de sistema de riego por aspersión en el cultivo de arveja (*Pisum sativum* L.) en Chacabamba a 2955 msnm-Ayacucho, 2023”

Autor : Lyss Kelly AÑANCA HUAMAN
Asesor : César Vidal GUTIÉRREZ NINAHUAMÁN

Ha sido sometido al control de originalidad mediante el software TURNITIN UNSCH, acorde al Reglamento de originalidad de trabajos de investigación, aprobado mediante RCU N° 039-2021-UNSCH-CU, y RCU N° 1530-2023-UNSCH-CU, emitiendo un resultado de **veintitrés (23 %)** de índice de similitud, realizado con **depósito de trabajos estándar**.

En consecuencia, se otorga la presente Constancia de Originalidad para los fines pertinentes.

Nota: Se adjunta el resultado con Identificador de la entrega: 38085080

Ayacucho, 2 de diciembre de 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DE
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
Facultad de Ciencias Agrarias

Dr. Yuri Gálvez Gastelú
Coordinador de Control de originalidad de
trabajo de investigación y tesis

“Evaluación de coeficiente de uniformidad de sistema de riego por aspersión en el cultivo de arveja (*Pisum sativum* L.) en Chacabamba a 2955 msnm-Ayacucho, 2023”

por Lyss Kelly Añanca Huaman

Fecha de entrega: 02-dic-2024 12:44p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2538085080

Nombre del archivo: TESIS.docx (23.56M)

Total de palabras: 19544

Total de caracteres: 99882

“Evaluación de coeficiente de uniformidad de sistema de riego por aspersión en el cultivo de arveja (*Pisum sativum* L.) en Chacabamba a 2955 msnm-Ayacucho, 2023”

INFORME DE ORIGINALIDAD

23%

INDICE DE SIMILITUD

21%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

11%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repositorio.unsch.edu.pe

Fuente de Internet

5%

2

Submitted to Universidad Nacional Agraria La Molina

Trabajo del estudiante

4%

3

ria.utn.edu.ar

Fuente de Internet

2%

4

Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga

Trabajo del estudiante

2%

5

repositorio.unprg.edu.pe

Fuente de Internet

1%

6

repositorio.uncp.edu.pe

Fuente de Internet

1%

7

repositorio.umsa.bo

Fuente de Internet

1%

8

doku.pub

Fuente de Internet

1 %

9

tesis.ucsm.edu.pe

Fuente de Internet

1 %

10

repositorio.espam.edu.ec

Fuente de Internet

1 %

11

repositorio.unap.edu.pe

Fuente de Internet

1 %

12

Submitted to Universidad del Valle de Guatemala

Trabajo del estudiante

<1 %

13

hdl.handle.net

Fuente de Internet

<1 %

14

apirepositorio.unh.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

15

creativecommons.org

Fuente de Internet

<1 %

16

1library.co

Fuente de Internet

<1 %

17

www.repositorio.usac.edu.gt

Fuente de Internet

<1 %

18

Submitted to Universidad de Almeria

Trabajo del estudiante

<1 %

19

www.repositorio.unasam.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

20

docplayer.es

Fuente de Internet

<1 %

21

CONSULTORA AMBIENTAL FORESTAL E & L
E.I.R.L.. "Informe de Gestión Ambiental del
Proyecto Mejoramiento del Servicio de Agua
del Sistema de Riego en la Localidad de
Quiñasi-IGA0013092", R.D.G. N° 436-2015-
MINAGRI-DVDIAR-DGAAA, 2021

Publicación

<1 %

22

dspace.esPOCH.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

23

bibdigital.epn.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

24

sired.udenar.edu.co

Fuente de Internet

<1 %

25

core.ac.uk

Fuente de Internet

<1 %

26

repositorio.untumbes.edu.pe:8080

Fuente de Internet

<1 %

27

www.ssoar.info

Fuente de Internet

<1 %

28

repositorio.unsaac.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

29

TARAZONA TREJO SANTOS PABLO. "Informe de Gestión Ambiental del Proyecto Creación del Servicio de Agua para Riego en las Localidades de Tacta, Carhuac y Chaná, Distrito de San Pedro de Chaná- Huari - Ancash-IGA0014556", R.D.G. N° 520-2018-MINAGRI-DVDIAR-DGAAA, 2021

Publicación

<1 %

30

repositorio.utc.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo

**Evaluación de coeficiente de uniformidad de sistema de riego por
aspersión en el cultivo de arveja (*Pisum sativum L.*) en Chacabamba a
2955 msnm-Ayacucho, 2023**

**Evaluation of the uniformity coefficient of the sprinkler irrigation
system in the pea crop (*Pisum sativum L.*) in Chacabamba at 2955 masl
- Ayacucho, 2023**

Lyss Kelly Añanca Huaman

Resumen

Es fundamental evaluar la uniformidad de riego por aspersión para identificar los factores que afectan la eficiencia del sistema. Este estudio tiene objetivo general evaluar el coeficiente de uniformidad del sistema de riego por aspersión en el cultivo de arveja (*Pisum sativum L.*) en Chacabamba a una altitud de 2955 msnm – Ayacucho, 2023. La evaluación se realizó con aspersores Compact Impact implementados en parcela, los cuales resultan adecuados, dado que la velocidad de infiltración del suelo es 26.53 mm/h, superando significativamente la tasa de precipitación del aspersor, que es 4.37 mm/h. Para alcanzar este objetivo se plantearon objetivos específicos que permiten una comprensión del sistema. Se recopiló información básica que incluye levantamiento topográfico detallado mediante el uso de GPS diferencial de alta presión para generación de curvas de nivel del terreno, análisis del suelo y análisis del agua, Con los datos recolectados, se diseñó un sistema de riego agronómico e hidráulico considerando las condiciones del suelo, la calidad del agua, estaciones meteorológicas y las necesidades hídricas del cultivo de arveja. El sistema se dimensionó para un caudal de descarga de 3.33 l/s, con un intervalo de 7 días y una duración de 7 horas de riego. El diseño hidráulico fue simulado con el software SIGOPRAM, asegurando que las tuberías HDPE de línea principal de diámetros de 62 mm, 50 mm y 32 mm, estuvieran adecuadamente dimensionadas de la misma manera de las líneas laterales de 32mm de diámetro. Se colocaron 50 recipientes de plástico dentro de un marco de riego de 6 aspersores, lo que permitió obtener un coeficiente de uniformidad de Christiansen promedio de 83.81%. Se recomienda el uso de aspersores Compact impact en todo el sector de Paccopampa dado que se cumple con coeficiente de uniformidad superior al 80%.

Palabra clave: Riego por aspersión, Cultivo de arveja, Coeficiente de uniformidad

Abstract

It is essential to evaluate the uniformity of sprinkler irrigation to identify the factors that affect the efficiency of the system. The general objective of this study is to evaluate the uniformity coefficient of the sprinkler irrigation system in the pea crop (*Pisum sativum L.*) in Chacabamba at an altitude of 2955 masl - Ayacucho, 2023. The evaluation was carried out with Compact Impact sprinklers implemented in the plot, which are adequate, given that the soil infiltration rate is 26.53 mm / h, significantly exceeding the sprinkler precipitation rate, which is 4.37 mm / h. To achieve this objective, specific objectives were raised that allow an understanding of the system. Basic information was collected including detailed topographical survey using high pressure differential GPS for generating ground contour lines, soil analysis and water analysis.

