

**UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO
ÁREA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS
Y RECURSOS NATURALES
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**



TESIS DE GRADO

**EVALUACIÓN TÉCNICA DE UN MÉTODO ARTESANAL DE RIEGO
(TUBERIAS DE ASPERSIÓN) EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL
DE KALLUTACA.**

Por:

Jhon Quispe Choque

EL ALTO – BOLIVIA

Septiembre , 2025

**UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO
ÁREA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS
Y RECURSOS NATURALES
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

**EVALUACIÓN TÉCNICA DE UN MÉTODO ARTESANAL DE RIEGO (TUBERIAS DE
ASPERSIÓN) EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL DE KALLUTACA**

*Tesis de Grado presentado
como requisito para optar el Título de
Ingeniero Agrónomo*

Jhon Quispe Choque

Asesores:

Lic. Ing. Guiber Guarachi Condori

M. Sc. Ing. Ramiro Raúl Ochoa Torrez

Tribunal Revisor:

M. Sc. Lic. Ing. Ciro Raúl Quiape Callocosi

M. Sc. Lic. Ing. Diego Orlando Tola Aguilar

Lic. Ing. Rene Felipe Coronel Cortez

Aprobada

Presidente Tribunal Examinador

DEDICATORIA:

Dedico a mis queridos padres por su amor incondicional, por ser mi ejemplo de esfuerzo, sacrificio y perseverancia. Gracias por creer en mí incluso en los momentos más difíciles, por motivarme a seguir adelante y por enseñarme que los sueños se alcanzan con trabajo y humildad.

A mi hermano por su compañía constante, su apoyo y sus palabras de aliento en cada etapa de este camino. Gracias por ser parte fundamental de mi vida y por estar presentes, cada uno a su manera, en este logro tan importante para mí.

Con todo mi cariño y gratitud, esta tesis es también de ustedes

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco profundamente a Dios, por ser mi guía y fortaleza en cada paso de este camino académico. Su sabiduría y amor infinito han iluminado mi camino, brindándome la fuerza y la claridad necesarias para superar los desafíos y alcanzar este logro.

A mis padres, por su amor incondicional y apoyo constante por ayudarme en los momentos más difíciles para no darme por vencido y seguir adelante sin perder mis principios y humildad

A la Universidad Pública de El Alto, a la Carrera de Ingeniería Agronómica, a todos los docentes quienes guiaron mi camino y me formaron en el transcurso de toda la carrera.

A mis asesores Lic. Ing. Guiber Guarachi Condori, por toda la paciencia que tuvo para orientarme y brindarme su apoyo durante toda la etapa de investigación es un ejemplo a seguir, un excelente profesional; y al M. Sc. Lic. Ing. Ramiro Raúl Ochoa Torrez gracias por el apoyo, por los consejos, comprensión y guiarme en la culminación del presente trabajo de tesis.

Un agradecimiento especial, al Tribunal Examinador: M. Sc. Lic. Ing. Ciro Raúl Quiape Callocosi, M. Sc. Lic. Ing. Diego Orlando Tola Aguilar, Lic. Ing. Rene Felipe Coronel Cortez, por el interés mostrado desde el inicio para el emprendimiento de esta tesis, por las sugerencias y correcciones coadyuvando con mucha paciencia en su desarrollo muchas gracias.

Agradecer a todos mis amigos y compañeros por los buenos momentos que hemos compartido y por todo el apoyo brindado durante la carrera.

CONTENIDO

ÍNDICE DE TEMAS	i
ÍNDICE DE CUADROS.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xi
ABREVIATURAS	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiii

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Planteamiento del problema.....	2
1.2. Justificación.....	2
1.3. Objetivos	3
1.3.1. Objetivo general.....	3
1.3.2. Objetivos específicos.....	3
1.4. Hipótesis	3
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. El riego	4
2.2. Riego agrícola.....	4
2.3. Riego en la agricultura.....	4
2.4. Emisor de riego.....	5
2.5. Métodos de riego	5
2.6. Clasificación de métodos de riego.....	6
2.6.1. Riego localizado.....	6
2.6.2. Riego por aspersión.....	7

2.6.2.1.	Ventajas y desventajas del riego por aspersión	8
2.7.	Clasificación de los sistemas de riego por aspersión	9
2.7.1.	Componentes de riego por aspersión	10
2.7.2.	Características de riego por aspersión.....	11
2.7.3.	Método de riego de las cintas de aspersión.....	12
2.7.3.1.	Características de las cintas de aspersión.....	12
2.7.3.2.	Características relevantes para riego por aspersión.	13
2.8.	Diseño de riego	14
2.8.1.	Diseño agronómico	14
2.8.2.	Diseño Hidráulico	16
2.9.	Parámetros de evaluación	17
2.9.1.	Coeficiente de uniformidad (CU)	18
2.9.2.	Eficiencia de aplicación (Ea)	19
2.10.	Aspersores Caseros	20
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	21
3.1.	Localización	21
3.1.1.	Ubicación Geográfica	21
3.1.2.	Características Edafoclimáticas	22
3.1.2.1.	Clima	22
3.1.2.2.	Suelo	22
3.1.2.3.	Flora	22
3.1.2.4.	Fauna	22
3.1.2.5.	Calidad de Agua	23
3.2.	Materiales.....	24
3.2.1.	Materiales para la elaboración las tuberías de aspersiones artesanales. .	24
3.2.2.	Material de campo y para la instalación del sistema	24

3.2.3.	Materiales para evaluación.....	24
3.2.4.	Material de escritorio	25
3.2.5.	Software	25
3.3.	Metodología	25
3.3.1.	Fase de instalación.....	25
3.3.1.1.	Elaboración de las tuberías de aspersión	25
3.3.1.2.	Preparación del terreno	29
3.3.1.3.	Instalación del sistema de riego	29
3.3.2.	Fase de evaluación.....	30
3.3.2.1.	Acondicionamiento y control de la instalación	30
3.3.2.2.	Determinación de características hidráulicas.....	30
3.3.2.3.	Análisis de los principales parámetros técnicos	31
3.3.3.	Diseño experimental	31
3.3.3.1.	Formulación de tratamientos	32
3.3.4.	Variables de respuesta	32
3.3.4.1.	Características hidráulicas	32
3.3.4.1.1.	Presión de trabajo (Bar).....	32
3.3.4.1.2.	Caudal (L/s).....	33
3.3.4.1.3.	Alcance de riego (Ar)	33
3.3.4.2.	Parámetros técnicos	33
3.3.4.2.1.	Coeficiente de uniformidad (CU)	33
3.3.4.2.2.	Eficiencia de aplicación (Ea)	34
3.3.5.	Análisis económico	34
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	35
4.1.	Factores climáticos	35
4.2.	Características hidráulicas de una tubería de aspersión artesanal.....	37

4.2.1.	Caudal versus presión	37
4.2.2.	Alcance de riego (Ar)	41
4.2.3.	Pluviometría y precipitación.....	43
4.3.	Principales parámetros de evaluación	46
4.3.1.	Coeficiente de uniformidad (CU)	46
4.3.1.1.	Evaluación del primer Tratamiento (30° 80°)	47
4.3.1.2.	Evaluación del segundo Tratamiento (45° 80°)	58
4.3.1.3.	Evaluación del tercer Tratamiento (55° 30° 80°).....	68
4.3.2.	Eficiencia de aplicación (Ea)	80
4.3.2.1.	Interpretación de eficiencia de aplicación	82
4.4.	Análisis de comparación de costos de instalación.....	83
5.	CONCLUSIONES	85
6.	RECOMENDACIONES.....	87
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICA	88
8.	ANEXOS	92

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Rango de coeficiente de uniformidad.....	19
Cuadro 2. Eficiencia de aplicación según método de riego	20
Cuadro 3. Características físico-químicas del agua para riego	23
Cuadro 4. El comportamiento de la temperatura en los días evaluados.....	36
Cuadro 5. El comportamiento de la velocidad de viento (m/s) en los días evaluados.....	37
Cuadro 6. Caudal emitido por una tubería de aspersión (L/s) y (L/h) según la presión de trabajo	38
Cuadro 7. Caudal emitido por una tubería de aspersión (L/s) y (L/h) según la presión de trabajo	39
Cuadro 8. Caudal emitido por una tubería de aspersión (L/s) y (L/h) según la presión de trabajo	40
Cuadro 9. Valores de Alcance de riego (m), para tuberías de aspersión, influenciados por la velocidad de viento (1.2 m/s), a una determinada presión de funcionamiento.....	42
Cuadro 10. Pluviometrías medias de una tubería (mm/h), para un alcance de riego, a una determinada presión de funcionamiento y caudal emitido.....	44
Cuadro 11. Resultados obtenidos del parámetro de Coeficiencia de Uniformidad (CU %), para los 3 tratamientos, en sus diferentes evaluaciones	78
Cuadro 12. Análisis de covarianza (ANCOVA) para determinar el coeficiente de uniformidad (CU), influenciado por el viento en 3 tratamientos de las Tuberías de aspersión (Artesanal).....	79
Cuadro 13. Resultados obtenidos del parámetro de Eficiencia de aplicación (Ea %), para los 3 tratamientos, en sus diferentes evaluaciones.	81
Cuadro 14. Análisis de varianza (ANCOVA), para la Eficiencia de aplicación (Ea), influenciados por el tiempo de riego en los 3 Tratamiento	82
Cuadro 15. Diferencia de costos (inversión inicial) para la implementación de un aspersor artesanal y las cintas de aspersión Golden Spray, con los materiales primordiales, dentro del sistema de riego	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Clasificación de riego por aspersión (Tarjuelo, 1999).....	10
Figura 2.	Ubicación del área de estudio (Elaboración en base a ArcGIS 2025).	21
Figura 3.	Ángulos y distancias del primer tratamiento	26
Figura 4.	Ángulos y distancias del segundo tratamiento.....	26
Figura 5.	Ángulos y distancias del tercer tratamiento	27
Figura 6.	Elementos de la tubería de aspersión.....	28
Figura 7.	Curva caudal versus presión (Q vs P), obtenido en campo mediante el método volumétrico para la tubería de aspersión.	38
Figura 8.	Curva caudal versus presión (Q vs P), obtenido en campo mediante el método volumétrico para la tubería de aspersión	40
Figura 9.	Curva caudal versus presión (Q vs P), obtenido en campo mediante el método volumétrico para la tubería de aspersión.	41
Figura 10.	Curva de alcance de riego media de la tubería de aspersión para un alcance de riego obtenido en relación a la presión de funcionamiento (Bar)	43
Figura 11.	Curva de Pluviometría media de la tubería de aspersión para un alcance de riego obtenido en relación a la presión de funcionamiento (Bar)	45
Figura 12.	Representación tridimensional de la pluviometría (mm), resultante del solapamiento 2 Tuberías de aspersión Artesanal (30° 80 °), en una distancia de 4 metros de Tubería a Tubería, obteniendo un Coeficiente de uniformidad (CU) de 66%, a una velocidad del viento de 1 m/s.....	47
Figura 13.	Visualización del área evaluada, señalando las zonas con mayor y menor altura de agua aplicada (mm), obteniendo un CU de 66%, a una velocidad del viento de 1 m/s en un tiempo de aplicación de 1 hora	49
Figura 14.	Representación tridimensional de la pluviometría (mm), resultante del solapamiento 2 Tuberías de aspersión Artesanal (30° 80 °), en una distancia de 4 metros de Tubería a Tubería, obteniendo un Coeficiente de uniformidad (CU) de 61%, a una velocidad del viento de 0.7 m/s.....	50

Figura 15.	Visualización del área evaluada, señalando las zonas con mayor y menor altura de agua aplicada (mm), obteniendo un CU de 61%, a una velocidad del viento de 0.7 m/s.....	51
Figura 16.	Representación tridimensional de la pluviometría (mm), resultante del solapamiento 2 Tuberías de aspersión Artesanal (30° 80 °), en una distancia de 4 metros de Tuberías a Tuberías, obteniendo un Coeficiente de uniformidad (CU) de 59%, a una velocidad del viento de 1.8 m/s.....	52
Figura 17.	Visualización del área evaluada, señalando las zonas con mayor y menor altura de agua aplicada (mm), obteniendo un CU de 59%, a una velocidad del viento de 1.8 m/s.....	53
Figura 18.	Representación tridimensional de la pluviometría (mm), resultante del solapamiento 2 Tuberías de aspersión Artesanal (30° 80 °), en una distancia de 4 metros de Tuberías a Tuberías, obteniendo un Coeficiente de uniformidad (CU) de 56%, a una velocidad del viento de 1.5 m/s.....	54
Figura 19.	Visualización del área evaluada, señalando las zonas con mayor y menor altura de agua aplicada (mm), obteniendo un CU de 56%, a una velocidad del viento de 1.5 m/s.....	55
Figura 20.	Representación tridimensional de la pluviometría (mm), resultante del solapamiento 2 Tuberías de aspersión Artesanal (30° 80 °), en una distancia de 4 metros de Tuberías a Tuberías, obteniendo un Coeficiente de uniformidad (CU) de 64%, a una velocidad del viento de 0.4 m/s.....	56
Figura 21.	Visualización del área evaluada, señalando las zonas con mayor y menor altura de agua aplicada (mm), obteniendo un CU de 64%, a una velocidad del viento de 0.4 m/s.....	57
Figura 22.	Representación tridimensional de la pluviometría (mm), resultante del solapamiento 2 Tuberías de aspersión Artesanal (45° 80 °), en una distancia de 4 metros de Tuberías a Tuberías, obteniendo un Coeficiente de uniformidad (CU) de 43%, a una velocidad de viento de 2 m/s.....	58
Figura 23.	Visualización del área evaluada, señalando las zonas con mayor y menor altura de agua aplicada (mm), obteniendo un CU de 43%, a una velocidad del viento de 2 m/s.....	59

- Figura 24. Representación tridimensional de la pluviometría (mm), resultante del solapamiento 2 Tuberías de aspersión Artesanal (45° 80°), en una distancia de 4 metros de Tuberías a Tuberías, obteniendo un Coeficiente de uniformidad (CU) de 64%, a una velocidad de viento de 0.8 m/s.....60
- Figura 25. Visualización del área evaluada, señalando las zonas con mayor y menor altura de agua aplicada (mm), obteniendo un CU de 64%, a una velocidad del viento de 0.8 m/s.....61
- Figura 26. Representación tridimensional de la pluviometría (mm), resultante del solapamiento 2 Tuberías de aspersión Artesanal (45° 80°), en una distancia de 4 metros de Tubería a Tubería, obteniendo un Coeficiente de uniformidad (CU) de 56%, a una velocidad del viento de 1.9 m/s.....62
- Figura 27. Visualización del área evaluada, señalando las zonas con mayor y menor altura de agua aplicada (mm), obteniendo un CU de 56 %, a una velocidad del viento de 1.9 m/s en un tiempo de aplicación de 1 hora63
- Figura 28. Representación tridimensional de la pluviometría (mm), resultante del solapamiento 2 Tuberías de aspersión Artesanal (45° 80°), en una distancia de 4 metros de Tubería a Tubería, obteniendo un Coeficiente de uniformidad (CU) de 62%, a una velocidad del viento de 0.5 m/s.....64
- Figura 29. Visualización del área evaluada, señalando las zonas con mayor y menor altura de agua aplicada (mm), obteniendo un CU de 62 %, a una velocidad del viento de 0.5 m/s.....65
- Figura 30. Representación tridimensional de la pluviometría (mm), resultante del solapamiento 2 Tuberías de aspersión Artesanal (45° 80°), en una distancia de 4 metros de Tubería a Tubería, obteniendo un Coeficiente de uniformidad (CU) de 58%, a una velocidad del viento de 1.9 m/s.....66
- Figura 31. Visualización del área evaluada, señalando las zonas con mayor y menor altura de agua aplicada (mm), obteniendo un CU de 58%, a una velocidad del viento de 1.9 m/s.....67
- Figura 32. Representación tridimensional de la pluviometría (mm), resultante del solapamiento 2 Tuberías de aspersión Artesanal (30° 55° 80°), en una distancia de 4 metros de Tubería a Tubería, obteniendo un Coeficiente de uniformidad (CU) de 79%, a una velocidad del viento de 0.4 m/s.....68