With the collected data, an agronomic and hydraulic irrigation system was designed considering soil conditions, water quality, meteorological stations and water needs of the pea crop. The system was sized for a discharge flow rate of 3.33 l/s, with a 7day interval and a 7hour irrigation duration. The hydraulic design was simulated with SIGOPRAM software, ensuring that the main line HDPE pipes with diameters of 62 mm, 50 mm and 32 mm were adequately sized in the same way as the 32mm diameter lateral lines. 50 plastic containers were placed within a 6-sprinkler irrigation frame, allowing an average Christiansen uniformity coefficient of 83.81%. The use of Compact Impact sprinklers is recommended throughout the Paccopampa sector since it complies with a uniformity coefficient of over 80%.

Keywords: Sprinkler irrigation, Pea cultivation, Uniformity coefficient.

1. INTRODUCCIÓN

En la sierra peruana, se está observando un aumento en la adopción del riego tecnificado en lugar del riego por gravedad, según Ponce et al. (2016) es importante mencionar que la leve disminución en la utilización de riego en la sierra responde a diferentes tendencias según el tipo de riego que se aplique. Por un lado, la proporción de agricultores que emplean el riego por gravedad como único método ha caído del 46% al 35%. Al mismo tiempo, el uso de riego tecnificado (aspersión, goteo o exudación) ha aumentado del 1% al 5% (p. 196).

Según Huaylla (2019) los sistemas de riego tecnificado facilitan la optimización del agua al proporcionar a los cultivos la cantidad necesaria que necesitan para su crecimiento de forma efectiva, esto no solo contribuye a minimizar el desperdicio de este recurso tan valioso, sino que también ayuda a disminuir el riesgo de erosión (p. 5).

A pesar de su elevado costo de inversión, se implementa el riego tecnificado en el centro poblado de Chacabamba, ya que permite optimizar el uso del agua para riego, ampliar áreas de cultivos bajo riego y mitigar los problemas de erosión hídrica; con la finalidad de elevar los niveles de producción y productividad de los cultivos, lo que a su vez se traduce en mayores ingresos familiares.

El riego por aspersión es una técnica ampliamente utilizada en la agricultura moderna debido a su eficiencia y capacidad para proporcionar una distribución uniforme de agua sobre los cultivos. En el caso específico del cultivo de arveja (*Pisum sativum L.*) en Chacabamba – Ayacucho, el sistema de riego por aspersión se ha implementado

con el fin de mejorar la productividad y la calidad de los cultivos. Sin embargo, es fundamental evaluar el coeficiente de uniformidad para uso óptimo del agua.

El propósito del proyecto de tesis es analizar el coeficiente de uniformidad del agua en el sistema de riego por aspersión en la parcela demostrativa en cultivo de arveja (*Pisum sativum L.*), ya que en los sistemas de riego tecnificado es necesario realizar evaluaciones una vez instalado o antes de cada campaña de riego.

El área del proyecto está situada a una altitud de 2 955 msnm, en el centro poblado de Chacabamba, perteneciente al distrito de Totos, provincia de Cangallo, departamento de Ayacucho. La hipótesis principal plantea que hay diversos métodos dentro de sistemas de riego tecnificado. Sin embargo, al implementar el sistema de riego por aspersión, se establece que, según Tarjuelo (1999), en ramales fijos, el coeficiente de uniformidad varía de 70 a 88% (p. 103). por esta razón, se logra una mejora en la producción, lo que se traduce en resultados favorables en las cosechas que se realizarán en los meses siguientes a la puesta en marcha de este proyecto

El objetivo principal de este trabajo de investigación consistió en evaluar el coeficiente de uniformidad del sistema de riego por aspersión en el cultivo de arveja (*Pisum sativum L.*) en Chacabamba a una altitud de 2 955 msnm – Ayacucho, 2023

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 área de estudio

El área de estudio para el presente trabajo de investigación se estableció en centro poblado de Chacabamba, distrito de Totos, Provincia de Cangallo –

Ayacucho, a una altitud de 2955 msnm. Se utilizó datos meteorológicos de las estaciones de Huanca Sancos, Pampa Cangallo y Santa Cruz de Hospicio, con los cuales se ha regionalizado para crear una estación ficticia en la parcela demostrativa localizada a una altura de 3180 msnm, 13° 35' 47.10" latitud sur y 74° 30' 51.38" longitud oeste, serie de datos históricos de 2000 hasta 2024.

2.2 Climatología

Según la regionalización de las estaciones vecinas creada para la

estación ficticia de la zona en estudio se tiene temperatura media mensual de 9.4°C, con medias máximas de 10.9°C en marzo y medias mínimas de 8.5°C en junio siendo el periodo frio. La precipitación promedio anual, para el periodo 2000 - 2024 es de 714.6 mm; a nivel mensual, siendo enero, febrero, marzo y diciembre con mayor precipitación. La velocidad de viento máxima registrada en el mes de enero y febrero con 2.0 m/s y la mínima en los meses de marzo y abril con 1.9 m/s. (Tabla 1).

Tabla 1
Información climatológica promedio 2000 -2024

MES	HR %	T max °C	T min °C	T media °C	Precipitación mm	Viento m/s
Enero	74.6	16.5	4.9	10.5	154.3	2.0
Febrero	77.1	16.5	4.9	10.4	145.4	2.0
Marzo	78.3	16.3	5.5	10.9	130.9	1.9
Abril	68.5	16.0	3.2	10.0	46.8	1.9
Mayo	57.0	16.1	1.7	9.4	10.1	2.3
Junio	52.0	16.2	-0.4	8.5	5.0	2.2
Julio	49.5	16.6	0.3	9.2	8.0	2.2
Agosto	49.3	17.2	1.2	9.7	12.0	2.4
Setiembre	51.9	16.6	2.4	9.8	21.0	2.4
Octubre	53.1	17.0	2.6	10.0	34.5	2.3
Noviembre	55.2	16.9	3.1	10.3	40.7	2.2
Diciembre	64.6	15.6	4.1	10.1	105.8	2.0

2.3. Cálculos de diseño agronómico de riego por aspersión

Se calcula el caudal del aspersor que es de 0.33l/seg, de acuerdo a los cálculos realizados de diseño agronómico, el

módulo de riego es de 0.51 lt/seg/ha y las horas de riego por día es de 7 horas, la dotación de caudal por hectarea es de 12.72 lt/seg/ha y el caudal de diseño es de 3.33 lt/seg.