Figura 33.	Visualización del área evaluada, señalando las zonas con mayor y menor altura de agua aplicada (mm), obteniendo un CU de 79%, a una velocidad del viento de 0.4 m/s.....	69
Figura 34.	Representación tridimensional de la pluviometría (mm), resultante del solapamiento 2 Tuberías de aspersión Artesanal (30° 55° 80 °), en una distancia de 4 metros de Tubería a Tubería, obteniendo un Coeficiente de uniformidad (CU) de 78%, a una velocidad del viento de 0.6 m/s.....	70
Figura 35.	Visualización del área evaluada, señalando las zonas con mayor y menor altura de agua aplicada (mm), obteniendo un CU de 78%, a una velocidad del viento de 0.6 m/s en un tiempo de aplicación de 1 hora	71
Figura 36.	Representación tridimensional de la pluviometría (mm), resultante del solapamiento 2 Tuberías de aspersión Artesanal (30° 55° 80 °), en una distancia de 4 metros de Tubería a Tubería, obteniendo un Coeficiente de uniformidad (CU) de 80%, a una velocidad del viento de 0.3 m/s.....	72
Figura 37.	Visualización del área evaluada, señalando las zonas con mayor y menor altura de agua aplicada (mm), obteniendo un CU de 80%, a una velocidad del viento de 0.3 m/s.....	73
Figura 38.	Representación tridimensional de la pluviometría (mm), resultante del solapamiento 2 Tuberías de aspersión Artesanal (30° 55° 80 °), en una distancia de 4 metros de Tubería a Tubería, obteniendo un Coeficiente de uniformidad (CU) de 79%, a una velocidad del viento de 0.4.....	74
Figura 39.	Visualización del área evaluada, señalando las zonas con mayor y menor altura de agua aplicada (mm), obteniendo un CU de 79%, a una velocidad del viento de 0.4 m/s en un tiempo de aplicación de 1 hora	75
Figura 40.	Representación tridimensional de la pluviometría (mm), resultante del solapamiento 2 Tuberías de aspersión Artesanal (30° 55° 80 °), en una distancia de 4 metros de Tubería a Tubería, obteniendo un Coeficiente de uniformidad (CU) de 79%, a una velocidad del viento de 1 m/s.....	76
Figura 41.	Visualización del área evaluada, señalando las zonas con mayor y menor altura de agua aplicada (mm), obteniendo un CU de 79%, a una velocidad del viento de 1 m/s.....	77

Figura 42.	Medias de Duncan para Coeficiente de Uniformidad (CU).....	80
Figura 43.	Medias de Duncan para Eficiencia de aplicación (Ea)	83

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.	apertura de la fuente de agua y caseta de bombeo	93
Anexo 2.	Instalación de la tubería principal de 2" plg 67.40m desde la caseta de control hasta el hidrante de reparto.....	93
Anexo 3.	Instalación de la tubería secundaria y las tuberías de aspersión (Artesanal) ..	94
Anexo 4.	Instalación de los pluviómetros 1x1 en el área de evaluación.	94
Anexo 5.	Pruebas hidráulicas antes de realizar las evaluaciones	95
Anexo 6.	Medición del volumen recogido en los pluviómetros mediante probetas graduadas	96
Anexo 7.	Medición del caudal desfogado de las tuberías de aspersión (Artesanales) ..	96
Anexo 8.	Recolección de muestra de agua para llevar al laboratorio.....	97
Anexo 9.	Medición del alcance de riego a diferentes presiones.	98
Anexo 10.	Croquis de la instalacion del sistema de riego en campo, con sus respectivas dimensiones.	99
Anexo 11.	Información climatológica de los meses de octubre, noviembre de 2024 y enero de 2025 de la estación Experimental Kallutaca en la Universidad Pública de El Alto	100
Anexo 12.	Resultados Obtenidos del Tratamiento I y sus 5 pruebas de parametros de coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU %) y Eficiencia de aplicación (Ea %).	103
Anexo 13.	Resultados obtenidos del parámetro de Coeficiente de uniformidad (CU %) para los 3 tratamientos y en sus diferentes evaluaciones.	118
Anexo 14.	Resultados obtenidos del parámetro de Eficiencia de aplicación (Ea %) para los 3 tratamientos y en sus diferentes evaluaciones.	118
Anexo 15.	Presupuesto del sistema de riego por aspersión con la implementación de las tuberías de aspersión (Artesanal).	119

ABREVIATURAS

A	Área
Ar	Alcance de riego
Cl	Cuarto inferior
cm ²	Centímetro cuadrado
cm ³	Centímetro cubico
CU	Coeficiente de uniformidad
CV	Coeficiente de variación
DCA	Diseño Completamente al azar
Ea	Eficiencia de aplicación
h	Hora
l	Litro
m ²	Metro cuadrado
mm	Milímetro
mS	Mili siemens
msnm	Metros sobre el nivel del mar
mV	Microvoltios
NTU	Nephelometric Turbidity Unit
ORP	Potencial de óxido reducción
pH	Potencial de hidrogenoides
Q	Caudal
SAL	Salinidad
VIB	Velocidad de infiltración básica
Σ	Sumatoria
%	Porcentaje

RESUMEN

El agua es un recurso esencial para la agricultura, siendo clave para la seguridad alimentaria y la productividad de los cultivos. En el altiplano de Bolivia, la producción agrícola enfrenta dificultades debido a factores climáticos adversos, suelos deficientes en nutrientes, precipitaciones escasas y la falta de tecnología de riego eficiente

El objetivo principal de esta investigación fue realizar una evaluación técnica de las tuberías de aspersión(artesanal) en la Estación Experimental de Kallutaca-UPEA, mediante la implementación de tuberías artesanales dispuestas en un marco de riego cuadrangular con un espaciamiento de 4 m y una longitud de 10 m por tubería, con el fin de analizar su desempeño en condiciones de campo. El estudio se desarrolló utilizando un diseño experimental Completamente al Azar (DCA). El enfoque de la investigación fue experimental y cuantitativo, ya que se llevaron a cabo experimentos de campo y se recolectaron datos precisos sobre diversas características hidráulicas del sistema de riego, tales como presión de trabajo (bar), alcance de riego (m), caudal desfogado de la cinta (l/h), asimismo, de parámetros técnicos como, coeficiente de uniformidad (CU) y eficiencia de aplicación (Ea).

Realizadas las evaluaciones al sistema de riego por aspersión, El Tratamiento 3 brindó las mejores condiciones de uniformidad y eficiencia, constituyéndose en la opción más adecuada, con ángulos de inclinación de $90^{\circ}80^{\circ}55^{\circ}35^{\circ}$, el cual alcanzó un Coeficiente de Uniformidad (CU) de 75,97 % y una Eficiencia de Aplicación (Ea) de 68,34 %, debido a una adecuada superposición del patrón de riego entre dos tuberías consecutivas. En comparación, el Tratamiento 1 presentó un CU de 61,63 % y una Ea de 48,38 %, mientras que el Tratamiento 2 obtuvo un CU de 59,20 % y una Ea de 43,49 %, evidenciando un desempeño inferior en ambos casos. Asimismo, se evaluaron las características hidráulicas de las tuberías de aspersión a una presión de trabajo de 1 bar, obteniéndose en el Tratamiento 3 un alcance de riego de 5,50 m y un caudal de descarga de 0,25 L/s; en el Tratamiento 1, un alcance de 4,60 m con un caudal de 0,18 L/s; y en el Tratamiento 2, un alcance de 4,40 m con un caudal de 0,20 L/s. En función de estos resultados, se concluye que el Tratamiento 3 representa la alternativa más eficiente y con mayor uniformidad en la distribución del agua, siendo recomendable su implementación en condiciones similares dentro de sistemas de riego por aspersión de tipo artesanal.

ABSTRACT

Water is an essential resource for agriculture, key to food security and crop productivity. In the Bolivian highlands, agricultural production faces challenges due to adverse climatic factors, nutrient-deficient soils, scarce rainfall, and a lack of efficient irrigation technology.

The main objective of this research was to conduct a technical evaluation of the (artisanal) sprinkler systems at the Kallutaca-UPEA Experimental Station. These systems were implemented in a quadrangular irrigation system with 4 m spacing and 10 m length per system, in order to analyze their performance under field conditions. The study was conducted using a completely randomized experimental design (CRD). The research approach was experimental and quantitative, involving field experiments and collecting precise data on various hydraulic characteristics of the irrigation system, such as working pressure (bar), irrigation reach (m), discharge flow rate (l/h), and technical parameters such as uniformity coefficient (UC) and application efficiency (Ea).

After evaluations of the sprinkler irrigation system, Treatment 3 provided the best conditions of uniformity and efficiency, constituting the most suitable option. With inclination angles of 90°, 80°, 55°, and 35°, it achieved a Uniformity Coefficient (UC) of 75.97% and an Application Efficiency (Ea) of 68.34%, due to the adequate overlap of the irrigation pattern between two consecutive pipes. In comparison, Treatment 1 had a CU of 61.63% and an Ea of 48.38%, while Treatment 2 had a CU of 59.20% and an Ea of 43.49%, demonstrating inferior performance in both cases. Furthermore, the hydraulic characteristics of the sprinkler pipes were evaluated at a working pressure of 1 bar, resulting in an irrigation reach of 5.50 m and a discharge rate of 0.25 L/s in Treatment 3; a reach of 4.60 m with a flow rate of 0.18 L/s in Treatment 1; and a reach of 4.40 m with a flow rate of 0.20 L/s in Treatment 2. Based on these results, it is concluded that Treatment 3 represents the most efficient alternative with the greatest uniformity in water distribution, and its implementation is recommended under similar conditions in artisanal sprinkler irrigation systems.

1. INTRODUCCIÓN

El agua es un insumo fundamental para la producción agrícola y desempeña un papel importante en la seguridad alimentaria. La agricultura de regadío representa el 20 % del total de la superficie cultivada y aporta el 40 % de la producción total de alimentos en todo el mundo. Es, en promedio, al menos el doble de productiva por unidad de tierra que la agricultura de secano, lo que permite una mayor intensificación de la producción y diversificación de los cultivos (Banco Mundial, 2022)

En la producción agrícola del Altiplano, caracterizada por una marcada estacionalidad climática, el riego por aspersión se define como un método de aplicación controlada de agua al suelo en forma de precipitación artificial. Este proceso se genera a partir de la presión hidráulica ejercida dentro de un sistema de tuberías, la cual impulsa el caudal hacia el exterior a través de boquillas diseñadas en los aspersores, garantizando una distribución uniforme.

En el altiplano de Bolivia, la producción agrícola es un desafío por los: factores climáticos adversos, la mayoría de los suelos con deficiencias de nutrientes que los cultivos requieren, debido al clima templado las precipitaciones son escasas y genera la falta de agua, además que no se cuenta con tecnología de riego para aprovechar este recurso muy escaso que es el agua (Chavez, 2011).

La producción es únicamente para el auto consumo y otra pequeña cantidad para su venta, Los puntos de venta se realizan en pequeñas ferias locales donde los intermediarios son los que más obtienen en ganancias, la cual estos productos tienen un precio más elevado en las ferias de las ciudades.

Sin embargo, una alternativa para incrementar los ingresos de los agricultores del altiplano, es el uso inteligente del agua mediante el riego, pero no cualquier riego, tiene que ser uno que cubra la demanda de agua que requiere cada cultivo (Guarachi, 2013)

En este caso nuestra alternativa sobre riego eficiente y nuevo para estos tiempos es el uso de tuberías de aspersión por su fácil acceso y bajo precio, al ser un material liviano, hace posible una mejor instalación y manipulación sus características de la irrigación de tipo llovizna se asemejan a las cintas de aspersión y eso los hace adecuadas para una amplia gama aplicación en hortalizas, floricultura y frutales.

1.1. Planteamiento del problema

En Bolivia, la disponibilidad de agua para la agricultura depende en gran medida de las precipitaciones pluviales, las cuales se concentran en una sola temporada al año. Este patrón climático genera un periodo prolongado de escasa precipitación (época seca), que, debido a los efectos del cambio climático, se ha intensificado en los últimos años, afectando la sostenibilidad de la producción agrícola.

Para contrarrestar esta limitación hídrica, se han implementado distintos métodos de riego que contribuyen al incremento y estabilidad de los rendimientos agrícolas. Dentro de estas alternativas, el riego por aspersión convencional ha demostrado buenos resultados, pero su implementación representa costos elevados de inversión y mantenimiento, lo que dificulta su acceso para pequeños productores.

En este contexto, el método artesanal de riego mediante tuberías de aspersión surge como una opción potencial por su bajo costo y accesibilidad. Sin embargo, el desconocimiento de los parámetros técnicos relacionados con la eficiencia de aplicación, el coeficiente de uniformidad y las características hidráulicas (presión de trabajo, caudal y diámetro mojado), limita su adecuado aprovechamiento. Esta carencia de información técnica conlleva a un uso ineficiente del recurso hídrico y puede reducir la productividad de los cultivos.

Por lo tanto, resulta necesario realizar una evaluación técnica y experimental de las tuberías de aspersión artesanal, con el fin de determinar sus características hidráulicas y su capacidad de distribuir el agua de manera uniforme y eficiente. Ello permitirá generar información científica que aporte a la mejora de la gestión del riego en condiciones de limitación hídrica y con alternativas económicamente viables para los productores.

1.2. Justificación

El agua es un recurso limitado y su uso eficiente es fundamental para la sostenibilidad agrícola. Evaluar las características hidráulicas de las tuberías de aspersión y su capacidad para distribuir el agua de manera uniforme permitirá identificar las mejores prácticas y técnicas para optimizar el riego, reduciendo el desperdicio de agua y mejorando la eficiencia.

Comparar las características técnicas y económicas del método artesanal de riego con tuberías de aspersión frente al método convencional de cintas de aspersión proporcionará

una comprensión clara de los costos y beneficios asociados. Esta información es crucial para los agricultores y las autoridades locales al tomar decisiones sobre inversiones en infraestructura de riego.

La durabilidad de los materiales empleados en la construcción del sistema facilita su manipulación en campo, mientras que sus bajos costos posibilitan el reemplazo oportuno de las partes dañadas tras un uso prolongado, garantizando la continuidad y eficiencia del riego.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Evaluar técnicamente un método artesanal de riego mediante tuberías de aspersión en la Estación Experimental de Kallutaca.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar las características hidráulicas de las tuberías de aspersión artesanales, mediante la medición del caudal, la presión de trabajo y el alcance de riego.
- Analizar los parámetros de evaluación del riego, específicamente el coeficiente de uniformidad y la eficiencia de aplicación, para identificar cómo se distribuye la lámina de agua sobre la superficie y cuánto del recurso aplicado es realmente aprovechado.
- Comparar las características económicas entre el método convencional de las cintas de aspersión en relación con el método artesanal con las tuberías de aspersión.

1.4. Hipótesis

- Los principales parámetros de evaluación, no presentan diferencias significativas con el uso de tuberías de aspersión.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. El riego

El objetivo que se pretende con el riego es suministrar a los cultivos, de forma eficiente y sin alterar la fertilidad del suelo, el agua adicional a la precipitación que necesitan para su crecimiento óptimo y cubrir las necesidades de lavado de sales de forma que evite su acumulación en el perfil del suelo, asegurando la sostenibilidad del regadío Tarjuelo (1999).

El mismo autor también indica que el perfeccionamiento del riego obliga a asimilar las nuevas tecnologías para: optimizar el diseño y la construcción de los equipos de riego, mejorar la eficiencia de utilización del agua y la energía, permitir una adecuada mecanización y automatización de la aplicación del agua y demás labores agrícolas, utilizar racionalmente los recursos hídricos de modo que garanticen su propia existencia y la del medio ambiente, etc.

El riego es básicamente una tentativa del hombre de alterar el ciclo hidrológico a nivel local y promover el incremento de la producción agrícola. En otras palabras, el riego es el suministro oportuno de la cantidad adecuada de agua a los cultivos de tal manera que estos no sufran disminución en sus rendimientos y sin causar daño al medio ambiente. La práctica del riego combina elementos de la ciencia del suelo, agronomía, hidráulica e hidrología (Chipana, 1996).