Tabla 2
Cálculos de diseño agronómico

PASOS	DESCRIPCIÓN	FÓRMULA	VALOR
Paso 1.	Calculamos el Caudal del aspersor en litros por segundo		0.33 lt/s

$$Q_{asp} = q_e / 3600$$

Paso 2.	Calculamos la Precipitación horaria efectiva de riego por aspersión	$Phr = \frac{q_e * 100}{de * dl * PAR}$	4.63 mm/Hr
Paso 3.	Se realiza una comparación de Precipitación del aspersor con infiltración básica del suelo	$Phs (aspersor) \leq I_{basica} (Suelo)$ 4.63 mm/Hr	Cumple con la condición 26.53 mm/Hr
Paso 4.	Calculamos la lámina de agua disponible, en mm a la profundidad radicular efectiva	$LD_{ZR} = (CC - PMP) * \frac{P_{ea}}{P_{EW}} * Zr * 10$	88.4 mm/zr
Paso 5.	Calculamos la lámina de agua aprovechable en la zona radicular efectiva	$LA_{ZR} = \frac{LD_{ZR} * P_A}{100}$	44.18 mm/zr
Paso 6.	Calculamos el volumen de agua disponible, en m3 a la profundidad radicular efectiva	$VD_{ZR} = LD_{ZR} * 10$	883.7 m3/Ha/zr
Paso 7.	Calculamos la evapotranspiración del cultivo	$Etc. = ETo * Kc - PP_{Efect}$	3.28 mm/día
Paso 8.	Calculamos la lámina neta	$Ln = (CC - PMP) * P_{ea} * Pr * HFU / 100$	22.80 mm
Paso 9.	Calculamos el intervalo de riego	$Ir = \frac{Ln}{Etc}$	6.96 días
	El intervalo de riego	Tomamos un valor entero superior a lo calculado	7.00 días
Paso 10.	Se realiza una comparación LR (aj) con Lazr	$Lr \leq LA_{Zr}$ 22.80 mm	Cumple con la condición 44.18 mm
Paso 11.	Calculamos el porcentaje de agua aprovechable ajustado	$Pa(aj) = \frac{Ln * 100}{LD_{Zr}}$	25.80 %
Paso 12.	Se realiza una comparación del Pa(aj) con Máximo Pa	$Pa(aj) \leq Pa$ 25.80 %	Cumple con la condición 50.0 0 %

Paso 13.	Calculamos la lámina Bruta	$Lb = \frac{Ln \cdot 100}{Ef.}$	30.40 mm
Paso 14.	Calculamos dosis de riego bruta por área	$Db = Lb \cdot 10$	303.98 m ³ /Ha
Paso 15.	Calculamos la lámina de Reposición diario	$Lrep = \frac{Lb}{Ir(aj)}$	4.37 mm/día
Paso 16.	Calculamos el módulo de Riego	$Mr. = \frac{Lrep \cdot 10000}{Tdisp \cdot 60 \cdot 60}$	0.51 l/s/ha
Paso 17.	Calculamos horas de riego por día	Se elige cuantas horas al día se requiere regar	7.00 Hr/día
Paso 18.	Calculamos horas de riego por turno	$Tr = Lb / Phr$	6.56 Hr/turno
	El tiempo de riego	Tomamos un valor entero superior a lo calculado	7.00Hr/turno
Paso 19.	Calculamos el número de Aspersores a funcionar por 01 Hectárea	$N^{\circ} Asp = \frac{Db \cdot 1000}{QAsp \cdot Tr \cdot 3600}$	38 Asper./ Ha

Calculamos la Dotación de Caudal por Hectárea

Paso 1.	Calculamos la precipitación Media del Sistema	$Pms = \frac{Lb}{Tr}$	4.58 mm/hr
Paso 2.	Se realiza una comparación del Phr y Pms	$Phr \geq Pms$	Cumple con la condición
		4.63 mm/hr	4.58 mm/hr
Paso 3.	Calculamos la dotación de Caudal por Hectárea (01)	$Dot = \frac{Mr \cdot Ir(aj) \cdot Tdisp}{Tr}$	12.72 l/s/ha

2.4. Cálculos de diseño hidráulico de riego por aspersión

El diseño hidráulico se basó en determinar el flujo de agua y la presión en el punto de entrada que alimentará el área del proyecto. Esto permitió elegir los diámetros adecuados de tubería en cada uno de los componentes del sistema, se aseguró que la velocidad del agua en las tuberías estuviera dentro de límites y que las pérdidas de presión

fueran controladas. Además, se verifico que la cantidad de agua que llega a cada punto sea la adecuada, así evitando desviaciones significativas

2.5. Implementación del sistema de riego tecnificado por aspersión en la parcela demostrativa

Una vez concluidos con los cálculos correspondientes del diseño agronómico e hidráulico y así como el dimensionamiento adecuado y elaborado

3.2. Análisis de agua

Según los resultados obtenidos del laboratorio el pH del agua es ligeramente alcalina adecuado para el riego, el RAS es menor de 3 indica que el agua tiene un bajo riesgo de generar libre de problemas de salinidad en el suelo, el agua es moderadamente dura y tiene una clasificación C2-S1 como se detalla en la **Tabla 3**.

3.3. Análisis de suelo

Según los resultados obtenidos del laboratorio de la parcela en estudio el suelo arroja una textura franco arenosa con capacidad de campo de 29.8%, punto de marchitez permanente de 16.1% y una densidad aparente 1.29 g/cc, como se detalla en la **Tabla 4**.

3.4. Diseño agronómico

Cálculo de demanda de agua

La demanda de agua de acuerdo a los cálculos realizados como resultado se muestra en la **Tabla 5**, la mayor demanda de agua resulta en el mes de julio (mes más crítico) donde la demanda total mensual es de 352 m³/mes y el módulo de riego es de 0.5159 l/s/ha para un área de riego de 0.26 Ha, donde el caudal de diseño es de 3.33 l/s

Necesidades de riego

A partir a los cálculos realizados sobre demanda de agua, se obtuvo un caudal óptimo de diseño de 3.33 litros/seg. para un tiempo de 24 horas ya que se dispone de un sistema de almacenamiento (reservorio). La capacidad de descarga del reservorio es de 15 litros/seg (de acuerdo al expediente existente del proyecto ejecutado). Para el diseño del sistema de riego, se ha optado por utilizar el aspersor Compact Impac, seleccionado basado en las condiciones

topográficas del área de intervención, teniendo un intervalo de riego de 7 días, como se detalla en la **Tabla 6**.

3.5. Diseño Hidráulico

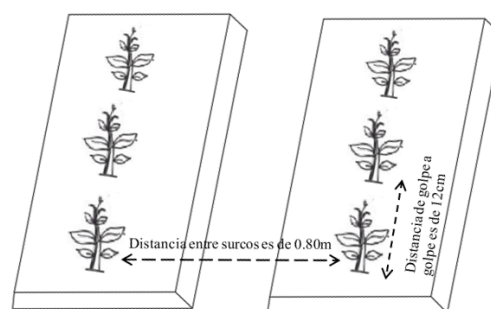
Los resultados de los diámetros de tubería, longitudes de tubería, velocidades, caudal de diseño etc., se calcularon con el programa SIGOPRAM, para las pérdidas de carga se utilizó la fórmula de Darcy, los resultados se muestran en la **Tabla 7**.

3.6. Cultivo de arveja

El cultivo de arveja de variedad criolla se sembró en 17 del mes de abril del 2024 en un área de 0.12ha. Se estableció un distanciamiento entre surcos de 0.80 m, distanciamiento entre golpe a golpe de 10 a 12cm y en cada golpe se sembraron 2 a 3 semillas, lo que incrementa la probabilidad de una germinación exitosa, como se ilustra en la **Figura 2**.

Figura 2

Dimensiones de la siembra de cultivo de arveja (Pisum sativum L.)



3.7. Evaluación de área de estudio

Presión

En la parcela Paccopampa, durante las horas de evaluación indicadas (07:00, 13:00 y 18:00), se registraron las presiones máximas y mínimas en bares. A las 07:00, la presión máxima alcanzó 2.86 bar, mientras que

la mínima fue de 2.72 bar, resultando en un promedio de 2.79 bar. A las 13:00, la presión máxima observada fue de 2.65 bar, con una presión mínima de 2.60 bar, lo que dio lugar a un promedio de 2.63 bar. Finalmente, a las 18:00, la presión máxima fue de 2.75 bar y la mínima de

2.61 bar, resultando en un promedio de 2.68 bar. En conjunto, el promedio general de todas las mediciones fue de 2.70 bar, reflejando una variación en las presiones a lo largo del día, los resultados se muestran en la **Tabla 8** y **Figura 3**.

Tabla 3

Análisis del agua

pH		7.96
CE	dS/m	0.61
Sólidos en suspensión	g/litro	0.098
Sales solubles totales	ppm	313.0
Relación de adsorción de sodio		1.81
Carbonato de sodio residual	meq/L	-2.90
Dureza total	ppm CaCO ₃	292.0
clasificación		C2 – S1

Tabla 4

Análisis de suelo

Muestra	Análisis Granulométrico			Clase Textural	Densidad Aparente (g/cc)	Capacidad de Campo (%)	Punto de Marchites (%)
	%Arena	%Limo	%Arcilla				
Suelo	44.2	19.1	36.7	Fr - Ar	1.29	29.8	16.1

Tabla 5

Cálculo de demanda de agua

Descripción	Fórmula	Unidad	Meses												Total
			Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Eto	Dato	mm/día				3.10	2.83	2.71	2.85	3.22					
Kc	Dato					0.38	0.70	1.15	1.15	0.70					
Uso Consultivo o Evaporación Real	$ET_c = ET_o \cdot K_c$	mm/día				1.18	1.98	3.12	3.28	2.26					
Precipitación Efectiva	Dato	mm/día				0.83	0.00	0.00	0.00	0.00					
Lamina Netas del Cultivo	$L_n = ET_c - PE$	mm/día				0.35	1.98	3.12	3.28	2.26					10.98
Eficiencia de aplicación	Dato	%				75%	75%	75%	75%	75%					
	$L_r = L_n / EF$	mm/día				0.47	2.64	4.15	4.37	3.01					14.64
Lamina real o bruta del Cultivo	$L_r = (L_n / EF) \cdot 10$	m3-ha/día				4.65	26.43	41.55	43.73	30.08					146.43
N° de Días del Mes	Dato					30	31	30	31	31					
Demanda Total Unitaria - Mensual	$D_{tu} = L_r \cdot \#Días$	m3/ha/mes				140	819	1,246	1,356	932					4,493
Área de Riego	Dato	ha				0.26	0.26	0.26	0.26	0.26					
Demanda Total - Mensual	$D_{tm} = D_{tu} \cdot A$	m3/mes				36	213	324	352	242					1,168
Demanda Total - Diaria	$D_{td} = D_{tm} / \# \text{ de días}$	m3/día				1	7	11	11	8					38

Tabla 48: Cálculo del volumen demandado de cultivo de Arveja para tiempo de operación de 24 horas

Descripción	Cálculo	Unidad	Meses												Total
			Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Módulo de Riego		l/s / ha				0.05	0.31	0.48	0.51	0.35					
Demanda Total Diaria		m3/día				1	7	11	11	8					38
Demanda Total Mensual		m3/mes				36	213	324	352	242					1,168
Demanda de agua		l/s							0.13 l/s						3.33

Tabla 6

Necesidades de riego de cada aspersor

SISTEMA DE RIEGO		
Método		Aspersión
Eficiencia:		75.0 %
traslape entre aspersores (de, dl)		85.00%
Modelo del Aspersor	Compact Impact Boq. # 11 Amarilla (4.37mm)	
Presión nominal de operación		27.00 m
Caudal nominal del aspersor		1189.5 litros/hora
Diámetro efectivo		27.87 m
Angulo de cobertura:		360 °
Espaciamiento entre emisores	de	16.0 m
	dl	16.0 m
Máx. horas de operación x día		7.00 Hr
Numero de Aspersores máximo		10 Asper.
Caudal de un aspersor		0.333 litros/seg

Tabla 7

Comportamiento hidráulico de la red de tuberías

Departamento : Ayacucho				Distrito : Totos				Lugar : Paccopampa												
Provincia : Cangallo				Centro Poblado : Chacabamba																
Tipo	Material	Nodo inicial	Nodo Final	Diámetro Nominal (mm)	Diámetro Interior (mm)	Diámetro referencial (pulg)	Clase	Rugosidad	Longitud (m)	Cota inicial (msnm)	Cota final (msnm)	Diferencia de cotas (msnm)	Pendiente (%)	Presión Estática (mca)	Presión Dinámica (mca)	Perdidas Totales (m)	Velocidad Máxima (m/seg)	Velocidad Mínima (m/seg)	Velocidad (m/seg)	Caudal de Diseño (m3/seg)
Tubería Principal	HDPE	P1	P2	63	57.00	2	C - 6	0.02	49.98	3218.27	3201.64	16.63	0.33	24.40	22.96	1.44	2.50	0.50	1.24	3.00
Tubería Principal	HDPE	P2	P3	63	57.00	2	C - 6	0.02	24.54	3201.64	3192.93	8.71	0.35	32.35	27.99	0.60	2.50	0.50	1.14	3.33
Tubería Principal	HDPE	P3	P4	50	45.20	1 1/2	C - 6	0.02	17.05	3192.93	3185.82	7.11	0.42	32.40	29.70	0.66	2.50	0.50	1.25	2.00
Tubería Principal	HDPE	P4	P5	32	28.00	1	C - 8	0.02	9.13	3185.82	3182.28	3.54	0.39	36.40	28.00	5.69	2.50	0.50	1.62	1.00
Tubería Principal	HDPE	P5	P6	32	28.00	1	C - 8	0.02	6.66	3182.28	3180.17	2.11	0.32	38.40	29.24	0.76	2.50	0.50	1.62	1.00
Tubería Lateral	HDPE	P2	L1	32	28.00	1	C - 8	0.02	9.28	3201.64	3200.59	1.05	0.11	26.93	25.69	0.10	2.50	0.50	0.59	0.33
Tubería Lateral	HDPE	P3	L2	32	28.00	1	C - 8	0.02	7.19	3192.93	3193.56	-0.63	-0.09	31.60	27.90	0.67	2.50	0.50	1.65	1.00
Tubería Lateral	HDPE	L2	L3	32	28.00	1	C - 8	0.02	16.00	3192.56	3193.58	-1.02	-0.06	31.64	27.32	0.69	2.50	0.50	1.00	0.67
Tubería Lateral	HDPE	L3	L4	32	28.00	1	C - 8	0.02	16.00	3192.58	3194.17	-1.59	-0.10	31.72	26.53	0.19	2.50	0.50	0.61	0.33
Tubería Lateral	HDPE	P4	L5	32	28.00	1	C - 8	0.02	7.62	3185.82	3185.33	0.49	0.06	33.01	28.94	0.89	2.50	0.50	1.64	1.00
Tubería Lateral	HDPE	L5	L6	32	28.00	1	C - 8	0.02	16.00	3185.34	3186.89	-1.55	-0.10	33.01	28.19	0.87	2.50	0.50	1.08	0.67
Tubería Lateral	HDPE	L6	L7	32	28.00	1	C - 8	0.02	16.00	3185.89	3187.23	-1.34	-0.08	32.64	26.59	0.24	2.50	0.50	0.63	0.33
Tubería Lateral	HDPE	P6	L8	32	28.00	1	C - 8	0.02	7.31	3180.17	3180.93	-0.76	-0.10	38.61	28.62	0.83	2.50	0.50	1.62	1.00
Tubería Lateral	HDPE	L8	L9	32	28.00	1	C - 8	0.02	16.00	3179.93	3180.03	-0.10	-0.01	38.61	27.33	0.85	2.50	0.50	1.07	0.67
Tubería Lateral	HDPE	L9	L10	32	28.00	1	C - 8	0.02	16.00	3180.03	3181.90	-1.87	-0.12	38.17	26.35	0.24	2.50	0.50	0.63	0.33