2.2. Riego agrícola

Cisneros (2019), expresa que las plantas necesitan agua de forma constante y las precipitaciones se producen de manera irregular, en algunos casos es necesario suministrar a las plantas agua artificialmente para su buen desarrollo o para aumentar su producción. Por tanto, se puede definir el riego agrícola como el aporte artificial de agua a las plantas con el fin de suministrar la humedad necesaria para su desarrollo o de aumentar su producción, de forma complementaria al aporte de las precipitaciones.

2.3. Riego en la agricultura

Hurtado (2010), señala que la incorporación del riego en la agricultura impulsó en gran medida la producción y la calidad de las cosechas, además aseguró la obtención de las mismas y la planificación de las siembras en diferentes épocas del año. Ya que, si se

depende únicamente de la precipitación pluvial y ésta llega a ser insuficiente, o se encuentra mal distribuida en el tiempo y en el espacio y por tanto se presentarán déficits de humedad, que afectaran el desarrollo y por lo mismo el rendimiento de los cultivos agrícolas, por tanto, uno de los factores de riesgo más significativos en la agricultura es el clima y como elemento importante de éste, la lluvia que suministra el agua necesaria para el desarrollo de los cultivos

La incorporación del riego en la agricultura impulso en gran medida la producción y la calidad de las cosechas, además aseguro la obtención de las mismas y la planificación de las siembras en diferentes épocas del año, y esta depende únicamente de la precipitación pluvial a veces insuficiente; con este cambio climático se encuentra mal distribuida en el tiempo y en el espacio que afectará el desarrollo y productividad de los cultivos agrícolas Gonzales.J (2011).

2.4. Emisor de riego

Tarjuelo (2005), señala que los emisores pueden ser tuberías perforadas, difusores fijos o toberas y aspersores La intensidad y uniformidad de lluvia que proporciona el aspersor depende de: el tipo de emisor, su espaciamiento en la tubería, la presión en las boquillas y el tamaño de estas.

Los emisores de riego son los dispositivos finales que proporcionan el agua a los cultivos; dependiendo del tipo de cultivo y la presión del agua, suelen utilizarse aspersores, micro aspersores, goteros de inserción, cintas de goteo y mangueras integrales (ICO, 2019).

2.5. Métodos de riego

Tarjuelo (1999) Afirma que es común referirse al riego en la parcela utilizando dos términos, métodos de riego y sistemas de riego; a veces como sinónimo. Por tanto, se entiende por método de riego al conjunto de aspectos que caracterizan el modo de aplicar el agua a las parcelas regadas y se entiende por sistema de riego al conjunto de equipamiento y técnicas que proporcionan esa aplicación siguiendo un método dado. En estas condiciones, los sistemas de riego tienen obligatoriamente que ser tratados cuando se habla de los métodos. El termino sistema de riego es también utilizado para referir el conjunto de equipamientos y técnicas de gestión que aseguren la captación del agua, su almacenamiento, transporte y distribución a los regantes.

2.6. Clasificación de métodos de riego

Según Pereira (2004) citado por Guarachi (2013), los métodos de riego se clasifican según la forma de cómo se lleva el agua hacia los cultivos:

- **Riego de superficie**, o por gravedad, es comprendido, el riego por inundación, en canteros tradicionales y surcos cortos o en canteros con nivelado de precisión, el riego por sumersión en canteros para arroz, el riego por infiltración en surcos o en fajas y el riego por escorrentía libre.
- **Riego localizado**, o micro riego, es comprendido, el riego por goteo, por difusores o borboteadores, por tubos perforados o porosos, la microaspersión y el riego subsuperficial
- **Riego por aspersión**, Existen sistemas estáticos con disposiciones en cuadrícula, que pueden ser fijos o móviles; así como sistemas móviles, entre los que destacan el cañón o el ala sobre carro, accionados por enrollador o por cable, además de los sistemas de lateral móvil, pivotante o de desplazamiento lineal

El mismo autor indica que los métodos de aspersión, microaspersión y goteo, son denominados como riego presurizado, ya que el agua se conduce a presión hasta las salidas (emisores) por donde se distribuye a las plantas.

Villafáfila (2007) citado por Guarachi (2013), afirma que “la selección del método de riego puesta en práctica en campo, depende de varios factores”. En el caso de los factores técnicos, dependen del tipo de suelo, del clima de lugar, de la especie, variedad y de la disponibilidad de agua suficiente. En el caso de los factores socioeconómicos, debe tomarse en cuenta la disponibilidad de capital humano, la superficie a regar y el destino de la producción.

2.6.1. Riego localizado

Castañón (2000) citado por Allen (2017), Describe que el riego localizado, es un método que agrupa y desglosa todos los sistemas caracterizados en una red de distribución de agua y permite la carga en aportes hídricos frecuentes y continuos en lugares determinados con relación al cultivo aplicado, tal forma de dicha agua solo se produzca en una fracción reducida en la superficie del suelo.

Es el método de riego más moderno y/o empleado actualmente, su desarrollo se debe principalmente a los avances tecnológicos desarrollado en las últimas décadas. Así mismo el riego localizado incluye el riego por micro aspersión, ya sea porque usa micro aspersores o también conocidos como difusores para la distribución de agua con un pequeño alcance de radio mojado, riego por tuberías o cintas perforadas, que aporta agua a lo largo de toda de su longitud a través de orificios, los cuales pueden ser perforados con una cierta distancia que reciben agua de forma continua y riego por goteo donde el agua se distribuye puntualmente al suelo a través de unos emisores denominados goteros (Castañón, 2000 citado por Allen, 2017)

Sevilla. (2008), señala que el riego localizado incluye en dos formas:

- **Riego por goteo.** El agua se aplica mediante dispositivos que la echan gota a gota o mediante flujo continuo, con un caudal inferior a 16 litros/hora por punto de emisión o por metro lineal de manguera de goteo.
- **Riego por microaspersión.** El agua se aplica mediante dispositivos que la echan en forma de lluvia fina, con caudales comprendidos entre 16 y 200 litros/hora por punto de emisión.

2.6.2. Riego por aspersión

Peralta (2001), indica que el riego por aspersión consiste en aplicar el agua al suelo simulando una lluvia. Este efecto es conseguido gracias a la presión en que fluye el agua dentro de un sistema de tuberías y es expulsada al exterior a través de las boquillas de un aspersor. Normalmente, la presión requerida se obtiene a partir de bombas hidráulicas las cuales aspiran el agua desde un canal, río o pozo. Sin embargo, el sistema también puede operar sin bombas cuando la fuente de agua se encuentra en una posición más elevada que el terreno a regar.

Varios son los métodos de riego que aplican los productores para poder dar frente a los efectos del cambio climático. La aplicación del agua mediante aspersores (riego por aspersión) es una de las opciones más factibles debido a que mediante este método se optimiza la aplicación del agua (Losada, 2005 citado por Chávez. 2011).

2.6.2.1. Ventajas y desventajas del riego por aspersión

Según Fuentes (1998), citado por Peñafiel (2020), con respecto al riego por gravedad, el riego por aspersión ofrece las siguientes ventajas e inconvenientes:

1. Ventajas

- Se necesita menos mano de obra y menos calificada que en el riego por gravedad, ya que, en este último, el regante, además del trabajo efectivo del manejo del agua, tiene que prestar una atención permanente al riego.
- No es necesaria la preparación previa del terreno, tanto en terrenos llanos como ondulados. Al suprimir la nivelación del terreno se evita la pérdida de fertilidad del suelo, y, por otro lado, queda disponible para el cultivo la mayor parte del terreno regable, al suprimir canales, acequias y regueras que se precisan para el riego por gravedad.
- El sistema puede emplearse en una amplia variedad de suelos, incluyendo aquellos de alta permeabilidad que requieren riegos frecuentes y de baja profundidad.
- La eficiencia del riego por aspersión es del orden de un 80%, frente al 40 – 70% del riego por superficie.
- Hay una mayor posibilidad de mecanizar los cultivos, ya que se eliminan los obstáculos propios del riego por superficie.
- Con respecto al riego por superficie se reduce la pérdida de elementos fertilizantes por lixiviación.
- El riego por aspersión se puede utilizar de un modo eficaz en la lucha contra las heladas.

2. Desventajas

- Elevado coste de primera instalación (que es inversamente proporcional a la superficie de riego) y de gastos de explotación, debido a la alta energía necesaria para garantizar la presión del agua a la salida de los aspersores. Sin embargo, este coste se compensa con la supresión de otros gastos (nivelación, construcción de acequias, etc.).
- En algunos cultivos y en algunas fechas la vegetación puede verse perjudicada por un incremento de enfermedades criptogámicas en las plantas mojadas o por que se dificulta la fecundación cuando se riega en época de floración.
- El viento dificulta el reparto uniforme del agua.

- No se pueden utilizar aguas salinas sobre el follaje de las plantas sensibles a la sal, debido al riesgo de quemaduras en las hojas.

2.7. Clasificación de los sistemas de riego por aspersión

Tarjuelo (1999), indica que entre los sistemas de aspersión convencionales se tiene a los siguientes:

- **Los sistemas fijos**, consisten en un equipo de tuberías y aspersores que cubren completamente el área de riego y no precisan transporte durante la campaña de riegos. Pueden ser permanentes, si la red de distribución está enterrada y todo el equipo está en la parcela de riego en todo momento. Son de utilización preferente en instalaciones deportivas, jardinería, viveros, cultivos ornamentales, y aunque con menor proporción en cultivos extensivos de regadío. También pueden ser transportables o amovibles, si al menos parte de los mismos se puede desmontar y retirar cuando acaba la campaña de riegos.
- **Los sistemas semifijos**, suelen tener fija la estación de bombeo y la red de tuberías principales, que va enterrada, de la que derivan los hidrantes donde se conectan las tuberías de alimentación y los ramales de riego, que son móviles. Estos ramales de riego, pueden llevar acoplados directamente los aspersores o bien ir dotados de mangueras que desplazan cada uno de los aspersores (sobre patines) a una determinada distancia del ramal, permitiendo realizar varias posturas sin necesidad de cambiar la tubería del sitio.
- **Los sistemas móviles**, Los sistemas móviles de riego por aspersión están diseñados para desplazarse fácilmente a lo largo del terreno, lo que permite irrigar amplias superficies sin necesidad de instalaciones fijas. Estos sistemas pueden incluir tuberías ligeras, ruedas o estructuras articuladas que facilitan su transporte y reubicación. El grupo de elevación (bomba y motor) también puede ser móvil, permitiendo el suministro de agua desde distintas fuentes, como canales, ríos o estanques, según la ubicación del sistema. Este tipo de instalación es especialmente útil en zonas donde se cultivan diferentes parcelas por turnos o donde el terreno es irregular.

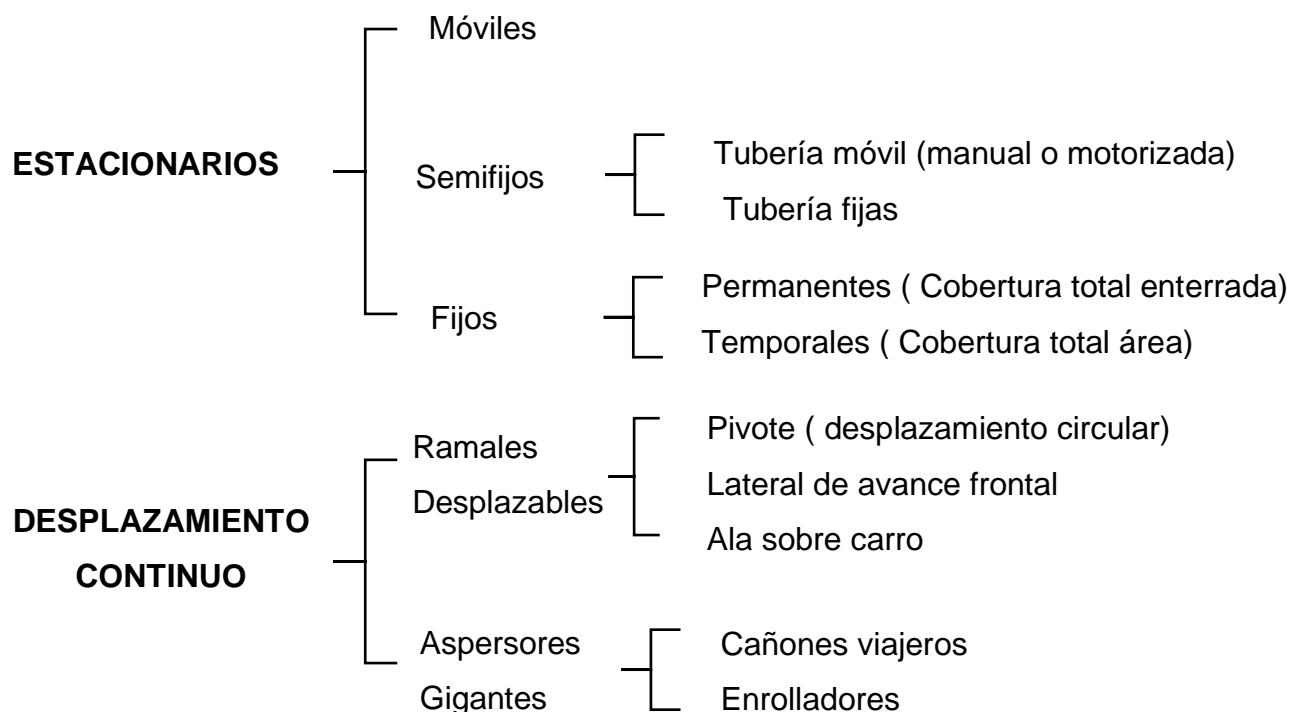


Figura 1. Clasificación de riego por aspersión (Tarjuelo, 1999)

El objetivo de los sistemas de riego es suministrar a los cultivos la cantidad de agua necesaria para satisfacer sus requerimientos, complementando la aportada por las precipitaciones naturales. Durante la distribución del agua en la parcela de cultivo, surgen diversas dificultades que generan pérdidas y afectan la uniformidad de la aplicación. Resulta fundamental corregir estas deficiencias, especialmente considerando que el agua es un recurso cada vez más escaso (Adena, 2009 citado por Guarachi, 2013)

2.7.1. Componentes de riego por aspersión

Según Pereira (2004), existen muchas variantes tecnológicas de sistemas de riego por aspersión, lo que permite su adaptación a una gran variedad de condiciones socioeconómicas y de características de suelo y de cultivos. Sin embargo, todos los sistemas tienen común los siguientes componentes básicos:

- **Bomba** accionada por un motor de combustión o eléctrico, que tiene la función de elevar el agua a partir de su origen, una balsa, un pozo o un río, y alimenta el sistema de riego con la presión necesaria para el funcionamiento de los aspersores.

- **Tuberías** La tubería principal transporta el agua desde la bomba hacia las tuberías secundarias y, a través de estas, hacia los ramales. En la mayoría de los casos, la tubería principal es fija, instalada sobre el suelo o, con mayor frecuencia, enterrada; en otros casos, es desplazable, lo que permite su traslado entre parcelas. Las tuberías fijas pueden estar construidas de acero galvanizado, fibrocemento o plástico de alta densidad, mientras que las tuberías móviles se fabrican en aluminio ligero o plástico, facilitando su transporte y manejo.
- **Los Ramales o Laterales** que son las tuberías donde se montan los aspersores, pueden ser fijos (en este caso, van generalmente enterrados), desplazables o móviles.
- **Aspersores** que son los dispositivos que aplican el agua sobre el suelo y los cultivos en forma de gotas pequeñas, imitando la lluvia, y que constituyen los elementos principales en el diseño de los sistemas de riego y en la calidad de su funcionamiento.
- **Conectores y Accesorios** Incluyen codos, uniones y conectores que facilitan la instalación y el mantenimiento del sistema.

2.7.2. Características de riego por aspersión

Según lo descrito por Banco Mundial (2022); Iagua (2024), dentro de las características de riego por aspersión se tiene:

- **Distribución uniforme del agua:** El agua se pulveriza a través de boquillas o aspersores en forma de gotas pequeñas, lo que ayuda a distribuir el agua de manera uniforme sobre el área de riego.
- **Control de la intensidad y la frecuencia del riego:** Se puede controlar la intensidad y la frecuencia de riego permitiendo que el agua se infiltre en el subsuelo antes de esparcir mayor cantidad de agua.
- **Flexibilidad en la adaptación:** Puede adaptarse a diferentes tipos de terrenos y cultivos, ya que se pueden ajustar la altura y el ángulo de los aspersores para cubrir áreas específicas.
- **Componentes mínimos:** Los componentes mínimos de este sistema son. La unidad de bombeo en caso de no tener suficiente suministro de agua por gravedad.