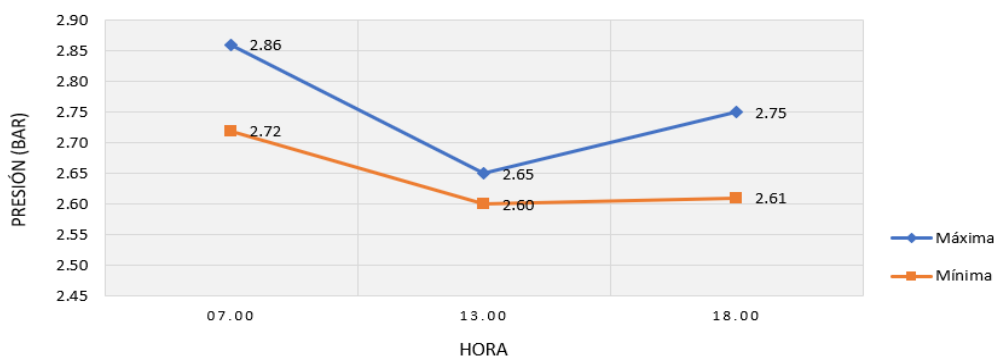
Tabla 8

Presiones máximas y mínimas en bares

Parcela Paccopampa	Hora de Evaluación			Promedio
Presión (bar)	07.00	13.00	18.00	
Máxima (bar)	2.86	2.65	2.75	2.75
Mínima (bar)	2.72	2.60	2.61	2.64
Promedio	2.79	2.63	2.68	2.70

Figura 3

Evaluación de presiones máximas y mínimas en bares



3.8. Evaluación de coeficiente de uniformidad

La evaluación de coeficiente de uniformidad se hizo 03 repeticiones por el método de Christiansen en la mañana, medio día y en la tarde utilizando la siguiente formula:

$$CU = 1 - \frac{\sum |d|}{M * n}$$

Donde:

$\sum |d|$ = Suma de los valores absolutos de las desviaciones en los puntos de control, con respecto a la medida $|d|$ de la lámina infiltrada.

M = Valor medio de la lamina infiltrada en los puntos de control

n = Numero de puntos de control

Aplicación de la fórmula del Coeficiente de Uniformidad de Christiansen en la parcela de Paccopampa, evaluación en el horario de 07.00 horas a 09.00 horas.

El resultado de los cálculos realizados de coeficiente de uniformidad en la línea lateral, haciendo uso de la ecuación de Christiansen es de 82.77%, el volumen recogido se muestra en la **Tabla 9**, este resultado durante las primeras horas del día presenta una distribución uniforme

ver **Figura 4**, lo cual indica que el tamaño de partículas tiene una variabilidad moderada,

Aplicación de la fórmula del Coeficiente de Uniformidad de Christiansen en la parcela de Paccopampa, evaluación en el horario de 13.00 horas a 15.00 horas.

El resultado de los cálculos realizados de coeficiente de uniformidad en la línea lateral, haciendo uso de la ecuación de Christiansen es de 84.9%, el volumen recogido se muestra en la **Tabla 10**, la medición realizada al medio día mostro el mayor coeficiente de uniformidad como se observa la distribución de lluvia en la **Figura 5**.

Aplicación de la fórmula del Coeficiente de Uniformidad de Christiansen en la parcela de Paccopampa, evaluación en el horario de 16.10 horas a 18.00 horas.

El resultado de los cálculos realizados de coeficiente de uniformidad en la línea lateral, haciendo uso de la ecuación de Christiansen es de 83.77% el volumen recogido se muestra en la **Tabla 11** representa una ligera disminución respecto al medio día como se observa en la distribución de lluvia en la **Figura 6**.

Tabla 9

Volumen recogido de recipientes de plástico (ml) – Prueba 1 (primeras horas de la mañana)

Asp 1											Asp 2		Asp 3			
	36 ml	62 ml	42 ml	39 ml	36 ml	56 ml	60 ml	36 ml	58 ml	32 ml						
	35 ml	39 ml	30 ml	42 ml	52 ml	36 ml	44 ml	44 ml	44 ml	46 ml						
	68 ml	62 ml	58 ml	58 ml	40 ml	42 ml	42 ml	62 ml	58 ml	38 ml						
	52 ml	68 ml	64 ml	52 ml	48 ml	49 ml	54 ml	61 ml	54 ml	52 ml						
Asp 4		50 ml	48 ml	50 ml	52 ml	60 ml	60 ml	58 ml	52 ml	44 ml	38 ml	Asp 6				

Figura 4

Lluvia de prueba de coeficiente de uniformidad por método de Christiansen - Prueba 1

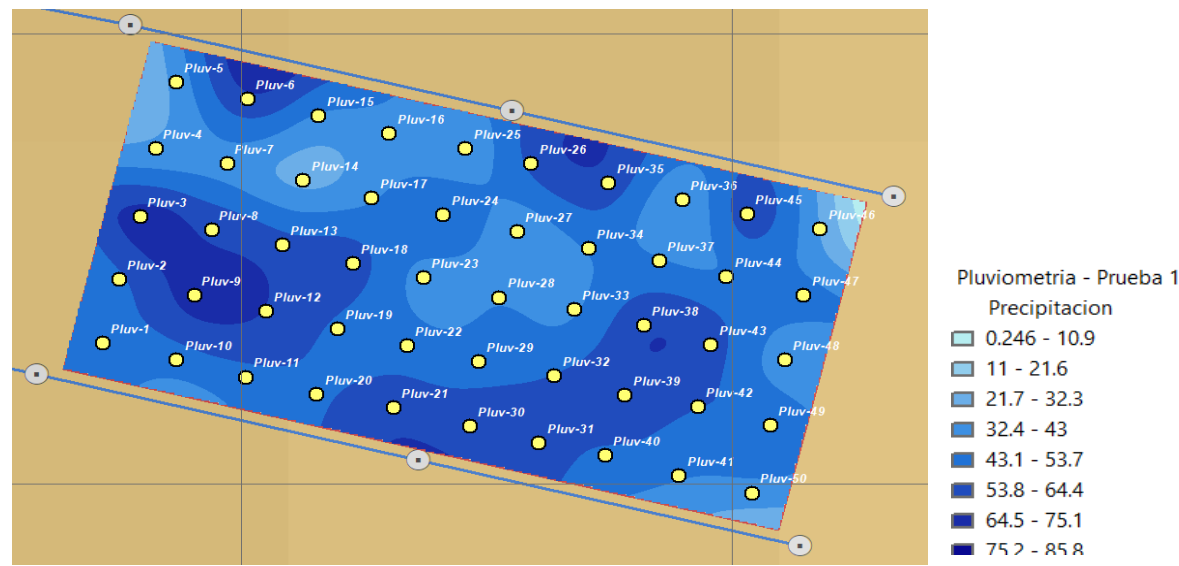


Tabla 10

Volumen recogido de recipientes de plástico (ml) – Prueba II (Medio día)

Asp 1											Asp 2		Asp 3	
	35 ml	42 ml	43 ml	42 ml	59 ml	51 ml	43 ml	40 ml	34 ml	36 ml				
	60 ml	36 ml	43 ml	52 ml	49 ml	48 ml	45 ml	52 ml	38 ml	39 ml				
	60 ml	64 ml	65 ml	40 ml	40 ml	45 ml	53 ml	67 ml	60 ml	43 ml				
	40 ml	42 ml	54 ml	60 ml	50 ml	46 ml	52 ml	60 ml	65 ml	55 ml				
Asp 4		46 ml	51 ml	54 ml	55 ml	50 ml	52 ml	64 ml	60 ml	52 ml	49 ml	Asp 6		

Figura 5

Lluvia de prueba de coeficiente de uniformidad por método de Christiansen - Prueba II

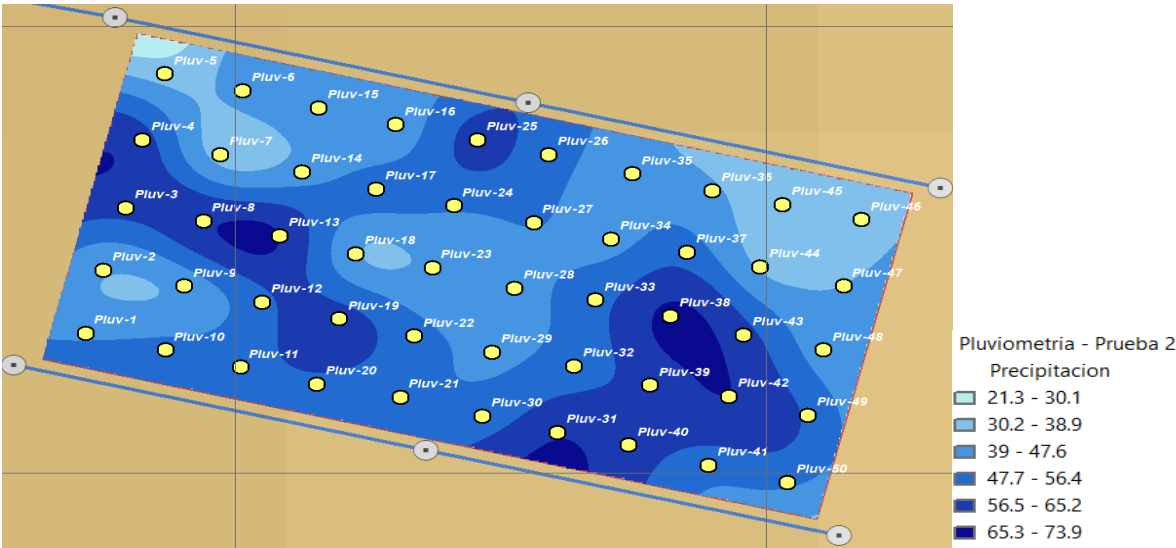


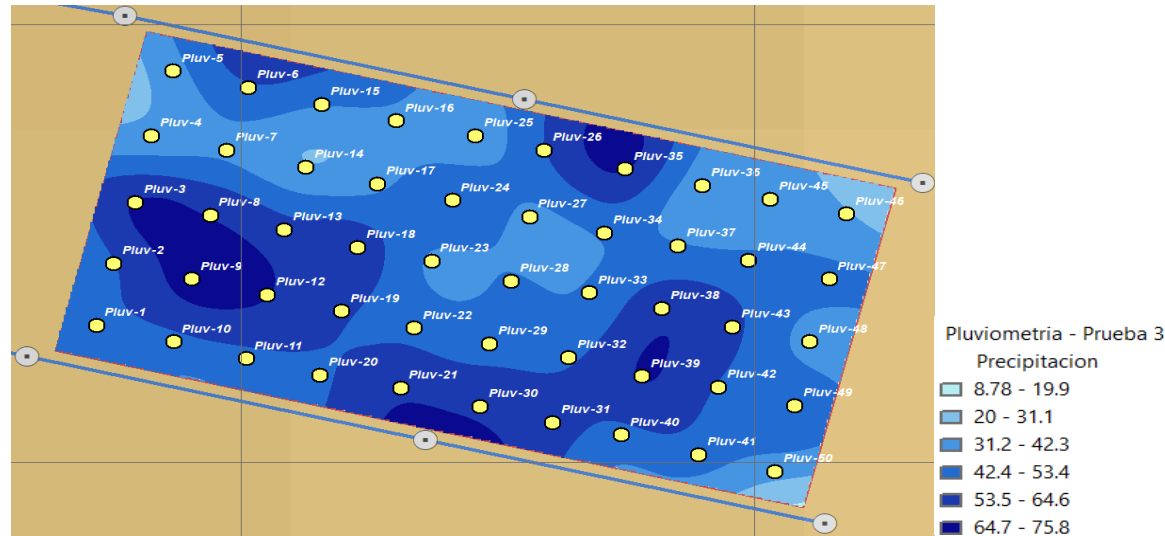
Tabla 11

Volumen recogido de recipientes de plástico (ml) – Prueba III (Tarde)