- **Coberturas de grandes áreas:** Es adecuado para riesgos en terrenos extensos como campos agrícolas o jardines grandes debido a su capacidad para cubrir amplias superficies.
- **Reducción de la temperatura ambiente:** Durante el proceso de riego, las gotas de agua en el aire pueden ayudar a reducir la temperatura ambiente, lo que puede ser beneficioso en climas cálidos.
- **Menor obstrucción por suciedad:** A diferencia de otros sistemas de riego como el goteo, el riego por aspersión es menos propenso por obstrucción de los conductos por la acumulación de sedimentos o partículas en el agua.
- **Rápida aplicación de agua:** Permite aplicar grandes cantidades de agua en un corto periodo de tiempo, lo que es útil para situaciones donde se requiere un riego rápido y eficiente.
- **Posibilidad de automatización:** Puede integrarse con sistemas de control automatizado para programas horarios de riego, duración y frecuencia según las necesidades específicas de cada cultivo.

2.7.3. Método de riego de las cintas de aspersión

Según López (2005) citado por Alarcon.E (2024) Las cintas por aspersión, también conocidas como cintas de riego bajo aspersión o cintas de riego, son sistemas de riego que consisten en una cinta flexible con pequeños orificios o emisores a lo largo de su longitud. Estos emisores permiten la liberación controlada de agua directamente sobre el suelo, proporcionando riego eficiente para cultivos.

Asimismo, este autor señala que las cintas de aspersión representan un pseudo tubo de riego desarrollado por SUMITOMO CHEMICAL CO., LTD. en Japón, fabricado con films de LLDPE altamente duraderos y resistentes a la presión; para su elaboración se utilizan equipos generadores de rayos láser que perforan micro orificios a lo largo del tubo, cuyos bordes son unidos mediante un sellado térmico especial que garantiza su resistencia y funcionalidad

2.7.3.1. Características de las cintas de aspersión.

Según Chavez (2011), dentro de las características de las cintas se tiene:

- La irrigación por aspersión resulta adecuada para una amplia gama de aplicaciones tales como hortalizas, floricultura y frutales.
- Al ser un material de peso muy liviano y su conformación de tubo aplanado hace que el manipuleo sea sencillo y fácil de instalar por los agricultores, como también el traslape y guardarlo por ellos mismos.

2.7.3.2. Características relevantes para riego por aspersión.

INIA (2001), señala que las características más relevantes de los aspersores son:

- El caudal. va a estar determinado por la presión de trabajo ejercida de la bomba. Por ejemplo: un aspersor diseñado para entregar un caudal de 100 l/h a una presión de 1 kg/cm², botará menos caudal cuando la presión disminuya y más cuando la presión aumenta.
- El alcance de riego. que determina el alcance de riego mojado, depende de la presión de funcionamiento ejercida de la bomba. Sin embargo, bajo condiciones de viento, deben seleccionarse trabajar con presiones de trabajo más bajas, donde no disminuya el espaciamiento entre laterales.
- Pulverización. Este parámetro depende del alcance de riego y de la presión de funcionamiento.
- Pluviometría o precipitación, expresa la intensidad del riego por aspersión y se mide por la altura de la lámina de agua recibida en el terreno en un tiempo determinado por el operador. Normalmente se expresa en mm/h. Como criterio de diseño, la pluviometría de una cinta debería ser igual o ligeramente inferior a la velocidad de infiltración básica del suelo para evitar escurrimiento.

Sevilla (2008), señala que la pluviometría es el parámetro que más frecuentemente se utiliza para definir la intensidad de lluvia proporcionada. Por otro lado, de igual manera señala que una cinta individual no arroja la precipitación de modo uniforme, por lo que se debe considerar un marco de cintas continuas (marco de riego) y considerar un traslape entre cintas. Por ello, la pluviometría de las cintas en bloque, puede calcularse con la siguiente fórmula:

$$p = \frac{Q}{S} \quad (1)$$

Donde (P en mm/h), representa la pluviometría que se obtendría si se distribuye uniformemente el caudal (Q en l/h) emitido por el aspersor en la superficie (S en m²) en que teóricamente riega, de acuerdo con el marco de riego elegido.

2.8. Diseño de riego

El diseño de riego es el proceso de planificación de un sistema de irrigación para suministrar agua de forma eficiente y controlada en áreas específicas como los cultivos. Incluye la selección de componentes de riego, como tuberías, emisores y válvulas. Así como la disposición espacial, con el objetivo de garantizar una distribución uniforme del agua según las necesidades del cultivo (INIA, 2001), señala un aspecto que se debe considerar en el diseño de riego por aspersión son las pérdidas de agua por evaporación directa del chorro, estas pérdidas de agua están en función de la temperatura ambiental y velocidad del viento.

INIA (2001) citado por Guarachi (2013), señala que el diseño de riego por aspersión, incluye uno agronómico y uno hidráulico. Ahora bien, el diseño hidráulico corresponde al cálculo de los diámetros de tuberías requeridos para que el sistema funcione correctamente, cumpliendo ciertos requisitos mínimos establecidos y a la selección del equipo de bombeo.

2.8.1. Diseño agronómico

Según INTA (2009), citado por Guarachi (2013),entiéndase por diseño agronómico, como el proceso que ha de garantizar que la instalación sea capaz de suministrar, con una óptima eficiencia de aplicación, las necesidades hídricas del cultivo durante el período de máximo consumo, humedeciendo el volumen de suelo necesario para su desarrollo. El diseño agronómico se compone de dos fases:

- Cálculo de las necesidades de agua de las plantas,
- Determinación de la dosis, frecuencia y tiempo de riego.

INTA (2009), citado por Guarachi (2013),señala que el diseño agronómico corresponde a la determinación de: la evapotranspiración, lámina de reposición, velocidad de infiltración básica, frecuencia de riego y superficie mínima de riego diario, selección del modelo de

aspersor y disposición de los mismos en el campo, número de laterales necesarios para cumplir el programa de riego, determinación de caudales requeridos.

- **Evapotranspiración de cultivo-** La evapotranspiración real determina la cantidad de agua consumida por el cultivo entre dos riegos consecutivos y se define como la suma de la transpiración realizada por la planta y la evaporación de agua producida desde el suelo. Depende de muchos factores, los cuales se asocian al clima, suelo, características de la planta y manejo agronómico. Actualmente este concepto equivale a la Evapotranspiración de Cultivo (ETc), que viene a ser el producto de la Evapotranspiración de Referencia (ETo) por el coeficiente de cultivo (Kc) (SIAR, 1999). Al respecto la (ETc) se puede expresar como:

$$ETc = ETo * Kc \quad (2)$$

Donde:

ETc= evapotranspiración de cultivo (mm/días)

ETo= evapotranspiración de referencia (mm/días)

Kc= coeficiente de cultivo (adimensional)

- **Lámina de agua a reponer-** lámina de reposición (H) corresponde a la cantidad de agua necesaria para suplir el déficit de humedad del suelo, producto de la extracción de agua por parte del cultivo, conocida también como Lámina o dosis neta (INIA, 2001). Para cuantificar la lámina de reposición se utiliza la siguiente relación

$$H = \frac{(Ucc - Upmp)}{100} * \frac{Dap}{Dw} * Pr * f \quad (3)$$

Donde:

H= Lámina de agua de reposición (mm)

Ucc= Contenido gravimétrico de agua del suelo a capacidad de campo

Upmp= Contenido gravimétrico de agua del suelo a punto de marchitez permanente

Da= Densidad aparente (g/cm³)

Dw= Densidad real (g/cm³)

Prof= Profundidad radicular (mm)

f= Factor de depleción o umbral de riego (1-UR)

- **Frecuencia de riego**

INIA (2001), indica que se llama frecuencia de riego al intervalo de tiempo entre riegos y se calcula de la siguiente manera:

$$FR = \frac{H}{ET_c} \quad (4)$$

Donde:

FR = Es la frecuencia de riego en días,

H = Es la lámina de agua a reponer en mm y

ET_c= Es la evapotranspiración del cultivo en mm/día.

Una vez obtenida la frecuencia de riego se debe corregir la lámina de agua a reponer H, mediante la siguiente expresión

$$H_c = FR * ET_c \quad (5)$$

Donde:

H_c= Es la lámina de agua a reponer corregida, conforme a la frecuencia de riego calculado, por la evapotranspiración del cultivo.

Tomando en cuenta la eficiencia de aplicación (E_a), del método de riego empleado en el sistema de irrigación, se tendrá la siguiente expresión:

$$H_{bc} = \frac{H_c}{E_a} \quad (6)$$

Donde H_{bc} es la lámina o dosis total de agua a aplicar (lámina bruta corregida), conforme a la eficiencia de aplicación del sistema de riego. A esto es importante señalar, que suponiendo que la eficiencia de aplicación es 1 o el 100%, la H_c será igual a H_{bc}.

2.8.2. Diseño Hidráulico

Sobre la base del diseño agronómico se procede a efectuar el diseño hidráulico, que consiste en determinar con la mayor precisión posible, las características del equipo de riego, que pueda entregar el caudal y la presión necesaria, para el sistema, en las condiciones que exige el diseño agronómico, en si una vez definido el diseño agronómico, se procede a realizar el diseño hidráulico, que consiste en determinar los diámetros de las tuberías laterales, secundarias, principales y de conducción, las presiones requeridas y la selección de la clase de tubería (INTA, 2009).

Según Moya (2009), el diseño hidráulico comprende todos los cálculos necesarios para los distintos componentes de una instalación de riego, de modo que se adapten a las condiciones de presión y caudal nominales, buscando siempre la solución más económica dentro de una calidad garantizada. A través del diseño hidráulico se determinan las dimensiones de todos los elementos del sistema, permitiendo aplicar la cantidad adecuada de agua a los cultivos en todas sus fases de desarrollo. Otro objetivo importante del diseño es asegurar que el agua aplicada, en forma de lluvia sobre el suelo, lo haga de manera suficientemente uniforme, lo que contribuye a obtener buenas producciones con un uso eficiente del recurso hídrico

Asimismo, el autor señala que es necesario realizar una anotación importante: el valor de uniformidad de aplicación que se utilizará en el diseño debe establecerse previamente. Optar por una uniformidad alta implica elegir un sistema de riego que permita ahorrar agua e incrementar la producción, lo cual siempre es deseable. Sin embargo, esto también conlleva un mayor costo en la instalación, ya que será necesario garantizar presiones más uniformes, utilizar tuberías de mayor diámetro y longitud, e incorporar elementos como reguladores de presión.

2.9. Parámetros de evaluación

Regante (2010) citado por Guarachi (2013), para describir el comportamiento de las tuberías de aspersión en riego, se realizó un análisis de los principales parámetros, tanto de la uniformidad y eficiencia del riego proporcionado por los aspersores, es importante recalcar que no existe ningún parámetro que por sí solo sea suficiente para describir el comportamiento del riego, por lo que siempre se valoran varios parámetros a la vez. Es por esto que en el presente estudio se analizaron los siguientes parámetros de evaluación:

- Uniformidad de riego
- Eficiencia de riego

Estos parámetros fueron evaluados en cada tratamiento, con el fin de determinar que tratamiento proporciona una mejor eficiencia de riego. La forma de cómo se analizó estos parámetros de evaluación se los describe dentro de las variables de respuesta.

Regante (2010), señala que los diferentes parámetros cualitativos definidos a partir de la curva de eficiencia y uniformidad que caracterizan la calidad del riego pueden clasificarse en dos grupos principales:

- **Medidas de uniformidad.** Dan idea de la igualdad con la que el agua de riego se reparte en los distintos puntos de la parcela.
- **Medidas de eficiencia.** Dan idea de la extensión de la parcela en que el riego se ha aplicado correctamente.

2.9.1. Coeficiente de uniformidad (CU)

La uniformidad de aplicación en riego se refiere al hecho de que el agua distribuida llegue por igual a todos los puntos de la parcela. Una buena uniformidad garantiza que todas las plantas estén bien regadas, sin que unas reciban agua en exceso y a otras les falte, asegurándose así el desarrollo homogéneo del cultivo. Aunque en la uniformidad de un riego influyen numerosos factores, de forma general se puede afirmar que con el riego por goteo se consiguen las aplicaciones de agua más uniformes, seguido de la aspersión y por último de los riegos a pie o por gravedad (Adena, 2009).

Según Intagri, (s.f.) afirma que la uniformidad de riego es un parámetro fundamental para medir la eficiencia de un sistema de riego. Y si el agua aplicada no se distribuye homogéneamente, habrá zonas que recibirán menos cantidad que otras, lo que llegaría afectar el desarrollo fenológico de los cultivos. Por tanto, es importante evaluar el coeficiente de uniformidad para detectar y corregir oportunamente las eventuales fallas o deficiencias que puedan presentarse en el proceso.

Adena (2009) menciona que la uniformidad de aplicación es una característica propia de cada instalación y parcela. Se puede estimar mediante mediciones en campo y se expresa mediante un porcentaje. Un coeficiente de uniformidad del 80% indicaría que el 80% de la parcela ha recibido la cantidad de agua deseada, mientras que el 20% restante ha sido regado en más o menos cantidad.

Una baja uniformidad en un sistema de riego implica la existencia de zonas del suelo con exceso de agua y otras con escasez, o bien la necesidad de aplicar agua en exceso para que las zonas que reciben menos cantidad estén suficientemente abastecidas. En cualquier caso, con una baja uniformidad será difícil obtener producciones optimas (Regante., 2010)

Resumiendo, la uniformidad es un indicador clave para evaluar la eficiencia y la calidad de un sistema de riego por aspersión. Un coeficiente de uniformidad alto indica una distribución uniforme de agua, lo que puede contribuir a un riego más eficiente, PotalFruticola (2016)

Según Tarjuelo (1999), indica que la uniformidad de distribución de agua en el campo abierto es uno de los principales factores que caracterizan el funcionamiento del sistema de riego.

Uno de los parámetros más extendidos para cuantificarla es el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CU) (1942). Valores bajos del CU suelen indicar una incorrecta combinación del aspersor con las boquillas, presión de trabajo (1 a 4 bar) y marco de riego descrito en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Rango de coeficiente de uniformidad

Clasificación	Coeficiente de Uniformidad (CU)%
Excelente	91 - 100 %
Buena	80 - 90 %
Aceptable	70 - 80 %
Inaceptable	-70%

Fuente: Regante. (2010)

2.9.2. Eficiencia de aplicación (Ea)

Adena (2009) citado por Guarachi (2013), menciona que del volumen total de agua destinada a riego que sale de un punto de suministro (embalse o pozo) no todo va a ser aprovechado por las plantas, sino que parte no llegará a su destino por diversas causas. La relación entre estas dos cantidades de agua (la que sale del punto de suministro y la que realmente aprovechan las plantas) es lo que se denomina eficiencia de aplicación. Se expresa mediante un porcentaje. Una eficiencia del 75% indica que del total del agua bombeada por un pozo sólo el 75% la tomarían las plantas y el 25% restante tendría destinos diferentes.

Así mismo establece que las pérdidas ocurren en diferentes momentos, pudiendo clasificarse en los siguientes grupos:

- Pérdidas de transporte: Son las que ocurren en las conducciones, desde las fugas en tuberías y canales hasta la evaporación en el caso de las conducciones abiertas.

- **Pérdidas de aplicación:** Engloba la instalación dentro de la parcela de riego también las fugas de tuberías como la evaporación que, bajo condiciones de viento y altas temperaturas, tiene lugar en el chorro de los emisores.