Asp 1	Asp 2					Asp 3				
38ml	52ml	43ml	40ml	36ml	53ml	65ml	36ml	38ml	32ml	
35ml	40ml	32ml	40ml	52ml	40ml	44ml	43ml	44ml	45ml	
65ml	64ml	58ml	60ml	41ml	43ml	44ml	61ml	56ml	39ml	
53ml	69ml	65ml	55ml	50ml	49ml	52ml	65ml	53ml	52ml	
52ml	50ml	50ml	52ml	62ml	62ml	58ml	50ml	48ml	35ml	
Asp 4	Asp 5					Asp 6				

Figura 6

Lluvia de prueba de coeficiente de uniformidad por método de Christiansen - Prueba III



4. DISCUSIÓN

4.1 *Discusión de recopilación de datos*

Durante el levantamiento topográfico de la parcela en estudio se utilizó GPS diferencial, este equipo es confiable debido a la precisión que varía de 0.1 a 1.0 metros lo que garantiza la exactitud de datos recopilados, como resultado se muestra curvas de nivel cada un metro de distancia como se detalla en plano topográfico, esta información es importante para el diseño agronómico e hidráulico de la parcela ya que proporciona una comprensión clara de la topografía del terreno

De acuerdo a resultados de laboratorio de análisis físico del suelo la parcela en estudio presenta suelo de textura franco arenosa, cuando se ha ingresado al diagrama triangular de las clases texturales básicas del suelo según el tamaño de partículas, de acuerdo con el USDA la clase textural a la cual pertenece es franco arcilloso arenoso

La velocidad de infiltración del suelo en la parcela estudiada es de 26.53 mm/hora, este valor se encuentra dentro del rango establecido de 20 a 30 mm/hora, lo que indica que el suelo tiene una capacidad adecuada para absorber agua a una tasa considerablemente más que la pluviometría del sistema de riego por aspersión (Compac Impact) que es de 4.37mm/hora. Este rango sugiere que el suelo puede recibir eficientemente el agua de riego o de lluvia sin generar problemas de escorrentía o encharcamiento.

Así mismo se verificó la disponibilidad de agua en el canal existente de Paccopampa de donde se tomó una muestra para su análisis en laboratorio. Los resultados obtenidos

indican que la calidad de agua es óptima para riego debido a que el pH del agua es ligeramente alcalino lo que es adecuado para el riego de los cultivos. Así mismo el RAS es inferior a 3 lo que indica que el agua presenta un bajo riesgo de generar problemas de salinidad en el suelo y tiene una clasificación C2-S1, donde C2 indica que algunas plantas son sensibles y pueden mostrar estrés a sales; aunque se puede prevenir la acumulación de sales en el suelo a través de una lixiviación moderada, por otro lado, la clasificación S1 señala que el agua puede utilizarse para el riego, prácticamente en todos los tipos de suelo sin peligro de deteriorar la estructura del mismo.

4.2. *Discusión de diseño agronomico e hidraulico*

Para el cálculo de ETo se aplicaron 4 métodos empíricos que son: método de Hargreaves en base a la radiación arroja un valor de 2.85mm/día para el mes de julio, método de Hargreaves en base a la temperatura arroja un valor de 2.77mm/día para el mes de julio, método de Linacre arroja un valor de 3.47 mm/día para el mes de julio y método de Serruto arroja un valor de 2.53 mm/día para el mes de julio, como se observa los resultados obtenidos mediante estos métodos defieren, por lo tanto, para el presente estudio se optó por utilizar el método empírico Hargreaves en base a la radiación que es de 2.85mm/día para el mes de julio, debido a la escases de datos meteorológicos disponibles en la zona en estudio.

El caudal de diseño para el sistema de riego por aspersión es de 3.33 litros/seg, valor que es significativamente menor que el caudal del canal existente, que es de 15 litros/seg. Esta diferencia indica que la

capacidad del canal es más que suficiente para abastecer el sistema de riego de la parcela en estudio.

4.3. Discusión de implementación de riego por aspersión

La implementación del sistema de riego a partir del diseño agronómico e hidráulico permitirá las satisfacciones de las necesidades hídricas del cultivo de arveja criolla que se ha sembrado en un área de 0.12ha.

4.4. Discusión de evaluación de coeficiente de uniformidad

Las evaluaciones realizadas al sistema implementado fueron 3 en la parcela en estudio y arroja un 82.77% en la mañana, 84.9% al medio día y de 83.77% por la tarde, mediante la fórmula de Christiansen, se encuentran en un rango de 0.80 a 0.85, esto garantiza para cultivos con sistemas radicales de profundidad media en suelos de textura media.

5. CONCLUSIONES

Se evaluó el coeficiente de uniformidad mediante la fórmula de Christiansen, obteniendo un promedio de las tres mediciones (mañana, medio día y tarde) de 83.81%, un valor que se sitúa dentro del rango bueno de 80% al 90%, indicando que el sistema de riego por aspersión, así como sus características operativas y de diseño, estuvieron bien planteados y funcionando de manera adecuada.

La parcela en estudio presenta suelo de textura franco arenosa con una capacidad de campo de 29.8%, punto de marchitez permanente de 16.1%, una densidad aparente 1.29 y el pH del agua es ligeramente alcalina, el RAS es menor de 3, moderadamente dura, clasificación C2-S1.

La evaluación agronómica calculada indica que la selección del aspersor (Compact Impact), es adecuada debido a que la velocidad de infiltración de suelo es de 26.53mm/hora lo cual supera la tasa de precipitación del aspersor que es de 4.37mm/hora

El diseño hidráulico se evaluó mediante una simulación realizada con el software SIGOPRAM, con el fin de determinar las presiones de diseño en la parcela objeto de estudio. Se emplearon tuberías de diámetros de 62, 50 mm y 32 mm, clasificadas en clase 6 y clase 8, conforme a las presiones específicas de cada tramo. Los resultados de esta simulación permitirán asegurar que el sistema de tuberías esté adecuadamente dimensionado para satisfacer las necesidades de presión y flujo requeridas en la parcela, contribuyendo a la eficiencia del sistema hidráulico.

Se ha diseñado un esquema hidráulico que establece un caudal de descargar de 3.33 litros/seg, lo que garantiza un suministro adecuado de agua para el riego. La frecuencia de riego se ha fijado en 7 días con una duración de riego de 7 horas.

Se implementó el diseño de riego tecnificado por aspersión en la parcela demostrativa de acuerdo al diseño planteado en un área de 0.26 ha, y se sembró arveja criolla en un área de 0.12 ha.

Se calculó el coeficiente de uniformidad mediante la fórmula de Christiansen, obteniendo los valores de 82.77% en la mañana, 84.9% al medio día y de 83.77% por la tarde, siendo al medio día un valor alto de coeficiente de uniformidad, el promedio de las tres mediciones llega a un 83.81% que está dentro del rango de 80% al 85%.

5. RECOMENDACIONES

Se recomienda utilizar el software SIGOPRAM para simular el sistema de riego por aspersión debido que es un programa integral y eficiente para el modelado hidráulico que permitirá analizar y optimizar la distribución del agua. Mediante esta simulación, se podrán evaluar diferentes escenarios de riego, ajustar parámetros como caudales y tiempos de riego, y mejorar la uniformidad en la aplicación del agua.

De acuerdo a los resultados obtenidos de coeficiente de uniformidad se recomienda realizar los riegos durante las horas de la mañana, lo que permitirá

una distribución más eficiente del agua y reducirá la evaporación.

Se recomienda a los usuarios del sector de paccopampa utilizar el sistema de riego por aspersión con aspersores de tipo Compat Impact debido a que la evaluación de coeficiente de uniformidad es superior al 80% que indica que el sistema de riego proporciona una distribución del agua de manera uniforme a lo largo de la parcela.

Se recomienda realizar una limpieza periódica de los filtros de succión del agua ya que la acumulación de la sociedad y sedimentos pueden obstruir a los emisores y afectar el coeficiente de uniformidad.

6. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Absalón, V., Vásquez, I., & Vílchez, G. (2009). Principios básicos del riego. Facultad de Ingeniería Agrícola, Departamento de Recursos de Agua y Tierra, Instituto Internacional de Riego, UNA La Molina-Perú.
- Barboza Blanco, J. J., & Mijahuanca Chuquillanque, J. (2022). Evaluación del Coeficiente de Uniformidad y Eficiencia de Aplicación del sistema de riego por aspersión Veras-Sector de Yerba Buena-Cajamarca.
- Carnicer, S., Porta, M., & Pérez, G. L. (2020). Guía para muestreo de suelos agrícolas.
- Castañón, G. (2000). Ingeniería del riego: utilización racional del agua (Issues 84-283-2733-5. FT 02-E11.). ITES-Paraninfo.
- Checa Coral, O. E., Rodríguez Rodríguez, D. M., Ruiz Eraso, M. H., & Muriel Figueroa, J. E. (2022). La Arveja-Investigación y Tecnología en el Sur de Colombia.
- Checa, O., Rodríguez, D., Ruiz, M., & Muriel, J. (2022). La arveja, investigación y tecnología en el Sur de Colombia. Universidad de Nariño.
- De la Cruz, J. (2015). Evaluación del coeficiente de uniformidad y eficiencia de aplicación en el sistema de riego por aspersión pacurisocos-Ayacucho.
- Durand Rojas, G. (2018). Evaluación del coeficiente de uniformidad de Christiansen en riego por aspersión con línea lateral unitaria en el distrito Huambo, provincia Caylloma, región Arequipa.
- Fernández, R., Oyonarte, N., García, J., Yruela, M. d, Milla, M., Ávila, R., & Gavilán, P. (2010).

- Manual de Riego para Agricultores Módulo 3: Riego por Aspersión. Junta de Andalucía. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. Sevilla España.
- Fernández, R., Yruela, M., Milla, M., García, J., & Oyonarte, N. (2010). Manual de riego para agricultores. Sevilla, España: INIFAP.
 - Galindo-Pacheco, J. R. (2020). Arveja (*Pisum sativum* L.): Manual de recomendaciones técnicas para su cultivo en el departamento de Cundinamarca. Universidad Nacional de Colombia-UNAL.
 - G Allen, R., S Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo.
 - García, F. (2003). Curso básico de topografía: planimetría, agrimensura, altimetría. México, DF: Editorial Pax México.
 - González Villa, F. J. (2011). Ubicación óptima de hidrantes multiusuario en redes de riego a presión mediante el empleo de modelos de localización-asignación.
 - Gutiérrez - Ninahuaman, C., & González-Herrera, R. (2021). Software to analyze ETo. Compilation of indirect methods. Environmental Modelling & Software, 142, 105056.
 - Hendriks, J. (1986). Distribución de aguas en sistemas de riego: Problemas y Alternativas. Allpanchis, 18(28), 185–210.
 - Huaylla Limachi, L. (2019). Sistemas de riego tecnificado. Instituto de Capacitación Del Oriente (ICO), 1–26.
 - Infoagro. (2008a). Cultivo del Guisante.
 - Infoagro. (2008b). El cultivo del guisante.
 - Mendoza, R. B., & Espinoza, A. (2017). Guía técnica para muestreo de suelos.
 - Minchala, L., & Guaman, M. (2004). El cultivo de arveja en la Sierra Sur.
 - Montes de Oca, M. (1984). Topografía.
 - Morales Piñeros, Y., & Contreras, V. (2021). Evaluación de tres diferentes densidades de siembra sobre el rendimiento de arveja (*Pisum sativum* L.) variedad Rabo de Gallo, en la vereda San José del municipio de Mutiscua, Norte de Santander.
 - Palomino Huamaní, E. (2016). Diseño del sistema de riego por aspersión en función a la programación de riego en la comunidad de Urpaypampa-2016.
 - Ponce, C., Arnillas, C. A., & Escobal, J. (2016). Cambio climático, uso de riego y estrategias de diversificación de cultivos en la sierra peruana.
 - Programa Subsectorial de Irrigaciones. (2014). Operación y Mantenimiento del Sistema de Riego por Aspersión en Laderas.
 - Ramos Ramos, M. P., & Báez Rivera, D. F. (2013). Diseño y construcción de un sistema de riego por aspersión en una parcela demostrativa en el Cantón Cevallos. Escuela Superior Politécnico de Chimborazo.
 - Redondo, M. Á. M. (2018). Diseño agronómico e hidráulico de riegos agrícolas a presión. Editorial Agrícola Española.

- Solórzano Angulo, A. J. (2012). Diseño e implementación de un sistema de riego por aspersión, en cacao (*theobroma cacao* L) en el campus de la ESPAM-MFL. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.
- Soto, H. J. (2002). Manual para el diseño y gestión de pequeños sistemas de riego por aspersión en laderas. Cusco, Perú: MASAL.
- Suasnabar Astete, C., Marmolejo Gutarra, D., Torres Suárez, G., Munive Cerrón, R. V., Valverde Cadillo, A. A., & Gamarra Sánchez, G. (2021a). Cultivo de Arveja.
- Suasnabar Astete, C., Marmolejo Gutarra, D., Torres Suárez, G., Munive Cerrón, R. V., Valverde Cadillo, A. A., & Gamarra Sánchez, G. (2021b). Cultivo de Arveja.
- Tarjuelo Martín-Benito, J. M. (1999). El riego por aspersión y su tecnología.
- Trujillo, A. T., Méndez, I. D., & López, E. I. (n.d.). Diseño de un sistema de riego por microaspersión automatizado para el cultivo de guanábana "*annona muricata*" mediante el uso de las herramientas SIG Design of an automated irrigation system by microaspersion for growing soursop" *annona muricata*" using GIS tools.
- Venegas Marcalla, W. P. (2011). Evaluación de dos bioles a partir de dos fuentes orgánicas (bovino y cobayo) a cuatro dosis de aplicación en dos variedades del cultivo de arveja (*pisum sativum*) en la comunidad de Planchaloma Toacaso Latacunga 2011.
- Villacís Stacey, M. B. (2012). Diseño de un sistema de riego por aspersión. Universidad San Francisco de Quito.
- Yagüe, J. L. F. (2003). Técnicas de riego. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.