- **Pérdidas en el suelo:** Una vez en el suelo, el agua puede escurrir al superarse su capacidad de infiltración o al encontrarse saturado, e incluso escapar de la profundidad de acción de las raíces percolando a capas profundas descrito en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Eficiencia de aplicación según método de riego

Método de riego	Eficiencia
Surcos rectos	55 - 70 %
Surcos en contorno	50 - 55 %
Corrugación	50 - 70 %
Aspersión, clima seco y cálido	60%
Aspersión, clima moderado	70%
Aspersión, clima frío y húmedo	80%

Fuente: Regante. (2010)

2.10. Aspersores Caseros

Serrano (2012), ha venido ensayando con aspersores caseros de tuberías utilizándolos como medio pedagógico para verificar las condiciones de alcance como de funcionamiento. Con el objetivo de bajar los costos, considerando la sencillez de elementos que constituyen el diseño geométrico y fácil manejabilidad (operación y reposición de partes), habiendo constituido un modelo de aspersor casero. El modelo a una baja presión de 15 m.c.a., aproximadamente 1.5 Bar. Para un caudal de 0.333 m³/hr, logra alcanzar radios de mojado aproximado a 4.4 m. y considera que alcanzaría mayores radios si se trabaja en mejorar la eficiencia y sensibilidad de los componentes del dispositivo.

El mismo autor señala que el dispositivo de riego incorpora y proporciona ventajas económicas, utilidad para el manejo en condiciones de baja presión, facilidad en la construcción y cambio de elementos, asimismo, el radio de mojado puede ser modificado de acuerdo a las condiciones de presión y necesidades mediante la modificación del ángulo de salida.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización

3.1.1. Ubicación Geográfica

El presente trabajo se realizó en el departamento de La Paz, en los predios del Centro Experimental de Kallutaca, situada al Oeste de la ciudad de El Alto, en el municipio de Laja, provincia Los Andes. Geográficamente se sitúa a 16° 31' 28" Latitud Sud, 68° 18' 32" Longitud Oeste y a una altitud de 3901 m.s.n.m (Figura 2). La Estación Experimental se encuentra en la carretera La Paz-Desaguadero, la misma se halla asfaltada y es transitable durante todo el transcurso del año. Su distancia aproximada a la ciudad de La Paz es de 18 km. (Guarachi, 2013).

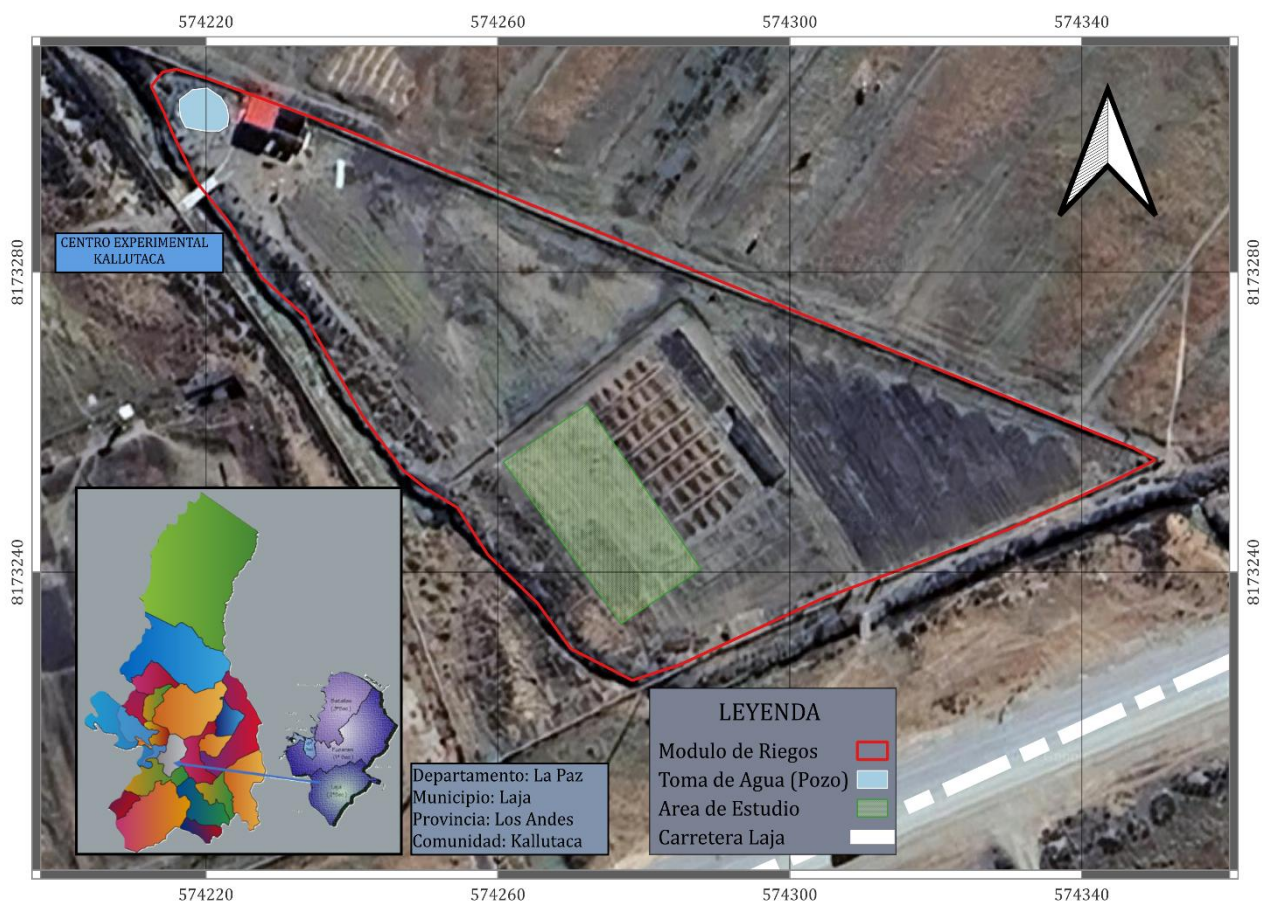


Figura 2. Ubicación del área de estudio (Elaboración en base a ArcGIS 2025).

3.1.2. Características Edafoclimáticas

3.1.2.1. Clima

En el Centro Experimental de Kallutaca se presentan las siguientes características climáticas: la temperatura promedio es de 7.60°C con una mínima extrema de 0.10°C y una máxima extrema de 15.11°C, la velocidad del viento es de 3.73 m/s con una precipitación 48.33 mm Engine (2020)

3.1.2.2. Suelo

La sede Kallutaca de la UPEA presenta suelos en su mayoría superficiales de color pardo oscuro, textura franca se nota claramente la presencia de grava y piedras. Con origen tipo volcánica con erosión eólica e hídrico provocado por las lluvias característicos de sector del suelo altiplánico además con deficiencia de nitrógeno y fosforo y potasio que son notorios por ser seco en toda su dimensión, tiene suelos entre 5.5 a 7 de pH, y la humedad del suelo presenta 80 - 85% (Quiape, 2020).

3.1.2.3. Flora

La vegetación del lugar se caracteriza por presentar comunidades vegetales nativas y cultivadas aptas para el consumo de los animales ya sea mono y poligástricos. Entre las especies de mayor presencia podemos citar los siguientes: Chilliguales gramadales conformados por: Ch'illiwa (*Festuca dolichophylla*), Festuca alta (*Festuca arundinacea*), Layu Layu (*Trifolium amabile*), *Erodium cicutarium* (Reloj reloj), *Lepidium bipinnatifidum* (Janu K'ara), *Capsella bursapastoris* (Bolsa de pastor), *Bromus inermis* (Cebadilla), *Brassica rapa* (Mostaza), *Setaria verticilla* (Cola de zorro), *Pennisetum clandestinum* (Ch'iji) y *Bidens andicola* (Muni muni).; Pasturas conformados por: Alfalfa (*Medicago sativa*), Pasto oville (*Dactylis glomerata*), Pasto llorón (*Eragrostis curvula*); también especies cultivadas como la Avena (*Avena sativa*), Cebada (*Hordium sativum*), Triticale (*X. Triticosecale*), (Guarachi, 2013).

3.1.2.4. Fauna

La composición de la fauna en el predio está representada principalmente por animales monogástricos y, en menor proporción, por rumiantes, lo cual se relaciona con la limitada disponibilidad de forrajes y resiembras en los pastizales. Asimismo, la zona de estudio

presenta una diversidad de especies animales domésticas como bovinos, ovinos, camélidos y caprinos, además de especies silvestres como liebres, aves y roedores, entre otros (Moñocopa, 2010).

3.1.2.5. Calidad de Agua

La calidad de agua es una variable fundamental del riego, para determinar parámetros físicos - químicos, que afecta tanto a las plantas como al suelo, se realizó el muestreo respectivo de agua proveniente de la fuente de agua (4 m x 3 m x 2.5 m de profundidad). descrito en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Características físico-químicas del agua para riego

Parámetros	Unidades	Resultados
Ph		7.86
Conductividad (25,0°C)	us/cm	332.00
Calcio	Mg Ca ²⁺ /L	22.49
Magnesio	Mg Mg ²⁺ /L	5,37
Sodio	Mg Na/L	11,17
Sar		0,69

Fuente: Instituto de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (2024)

Se observa que el agua analizada presenta un pH de 7,86, lo que la clasifica como ligeramente alcalina, pero dentro del rango óptimo para su uso en riego agrícola, sin generar efectos adversos significativos en el suelo ni en los cultivos. La conductividad eléctrica (332 us/cm) evidencia que se trata de un agua con baja salinidad, lo cual garantiza que no se producirán problemas de acumulación de sales en la zona radicular, permitiendo un adecuado crecimiento y desarrollo de los cultivos. En cuanto a la composición iónica, la concentración de calcio (22,49 mg/L) y magnesio (5,37 mg/L) es favorable, ya que ambos elementos contribuyen a mejorar la estabilidad de la estructura del suelo y reducen el riesgo de dispersión de arcillas. Por su parte, el sodio (11,17 mg/L) se encuentra en un nivel bajo, lo que es beneficioso porque evita riesgos de sodificación, que suelen afectar la infiltración y permeabilidad del agua en suelos de textura fina. Finalmente, el SAR (0,69) confirma que no existe riesgo de infiltración ni deterioro en la calidad física del suelo, por lo que esta agua se clasifica como apta y segura para riego, pudiendo emplearse sin restricciones en diferentes tipos de cultivos y condiciones edáficas Guarachi.E (2024)

3.2. Materiales

3.2.1. Materiales para la elaboración de las tuberías de aspersiones artesanales.

Los materiales que se usaron para la elaboración de las tuberías de aspersión artesanales fueron los siguientes: tubería de 1 pulgada, unión universal de 1 pulgada, llave de paso tipo bola de 1 pulgada, tapón macho, gancho de 0.85 mm, cinta métrica, transportador con algunos hasta 180°

3.2.2. Material de campo y para la instalación del sistema

- Motobomba de 4.5 HP
- Manguera de succión de 2 pulgadas
- Politubo E40 de 2 pulgadas
- Codos de 2 pulgadas
- Tubo PVC Hidráulico 50 cm de 2 pulgadas
- Niples de 2 pulgadas
- Llave de paso tipo bola de 2 pulgadas
- T PVC de 2 pulgadas
- Reducción buje de 2 pulgadas a 1 y ½ pulgada
- Politubo E40 de 1 y ½ pulgada
- Abrazaderas con reducción de 1 y ½ a 1 pulgada
- Tapón tipo macho de 1 y ½ pulgada
- Sierra mecánica

3.2.3. Materiales para evaluación

- Manómetro de glicerina de 6 bares
- Datos de la Estación Climática Automática
- Pluviómetro de 2500 ml
- Probetas de 250, 500 y 1000 ml
- Balde graduado de 20 litros de capacidad
- Cronometro

3.2.4. Material de escritorio

- Bolígrafos, lápiz y goma
- Calculadora
- Planillas de registro y una libreta

3.2.5. Software

- Google Earth
- Microsoft office Excel
- Surfer
- AutoCAD
- ArcGIS Pro

3.3. Metodología

3.3.1. Fase de instalación

3.3.1.1. Elaboración de las tuberías de aspersión

Se llevó a cabo la instalación de seis líneas de tuberías de aspersión con un diámetro de 1 pulgada, utilizando politubos debido a su flexibilidad y resistencia. Para la disposición angular de cada tratamiento, se utilizó un transportador, permitiendo establecer con precisión los ángulos requeridos según el diseño experimental. Los politubos, elaborados a partir de resinas de polietileno, ofrecen una alta durabilidad y resistencia a las condiciones ambientales, lo que los convierte en una opción adecuada y eficiente para sistemas de riego de tipo artesanal.

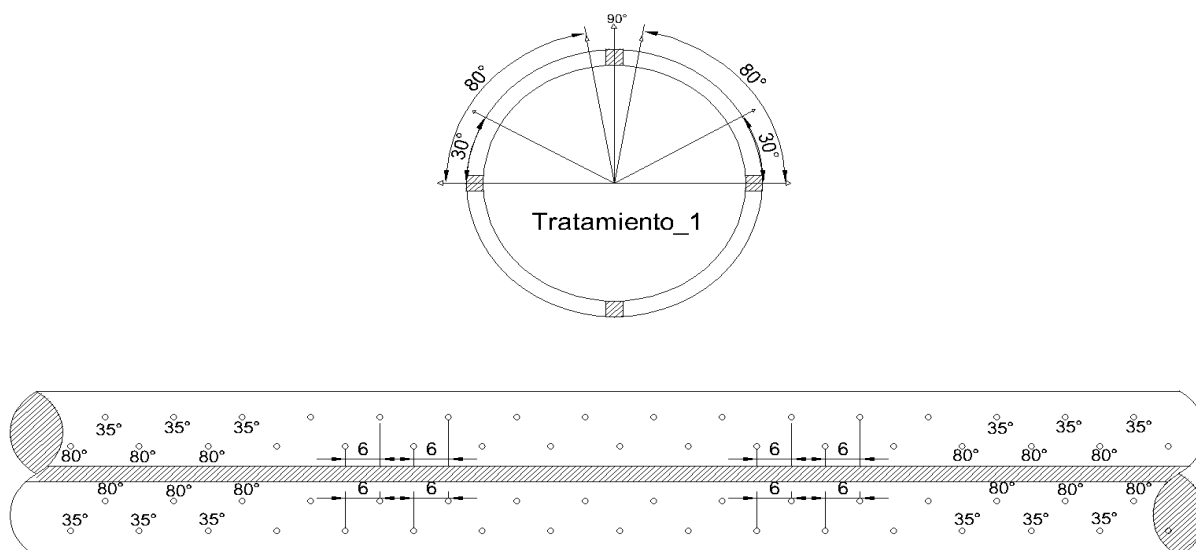


Figura 3. Ángulos y distancias del primer tratamiento

Para el primer tratamiento se utilizaron tuberías de polietileno, cada una con una longitud de 10 metros. Estas fueron instaladas con inclinaciones de 30° y 80°, respectivamente, con marcas realizadas a intervalos de 6 cm a lo largo de su extensión como se llega a observar en la Figura 3, lo que permitió un control preciso de la orientación de los orificios de salida. Los laterales fueron dispuestos con una separación de 4 metros entre sí, configurando un espaciamiento adecuado para analizar el efecto de los ángulos de inclinación sobre la distribución del agua en el área de riego.

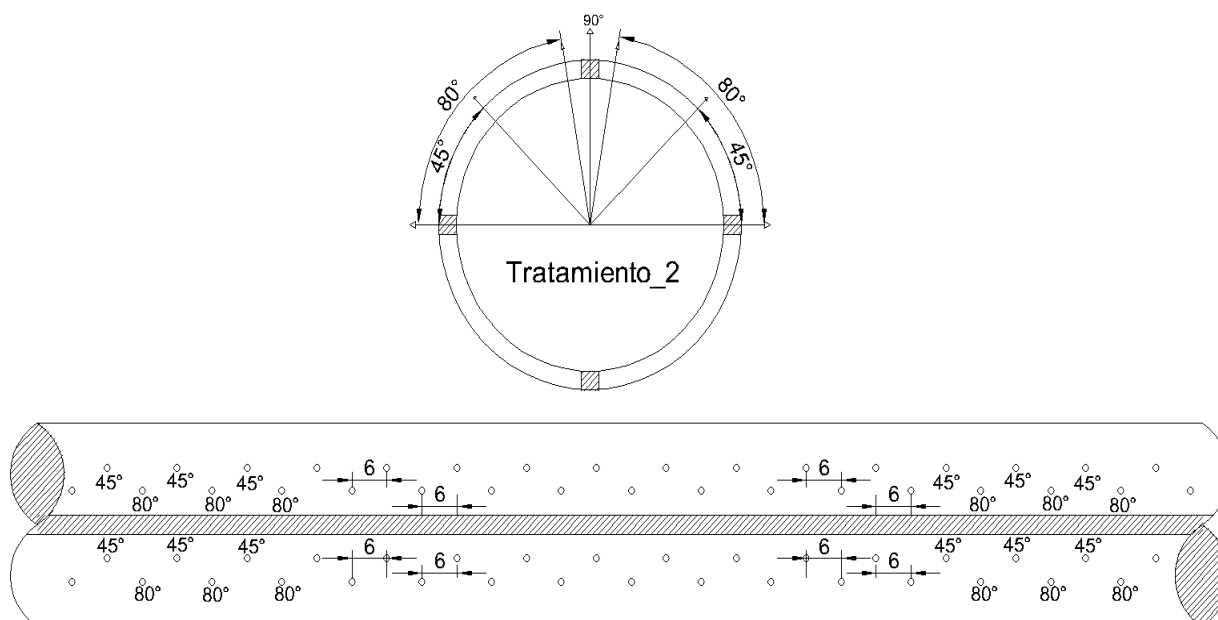


Figura 4. Ángulos y distancias del segundo tratamiento

Para el segundo tratamiento se utilizaron dos tuberías de polietileno, cada una con una longitud de 10 metros. Estas fueron instaladas con inclinaciones de 45° y 80° , respectivamente, con marcas realizadas a intervalos de 6 cm a lo largo de su extensión como se llega a observar en la Figura 4, lo que permitió un control preciso de la orientación de los orificios de salida. Los laterales fueron dispuestos con una separación de 4 metros entre sí, configurando un espaciamiento adecuado para analizar el efecto de los ángulos de inclinación sobre la distribución del agua en el área de riego. Posteriormente, las tuberías fueron trasladadas al terreno experimental, donde se procedió a su despliegue y ajuste final, asegurando su correcta colocación según los parámetros establecidos para la evaluación hidráulica.

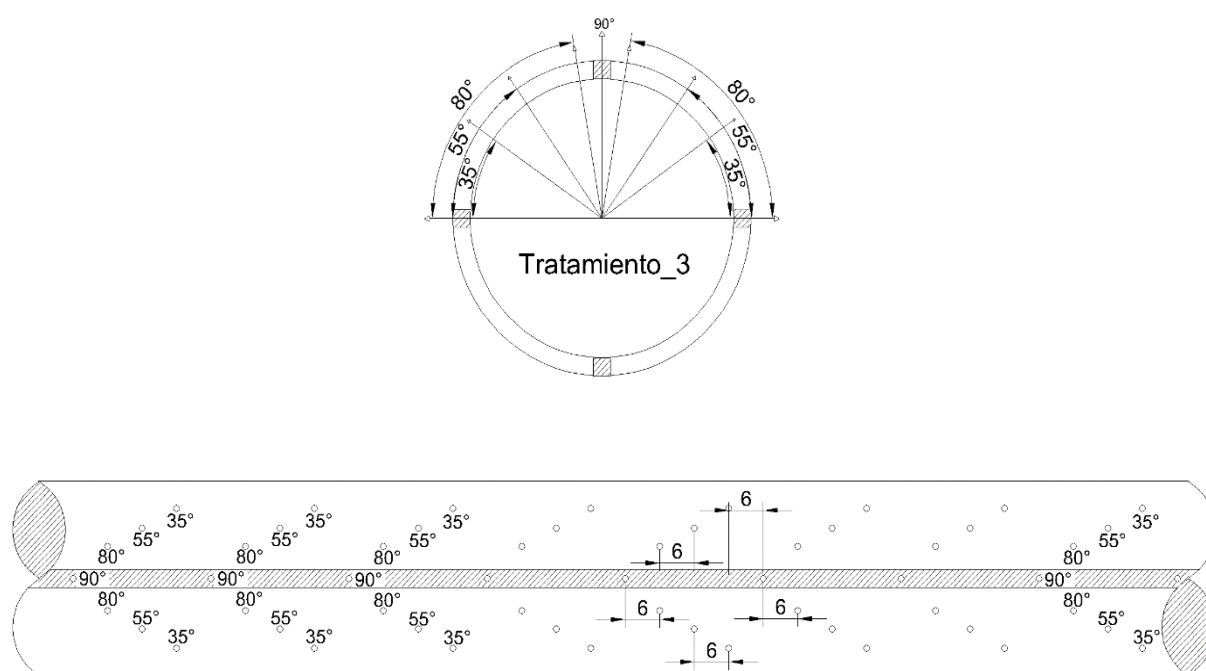


Figura 5. Ángulos y distancias del tercer tratamiento

Para el tercer tratamiento se utilizaron dos tuberías de polietileno, cada una con una longitud de 10 metros. Estas fueron instaladas con inclinaciones de 90° , 80° , 55° y 35° , respectivamente, con marcas realizadas a intervalos de 6 cm a lo largo de su extensión como se llega a observar en la Figura 5, lo que permitió un control preciso de la orientación de los orificios de salida. Los laterales fueron dispuestos con una separación de 4 metros entre sí, configurando un espaciamiento adecuado para analizar el efecto de los ángulos de inclinación sobre la distribución del agua en el área de riego.

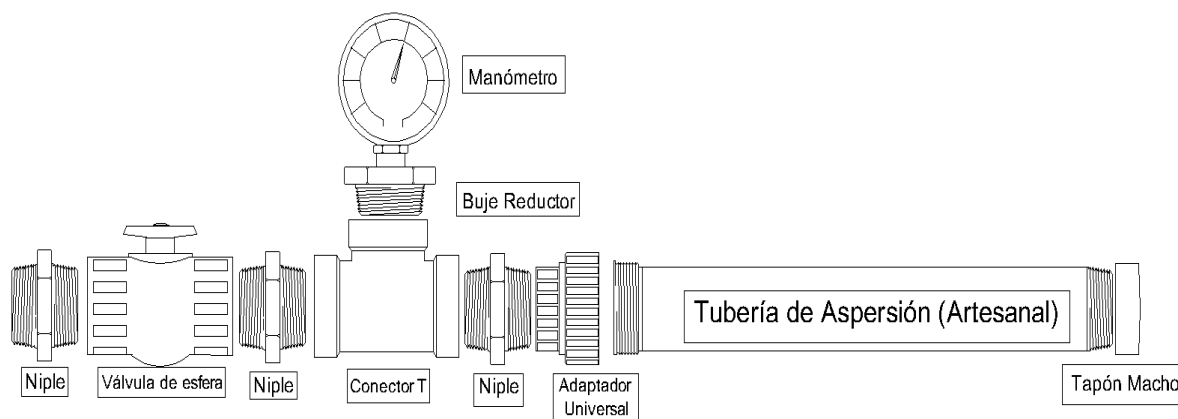


Figura 6. Elementos de la tubería de aspersión

La Figura 6 muestra un diagrama técnico del armado de un sistema artesanal de riego por aspersión, destacando cada uno de los componentes necesarios para su ensamblaje que se describen a continuación:

- **Niple** - Elemento corto roscado que se usa para conectar piezas entre sí. Se coloca al inicio y después de la válvula de esfera.
- **Válvula de esfera**- Permite abrir o cerrar el paso del agua manualmente. Es útil para controlar el flujo de riego.
- **Conector en “T”**- Pieza que permite derivar el flujo del agua hacia un manómetro (para medir presión) y continuar el flujo hacia la tubería de aspersión.
- **Buje reductor**- Adaptador que permite reducir el diámetro de conexión del manómetro con respecto al conector en “T”.
- **Manómetro**- Instrumento que mide la presión del agua en el sistema, fundamental para verificar las condiciones hidráulicas de operación.
- **Adaptador universal**- Permite acoplar el sistema a una tubería flexible, como el politubo artesanal. Asegura una conexión hermética entre la parte rígida y la flexible.
- **Tubería de aspersión (artesanal)**- Tramo principal del sistema, usualmente hecho de politubo. Contiene perforaciones o boquillas a lo largo de su longitud para permitir la salida del agua.
- **Tapón macho**- Se coloca al final de la tubería para sellarla y evitar que el agua escape por el extremo.

3.3.1.2. Preparación del terreno

En la preparación del terreno se empleó herramientas de lugar, con el objetivo de realizar una limpieza, removido y nivelación del área, donde se llegó a instalar el sistema de riego por aspersión, cuya superficie de preparación contemplo (280 m²), con el fin de facilitar la obtención de datos para la evaluación de la eficiencia de los aspersores artesanales. Cabe mencionar que la determinación de las características hidráulicas y el análisis de los principales parámetros de evaluación de riego, se los realizaron a campo abierto sin la implementación inicial de un cultivo.

3.3.1.3. Instalación del sistema de riego

Para la instalación del sistema de riego se empleó una tubería de polietileno de 1 y 1/2 pulgada y diversos accesorios para el acople en la tubería principal, esto con el fin de distribuir el agua desde la unidad de bombeo hacia el área de evaluación. También se consideró que este sistema de riego es de tipo desplazamiento continuo. A continuación, se describe los procedimientos realizados.

- **Unidad de Bombeo.** La unidad de bombeo de un sistema de riego por aspersión es una instalación con equipos que tienen por objeto aspirar el agua desde la fuente de agua e impulsarla a la red de tuberías. Dado que para el funcionamiento de las tuberías por aspersión se requiere carga hidráulica, la motobomba crea la presión necesaria para ello, como así también para compensar las pérdidas de carga en las tuberías. Es importante señalar que el motor de la bomba puede ser eléctrico o a combustión interna. En el presente estudio se empleó una bomba de riego con un motor de combustión interna (funcionamiento con gasolina), de la marca WB20XT-DR HONDA, con boquilla de entrada y salida de 2" y una potencia de 4.5 HP.

Como fuente de agua se habilitó un pozo con las siguientes dimensiones (4 m x 3 m x 2.5 m de profundidad), llegando a tener un volumen de 30 m³.

- **Instalación de La Tubería Principal, Secundario y Lateral.** las tuberías de un sistema de riego por aspersión permiten conducir el agua a presión desde la unidad de bombeo hasta la tubería de aspersión

Para la instalación de la tubería principal (TP), se empleó politubo de 2 pulgadas con una longitud de aproximadamente 67.40 m el cual se llegó a enterrar a una profundidad

de 50 cm. La cual condujo el agua desde la unidad de bombeo hasta el punto de distribución que dividen los sectores de riego (tubería secundaria).

Para la instalación de la tubería secundaria se construyó un hidrante de 50 cm de tubería PVC, Codos PVC, T PVC, Llave de paso tipo bola de 2 pulgadas y reducción bujo de 2 a 1 y ½ pulgada, se extendió una tubería de 1 y ½ pulgada con una longitud de 33.77 m el cual se llegó a situar en la superficie del suelo.

Los ramales o laterales de riego llevan insertos durante su trayecto las tuberías de aspersión, por lo tanto, constituyen los elementos finales de conducción y distribución del sistema. Para la instalación de los laterales se usó accesorios de PVC, llegando a tener instalados 6 laterales en la tubería principal y separadas a 4 m entre laterales.

Es importante señalar que previo a la instalación de las tuberías de aspersión, se realizaron diferentes pruebas con los aspersores artesanales, para determinar aproximadamente el área mojado que generaba cada aspersor a una determinada presión de 0.5 a 1.3 bares, por tanto, el marco de riego empleado en el presente estudio, es decir el espaciamiento de las tuberías de aspersión.

Por otro lado, a la vez se instalaron los diferentes equipos para la evaluación de los principales parámetros de riego, como los manómetros con glicerina, tanto al inicio de la tubería principal, al inicio de los laterales y las tuberías de aspersión

3.3.2. Fase de evaluación

3.3.2.1. Acondicionamiento y control de la instalación

Una vez finalizada la instalación del sistema de riego, se llevó a cabo una inspección minuciosa de todos sus componentes, incluyendo tuberías, coplas, válvulas y dispositivos de control. Posteriormente, se realizó una prueba de funcionamiento destinada a verificar que el sistema no presentara fugas, prestando especial atención a posibles escapes de agua en las uniones de las tuberías de aspersión, conexiones y puntos de toma o bocas de riego. Esta evaluación resultó esencial para asegurar el correcto desempeño del sistema antes de su puesta en operación.

3.3.2.2. Determinación de características hidráulicas

Realizada la inspección de los componentes del sistema de irrigación, se procedió a determinar las características hidráulicas de cada tubería de aspersión, los cuales se

encontraban bajo factores y tratamientos en estudio. Entre las principales características hidráulicas determinadas se tiene:

- Presión dinámica (bar)
- Caudal (L/s) (L/h)
- Alcance de riego: Distancia a la cual el emisor llega a mojar (m)

3.3.2.3. Análisis de los principales parámetros técnicos

Para describir el comportamiento de las tuberías de aspersión, se realizó un análisis de los principales parámetros, tanto de la uniformidad y eficiencia de aplicación proporcionado por las tuberías, es importante recalcar que no existe ningún parámetro que por sí solo sea suficiente para describir el comportamiento del riego, por lo que siempre se valoran varios parámetros a la vez.

Es por esto que en el presente estudio se analizaron los siguientes parámetros de evaluación:

Coeficiente de uniformidad (CU)

Eficiencia de aplicación (Ea)

Estos parámetros fueron evaluados en el estudio, con el fin de determinar que tratamiento proporciona una mejor eficiencia de riego y menor consumo de agua. La forma de cómo se analizó estos parámetros de evaluación se los describe dentro de las variables de respuesta.

3.3.3. Diseño experimental

Las unidades experimentales (tuberías de aspersión Artesanales), fueron distribuidas en función a un Diseño Completamente al Azar, con 3 tratamientos y 5 repeticiones. Llegando a trabajar de esta manera con un total de 15 pruebas en el área de estudio. A esto es importante aclarar que, debido a la presencia de una covariable que influye sobre las variables principales, por esta razón, fue necesario trabajar mediante un Análisis de Covarianza para un Diseño Completamente al Azar, donde el diseño se aplicara para los parámetros técnicos (Ochoa, 2016).

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j (x_{ij} - \bar{x}) + \varepsilon_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = Una observación cualquiera de la variable de respuesta

μ = Media poblacional

α_i = Efecto del i-ésimo tratamiento

β = Coeficiente de regresión

x_{ij} = Variable independiente o concomitante (covariable)

\bar{x} = Media general de la variable independiente

$\epsilon_j(i)$ = Efecto aleatorio del error experimental

3.3.3.1. Formulación de tratamientos

A continuación, se detallará los 3 tratamientos de las tuberías de aspersión

Tratamiento T-1 = (Orificios con ángulos de elevación 30° 80°).

Tratamiento T-2 = (Orificios con ángulos de elevación 45° 80°).

Tratamiento T-3 = (Orificios con ángulos de elevación 35° 55° 80°90°).

3.3.4. Variables de respuesta

3.3.4.1. Características hidráulicas

3.3.4.1.1. Presión de trabajo (Bar)

Llamamos presión a la fuerza que ejerce un fluido sobre cualquier objeto que este en contacto con ese fluido, en el caso de este sistema de riego particularmente nos interesa la presión que ejerce el agua sobre las paredes de las tuberías que la conducen.

En la presente investigación la lectura de la presión se determinó en bares, mediante manómetros con glicerina de 4 a 6 bares de capacidad, los cuales fueron instalados en diferentes puntos en el sistema de riego, al inicio de la tubería principal, al inicio de cada ramales o laterales de riego. Las lecturas fueron realizadas en diferentes oportunidades durante el tiempo de evaluación de las tuberías de aspersión (pluviometría).

3.3.4.1.2. Caudal (L/s)

El caudal (Q) fue determinado para conocer el volumen (V) de agua que pasa por una sección transversal conocida, en un tiempo determinado (t), el cual esta expresado como:

$$Q = \frac{V}{t} \quad (7)$$

Donde:

Q=Caudal (L/s).

V=Volumen (L).

t=Tiempo (s).

La determinación de caudal de las tuberías de aspersión fue mediante el método volumétrico en L/s para luego expresarlos en l/h, para lo cual se implementó Politubo E40 de 2plg, con la intención de captar toda el agua emitido y recolectado en un contenedor.

3.3.4.1.3. Alcance de riego (Ar)

El alcance de riego se midió manualmente con la ayuda de una wincha o cinta métrica en las partes laterales de cada tubería, donde la irrigación de riego será más fuerte y tendrá mayor alcance. Este alcance será medido únicamente para ver el alcance la irrigación de la llovizna artificial.

3.3.4.2. Parámetros técnicos

3.3.4.2.1. Coeficiente de uniformidad (CU)

El análisis de coeficiente de uniformidad (CU), desarrollado por Christiansen (1942) mencionado por Guarachi (2013), el cual es expresado en %, se usó para estudiar la uniformidad de la lluvia artificial aplicada una vez completado un periodo de riego, para lo cual antes de comenzar con el riego, se pondrán una red de pluviómetros de latas formando una malla de 0,50 m x 1 m entre 2 ramales, llegando a tener 40 pluviómetros en cada bloque de estudio que recogerán la lluvia artificial de las tubería de aspersión de 10 m (Longitud de las tuberías) de un mismo tratamiento de estudio, en distintos tiempos de riego, una vez finalizado la evaluación se dejara de regar para inmediatamente llegar a medir el volumen recogido por cada pluviómetro con la ayuda de probetas graduadas de 250, 500 y 1000 ml

de capacidad, para posteriormente realizar los cálculos necesarios. El coeficiente de uniformidad de Christiansen se define como sigue:

$$Cu = 100 + \left[1 - \frac{\Sigma(H_i - H)}{\Sigma H_i} \right] \quad (8)$$

Dónde:

H=volumen de agua recogida por cada pluviómetro, expresado en “ml”.

\bar{H} = Media de los volúmenes recogidos en cada pluviómetro, expresado en “ml”

3.3.4.2.2. Eficiencia de aplicación (Ea)

La eficiencia de aplicación fue calculada, para determinar el tanto por ciento del agua de riego que es realmente utilizada por el cultivo con respecto al total de agua aplicada, para lo cual se considerara las pérdidas de agua originadas por infiltración profunda.

Conforme a los parámetros anteriores de evaluación para un sistema de riego por tuberías por aspersión, se llegó a calcular la eficiencia general de aplicación “Ea” conforme a lo siguiente:

$$Ea = \frac{\text{Lamina promedio recibida en el cuarto inferior (CI)}}{\text{amina promedio aplicada}} * 100 \quad (9)$$

Donde:

Lamina promedio recibida en el cuarto inferior (CI)= Es el promedio de lámina recibida de 10 pluviómetros con los registros más bajos, expresada en milímetros.

Lamina promedio aplicada= Es el promedio del caudal aplicada de 2 cintas de aspersión hacia la parcela experimental, expresada en milímetros.

3.3.5. Análisis económico

El análisis económico realizado en el presente estudio, fue la comparación de gastos, de las tuberías de aspersión artesanales con relación a las cintas de aspersión golpem spriy empleados en campo por los diferentes agricultores, para esto se determinó la cantidad de aspersores a implementar en una determinada superficie (280m²) y el costo resultante, llegando a obtener de esta manera una relación de costos entre ambos tipos de aspersores, tanto de los aspersores caseros como de los convencionales.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Factores climáticos

El factor clima es uno de los más importantes que determinan el volumen de las pérdidas de agua por evapotranspiración de los cultivos y también las necesidades de riego.

Tarjuelo (1999) citado por Guarachi (2013), señala que entre los principales factores que influyen en las pérdidas de agua por evaporación y arrastre del viento se encuentran la humedad relativa del ambiente, la temperatura del aire y del agua, la velocidad del viento y otras características climáticas. En consecuencia, la frecuencia de riego está directamente relacionada con dichas condiciones. Por ejemplo, temperaturas elevadas y una baja humedad relativa incrementan la demanda hídrica de los cultivos, lo que obliga a reducir los intervalos entre eventos de riego.

- **Temperatura**

La temperatura llega a ser uno de los factores que influyen a la hora de aplicar el riego por aspersión, es por esto que, durante las diferentes evaluaciones realizadas en campo, se obtuvieron lecturas diarias de las temperaturas máximas, mínimas y medias, para los meses de octubre, noviembre y enero, dichos datos fueron obtenidos de la estación automática agrometeorológica, que cuenta con un sensor de temperatura, instalado en la zona de Kallutaca. Los resultados de temperaturas altas, bajas y medias de los meses de octubre, noviembre y enero fueron procesados y analizados donde se detallan bajo el Cuadro 4.

Cuadro 4. El comportamiento de la temperatura en los días evaluados.

Fecha de Mes	Temp. Media	Temp. Máxima	Temp. Mínima
23/10/2024	11,9	19,1	5,5
26/10/2024	10,1	18,3	5,6
28/10/2024	9,7	16	2,5
30/10/2024	10,2	16,7	4,7
05/11/2024	10,5	18,7	2,4
07/11/2024	11,7	19,7	2,3
08/11/2024	11,7	19,3	3,8
15/11/2024	10,3	16,4	5,1
25/11/2024	11,5	19,5	4,7
26/11/2024	11,7	18,9	7,4
22/01/2025	8,8	15,1	5,7
23/01/2025	6,8	12,2	4,3
24/01/2025	8,9	14	5,6
25/01/2025	9,6	16,1	3,9
26/01/2025	10,1	15,4	5,8

- **Velocidad de viento**

Los resultados de velocidad de viento de los meses de octubre, noviembre y enero fueron procesados y analizados donde se detallan bajo el siguiente Cuadro 5. SIAR (1999) mencionado por Guarachi (2013), menciona que el viento es el movimiento de aire sobre una superficie (hoja o suelo), la cual determina una mayor evaporación al arrastrar el vapor de agua y evitar la acumulación de ésta en la zona Inmediatamente adyacente. Por tal razón, en una misma zona climática podemos esperar que la evapotranspiración sea considerablemente mayor, bajo condiciones de viento fuerte, en comparación a un día calmado.

Durante las fechas evaluadas, las velocidades del viento oscilaron entre 0,3 y 2 m/s, predominando valores bajos a moderados (0,3 y 1,9 m/s). Estas condiciones indican que, en general, el riego por aspersión se desarrolló bajo vientos favorables, minimizando pérdidas por deriva y asegurando una cobertura eficiente del agua en la parcela.

Cuadro 5. El comportamiento de la velocidad de viento (m/s) en los días evaluados

Fecha de Mes	Hora de Evaluación	Velocidad de Viento
23/10/2024	9:30 a. m.	1
26/10/2024	9:30 a. m.	0,7
28/10/2024	9:30 a. m.	1,8
30/10/2024	9:30 a. m.	1,5
05/11/2024	9:30 a. m.	0,4
07/11/2024	9:30 a. m.	2
08/11/2024	9:30 a. m.	0,8
15/11/2024	9:30 a. m.	1,9
25/11/2024	9:30 a. m.	0,5
26/11/2024	9:30 a. m.	1,9
22/01/2025	9:30 a. m.	0,4
23/01/2025	9:30 a. m.	0,6
24/01/2025	9:30 a. m.	0,3
25/01/2025	9:30 a. m.	0,4
26/01/2025	9:30 a. m.	1

4.2. Características hidráulicas de una tubería de aspersión artesanal

Cada emisor que esta perforado en la tubería de aspersión artesanal se caracteriza básicamente por la presión de trabajo ejercida de la moto bomba, para proporcionar la mejor distribución de agua sobre el terreno, otro aspecto es, el caudal generado a una presión dada y por el alcance de área mojada.

4.2.1. Caudal versus presión

El caudal expulsado por la tubería de aspersión artesanal depende de la presión de trabajo ejercida de la bomba, el número de emisores perforados. En general, el caudal se elevará según la presión de trabajo y/o el diámetro de la tubería. Sin embargo, la relación entre estas variables dependerá del modelo y marca del aspersor. Es por esto que cada fabricante dispone de catálogos que presentan las características de funcionamiento de los diferentes modelos de aspersores disponibles en el mercado.

En la evaluación hidráulica se emplearon tuberías de aspersión artesanales con laterales de diferentes ángulos de inclinación cuyo diseño fue sometido a diferentes presiones de trabajo, para determinar los diferentes gastos generados (caudal del aspersor).

- Tratamiento 1

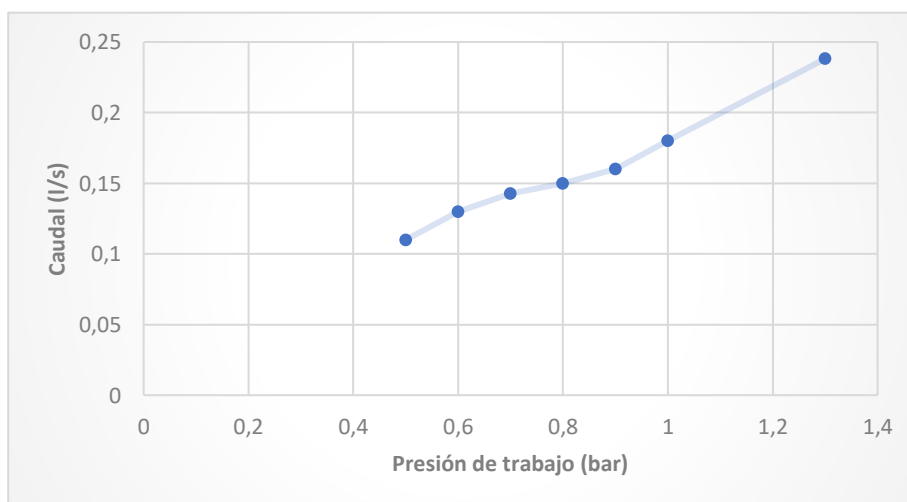
Cuadro 6. Caudal emitido por una tubería de aspersión (L/s) y (L/h) según la presión de trabajo

Presión	Caudal L/s	Caudal L/h
0,5	0,11	396,00
0,6	0,13	468,00
0,7	0,14	514,29
0,8	0,15	540,00
0,9	0,16	576,00
1	0,18	648,00
1,3	0,24	857,14

El Cuadro 6 presenta los valores de caudal (L/s y L/h) obtenidos a diferentes presiones de trabajo en una tubería de aspersión, mediante el método volumétrico. Se observa una relación directa entre la presión y el caudal: a medida que la presión aumenta, también lo hace el caudal emitido por el aspersor.

Esta relación es confirmada visualmente en la Figura 7, donde se muestra la curva característica Caudal vs Presión (Q vs P). La curva tiene una tendencia creciente, indicando que la tubería responde adecuadamente al incremento de presión con un mayor volumen de agua emitido. Sin embargo, esta relación no es completamente lineal: en los primeros tramos (de 0,5 a 0,9 bar), el aumento del caudal es progresivo pero moderado con 0.11 L/s y 0.16 L/s , mientras que, a partir de 1 bar, el caudal experimenta un incremento más significativo con 0.18 L/s y 0.24 L/s a 2 bar.

Figura 7. Curva caudal versus presión (Q vs P), obtenido en campo mediante el método volumétrico para la tubería de aspersión.



Estos resultados coinciden con lo señalado por Guarachi (2013), quien indica que el caudal entregado en sistemas de riego por aspersión aumenta a medida que se incrementa la presión de trabajo. No obstante, dicho comportamiento puede variar dependiendo del modelo, marca y características técnicas de los emisores utilizados en el sistema

- **Tratamiento 2**

Cuadro 7. Caudal emitido por una tubería de aspersión (L/s) y (L/h) según la presión de trabajo

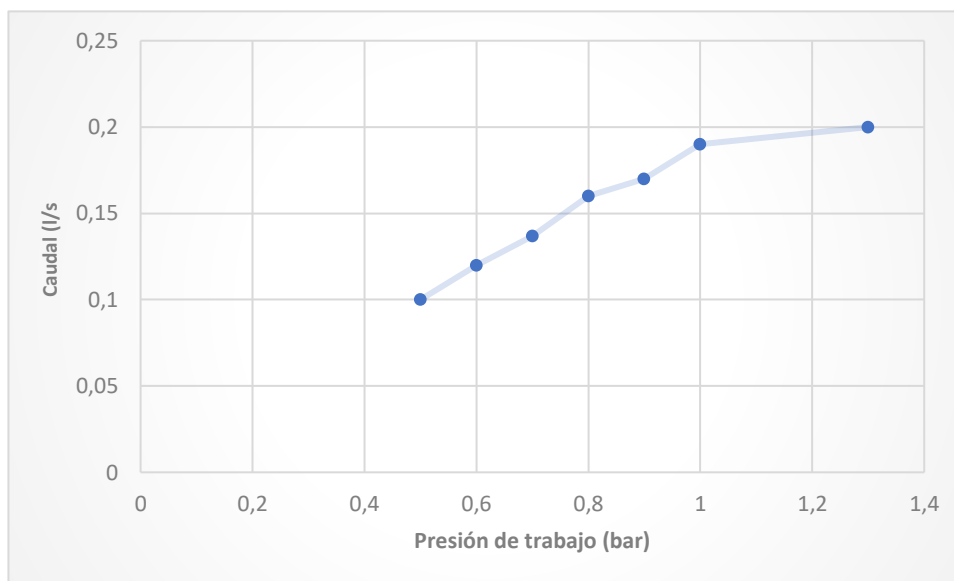
Presión	Caudal L/s	Caudal L/h
0,5	0,1	360,00
0,6	0,12	432,00
0,7	0,14	493,15
0,8	0,16	576,00
0,9	0,17	612,00
1	0,19	684,00
1,3	0,20	720,00

El Cuadro 7 muestra los valores de caudal (L/s y L/h) obtenidos a distintas presiones de trabajo en una tubería de aspersión, utilizando el método volumétrico. Se evidencia una relación directa entre la presión y el caudal: a medida que la presión aumenta, también lo hace el volumen de agua emitido por el aspersor.

Esta tendencia se visualiza claramente en la Figura 8, que presenta la curva característica Caudal vs Presión (Q vs P). La curva muestra un comportamiento ascendente, lo que indica que la tubería responde adecuadamente al incremento de presión con un mayor caudal. No obstante, la relación no es completamente lineal. En los primeros tramos (de 0,5 a 0,9 bar), el aumento del caudal es gradual, pasando de 0,1 L/s a 0,17 L/s. A partir de 1 bar, el caudal presenta un incremento más pronunciado, alcanzando 0,19 L/s y 0,20 L/s a 2 bar.

En la determinación hidráulica, se emplearon tuberías de aspersión de 1" diámetro a una distancia de 4 metros de laterales en la tubería principal.

Figura 8. Curva caudal versus presión (Q vs P), obtenido en campo mediante el método volumétrico para la tubería de aspersión



- **Tratamiento 3**

Cuadro 8. Caudal emitido por una tubería de aspersión (l/s) y (l/h) según la presión de trabajo

Presión	Caudal l/s	Caudal l/h
0,5	0,12	432
0,6	0,14	504
0,7	0,18	654,55
0,8	0,21	756
0,9	0,23	828
1	0,25	900,0
1,3	0,30	1080,0

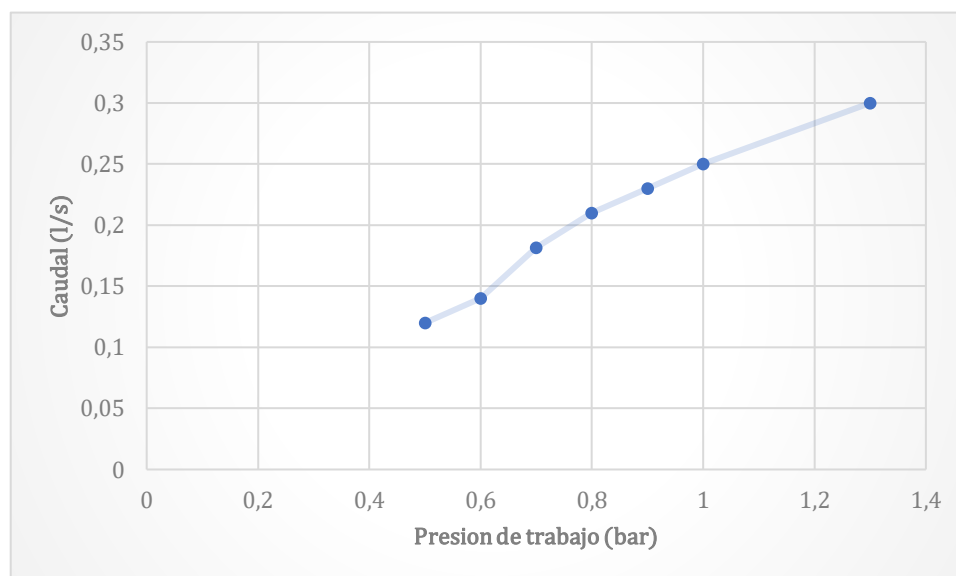
El Cuadro 8 presenta los valores de caudal (l/s) y (l/h) obtenidos a distintas presiones de operación en una tubería de aspersión, determinados mediante el método volumétrico. Se observa una correlación directa entre la presión y el caudal: conforme se incrementa la presión, también lo hace el volumen de agua emitido por el aspersor.

Dicha relación se corrobora visualmente en la Figura 9, la cual muestra la curva característica Caudal vs Presión (Q vs P). Esta curva presenta una tendencia ascendente, lo que indica un comportamiento adecuado del sistema ante incrementos de presión,

reflejados en un mayor caudal. Sin embargo, dicha relación no es estrictamente lineal. En los tramos iniciales (de 0,5 a 0,9 bar), el aumento del caudal es progresivo pero moderado, variando de 0,12 L/s a 0,23 L/s. A partir de 1 bar, se observa un incremento más significativo, alcanzando 0,25 L/s y 0,30 L/s a 2 bar.

En la evaluación hidráulica se utilizaron tuberías de aspersión de 1" de diámetro, dispuestas con una separación de 4 metros entre laterales conectados a la tubería principal.

Figura 9. Curva caudal versus presión (Q vs P), obtenido en campo mediante el método volumétrico para la tubería de aspersión.



4.2.2. Alcance de riego (A_r)

El alcance mojado de una tubería de aspersión, que es determinado por la presión de trabajo ejercida desde la bomba. El valor máximo de alcance de riego mojado se obtiene en un área sin la presencia de viento.

Sin embargo, bajo las condiciones de viento, las tuberías de aspersión deben situarse en una zona donde la topografía no sea tan inclinada, debe ser un lugar preferiblemente plano. Debido a esto, en el presente estudio se emplearon distancias de riego entre laterales de aspersión de 4 metros de tubería a tubería, con la finalidad de obtener alcance de área mojada en diferentes condiciones climáticas influenciados principalmente por la velocidad de viento, a esto es importante señalar, la distancia de alcance teórico de la cinta Golden Spray es de 6m, para una determinada presión de funcionamiento y caudal emitido sin

influencia del viento. El Alcance de riego el cual fue determinado mediante una medición manual con wincha, llegando a obtener los siguientes resultados:

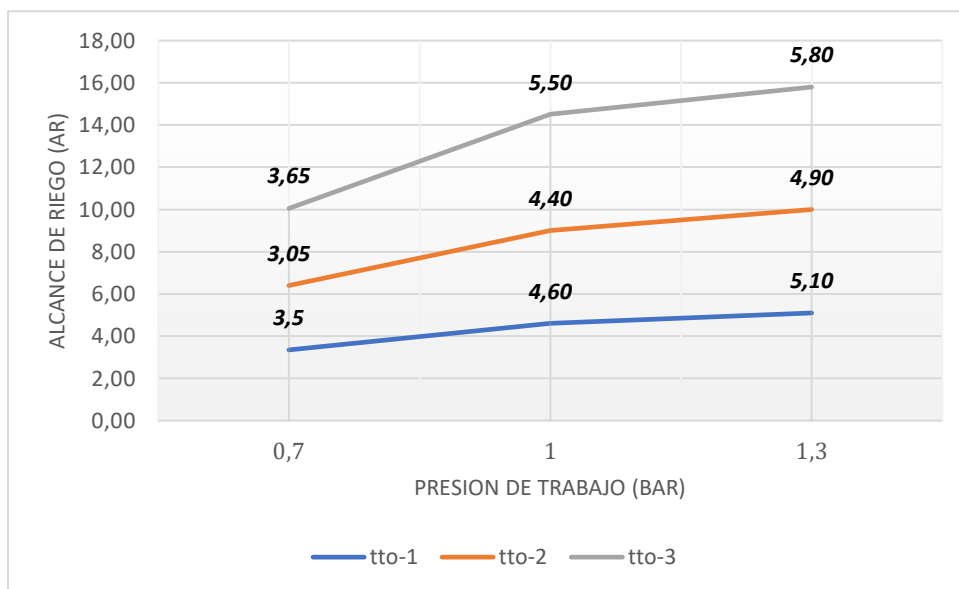
Cuadro 9. Valores de Alcance de riego (m), para tuberías de aspersión, influenciados por la velocidad de viento (1.2 m/s), a una determinada presión de funcionamiento.

Tratamiento - 1				
Hora de Medición	Dirección de Viento	Velocidad de Viento	Alcance de Riego (m)	Presión de Trabajo
9:00 a. m.	W	1,2	3,35	0,7
9:30 a. m.	W	1,2	4,60	1
9:50 a. m.	W	1,2	5,10	1,3
Tratamiento - 2				
Hora de Medición	Dirección de Viento	Velocidad de Viento	Alcance de Riego (m)	Presión de Trabajo
10:00 a. m.	W	1,2	3,05	0,7
10:20 a. m.	W	1,2	4,40	1
10:40 a. m.	W	1,2	4,90	1,3
Tratamiento - 3				
Hora de Medición	Dirección de Viento	Velocidad de Viento	Alcance de Riego (m)	Presión de Trabajo
11:10 a. m.	W	1,2	3,65	0,7
11:30 a. m.	W	1,2	5,50	1
11:50 a. m.	W	1,2	5,80	1,3

El Cuadro 9 presenta los valores de alcance de riego obtenidos para tres tratamientos experimentales bajo diferentes presiones de trabajo (0,7; 1,0 y 1,3 bar), con una velocidad de viento constante de 1,2 m/s. Las mediciones fueron realizadas en distintos horarios de la mañana, permitiendo observar el comportamiento del sistema de aspersión en condiciones operativas similares. En todos los tratamientos se evidencia una relación positiva entre la presión de funcionamiento y el alcance del chorro emitido por el aspersor.

El Tratamiento 1 mostró un incremento del alcance de riego desde 3,35 m a 0,7 bar, hasta 5,10 m a 1,3 bar. Por su parte, el Tratamiento 2 registró valores de 3,05 m, 4,40 m y 4,90 m a las respectivas presiones. El Tratamiento 3, en cambio, alcanzó los mejores resultados, con un aumento progresivo desde 3,65 m hasta 5,80 m, evidenciando una mayor eficiencia hidráulica en comparación con los otros tratamientos.

Figura 10. Curva de alcance de riego media de la tubería de aspersión para un alcance de riego obtenido en relación a la presión de funcionamiento (Bar)



La Figura 10 representa gráficamente los datos del cuadro anterior, mostrando con claridad la tendencia creciente del alcance de riego en función de la presión de trabajo. Cada curva corresponde a un tratamiento específico, evidenciándose que un aumento en la presión de funcionamiento se traduce en un mayor alcance del riego. El Tratamiento 3 destaca por presentar la pendiente más pronunciada, lo que sugiere una mayor sensibilidad hidráulica y una respuesta más eficiente del sistema frente al incremento de presión. En contraste, los Tratamientos 1 y 2 exhiben una progresión más moderada, particularmente en el intervalo de 0,7 a 1,0 bar, donde la variación en los valores de alcance es menos significativa.

Según Poma (2014), señala que el alcance de riego en el método de riego por aspersión está ligado a la presión de funcionamiento, donde se debe tener cuidado a las condiciones de viento a la hora de medir, donde generaran un caudal y alcance de riego. Donde el papel de la motobomba será importante para hallar el alcance de riego.

4.2.3. Pluviometría y precipitación

La pluviometría media de las tuberías de aspersión, definida como la altura promedio de agua distribuida sobre el terreno experimental de 40 m², se determinó mediante la Ecuación (1) de pluviometría descrita previamente.

INIA (2001), señalan que la pluviometría es el parámetro que más frecuentemente se utiliza para definir la intensidad de lluvia proporcionada por la aspersión hacia la parcela experimental. Para lo cual una vez obtenido los resultados tanto de caudal, como de los radios de alcance emitidos y expresados anteriormente en las tablas dentro de lo que son las características hidráulicas de los aspersores artesanales, se procedió a obtener los diferentes valores de pluviometría.

Cuadro 10. Pluviometrías medias de una tubería (mm/h), para un alcance de riego, a una determinada presión de funcionamiento y caudal emitido.

tratamiento 1		
Presión	l/h	Pluviometría media de una tubería de aspersión (mm/h)
0,5	396	9,90
0,6	468	11,70
0,7	514,29	12,86
0,8	540	13,50
0,9	576	14,40
1	648	16,20
1,3	857,14	21,43
tratamiento 2		
Presión	l/h	Pluviometría media de una tubería de aspersión (mm/h)
0,5	360	9,00
0,6	432	10,80
0,7	493,15	12,33
0,8	576	14,40
0,9	612	15,30
1	684	17,10
1,3	720	18,00
tratamiento 3		
Presión	l/h	Pluviometría media de una tubería de aspersión (mm/h)
0,5	432	10,80
0,6	504	12,60
0,7	654,55	16,36
0,8	756	18,90
0,9	828	20,70
1	900	22,50
1,3	1080	27,00

En el Cuadro 10 se detallan los valores de pluviometría media (mm/h) correspondientes a la tubería de aspersión artesanal para los tres tratamientos evaluados. Estos datos fueron

obtenidos bajo distintas condiciones de presión de funcionamiento (bar), alcance teórico de riego (m) y caudal desfogado (l/h). Cabe resaltar que tanto el caudal como el alcance de riego están estrechamente vinculados a la presión de trabajo, la cual influye directamente en el desempeño hidráulico del sistema. A mayor presión, se observa un incremento tanto en el caudal emitido como en la extensión del área regada, lo que se traduce en mayores valores de pluviometría. Esta relación confirma la importancia de un control adecuado de la presión para lograr una distribución eficiente y uniforme del agua en sistemas de riego por aspersión.

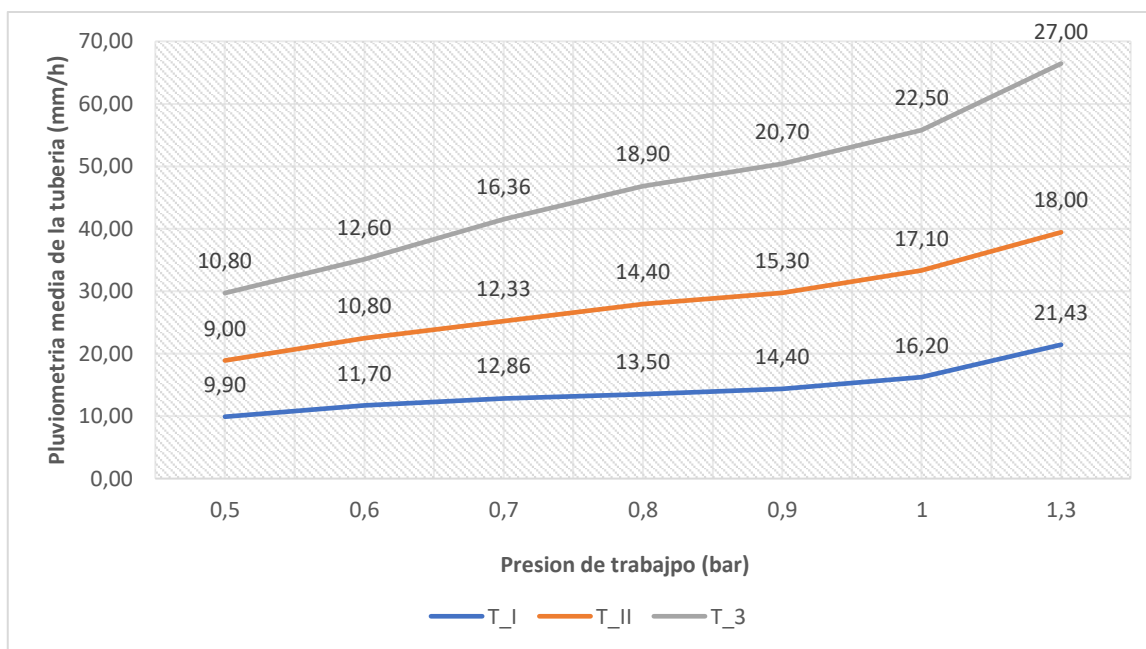


Figura 11. Curva de Pluviometría media de la tubería de aspersión para un alcance de riego obtenido en relación a la presión de funcionamiento (Bar)

La Figura 11 representa gráficamente los datos de la pluviometría media (mm/h) registrada para cada tratamiento, la presión de funcionamiento y el caudal descargado, evidencia variaciones importantes según la presión aplicada. A una presión mínima de 0.5 bar, el primer tratamiento alcanzó una pluviometría media de 9.90 mm/h, el segundo tratamiento de 9.00 mm/h y el tercero de 10.80 mm/h. Al aumentar la presión a 1.3 bar, los valores también se incrementaron: el primer tratamiento registró 21.43 mm/h, el segundo 18.00 mm/h y el tercer tratamiento alcanzó la mayor pluviometría media con 27.00 mm/h. Estos resultados reflejan la influencia directa de la presión de trabajo sobre la intensidad de aplicación del agua en los distintos tratamientos.

Según INIA (2001) mencionado por Guarachi (2013), señalan que el método de riego por aspersión no es uniforme, por tanto, sabemos considerar un marco (hileras) de riego y considerar un traslape. Por tanto, la intensidad de lluvia del método de aspersión depende, por una parte, del caudal de agua que entrega cada emisor y de la distancia a la cual se coloca del otro, llegando a conocer a este proceso como pluviometría en bloque.

Es importante mencionar, que para hacer que la aplicación de agua en el terreno sea uniforme, es necesario colocar varias tuberías funcionando próximos unos de otros (laterales), para que sus modelos de aplicación del agua se superpongan entre ellos, es por esto que los diferentes marcos de riego (distancias), son establecidos conforme al alcance de riego, generado por las tuberías a una adecuada presión de trabajo, donde en una disposición o marco rectangular entre tuberías y velocidades del viento menores a los 2 m/s. lo cual llega a ser recomendable para una buena uniformidad.

Cabe señalar en el presente estudio solo se realizó la pluviometría o precipitación con un traslape entre 2 tuberías de aspersión a una distancia de 4 m para cada área de evaluación (40 m^2).

4.3. Principales parámetros de evaluación

Definida ya las características hidráulicas de los aspersores individualmente (relación presión-caudal, diámetro de alcance e pluviometría media) a esto es importante complementar con la evaluación de los diferentes parámetros entre ellos la uniformidad, lo cual nos permitirá realizar una adecuada aplicación del agua por parte de las tuberías de aspersión a determinada distancia de riego, es por esto que la evaluación del riego por aspersión nos permite indicar principalmente, el desempeño del riego, basándose principalmente en la eficiencia y uniformidad de riego.,

4.3.1. Coeficiente de uniformidad (CU)

Para la determinación del Coeficiente de Uniformidad (CU), y de otros parámetros técnicos que caracterizan el reparto de agua sobre la superficie del suelo, es necesario conocer la pluviosidad recogida en la red de pluviómetros en el área evaluada de las tuberías de aspersión, para lo cual se realizaron diferentes evaluaciones, con los tres tratamientos planteados, y con fines de obtener resultados más confiables se realizaron diversas repeticiones en su momento de evaluación.

Para una mejor comprensión, a continuación, se describen los resultados de los Coeficientes de Uniformidad de Christiansen, obtenidos en los 3 tratamientos, donde las lecturas en los pluviómetros fueron medidas en cm^3 , cuyos valores para llegar a entenderlos claramente, se los convirtió de volumen a láminas de agua (mm).

4.3.1.1. Evaluación del primer Tratamiento (30° 80°)

Se describen los resultados de la primera evaluación de los Coeficientes de Uniformidad de Christiansen (CU)

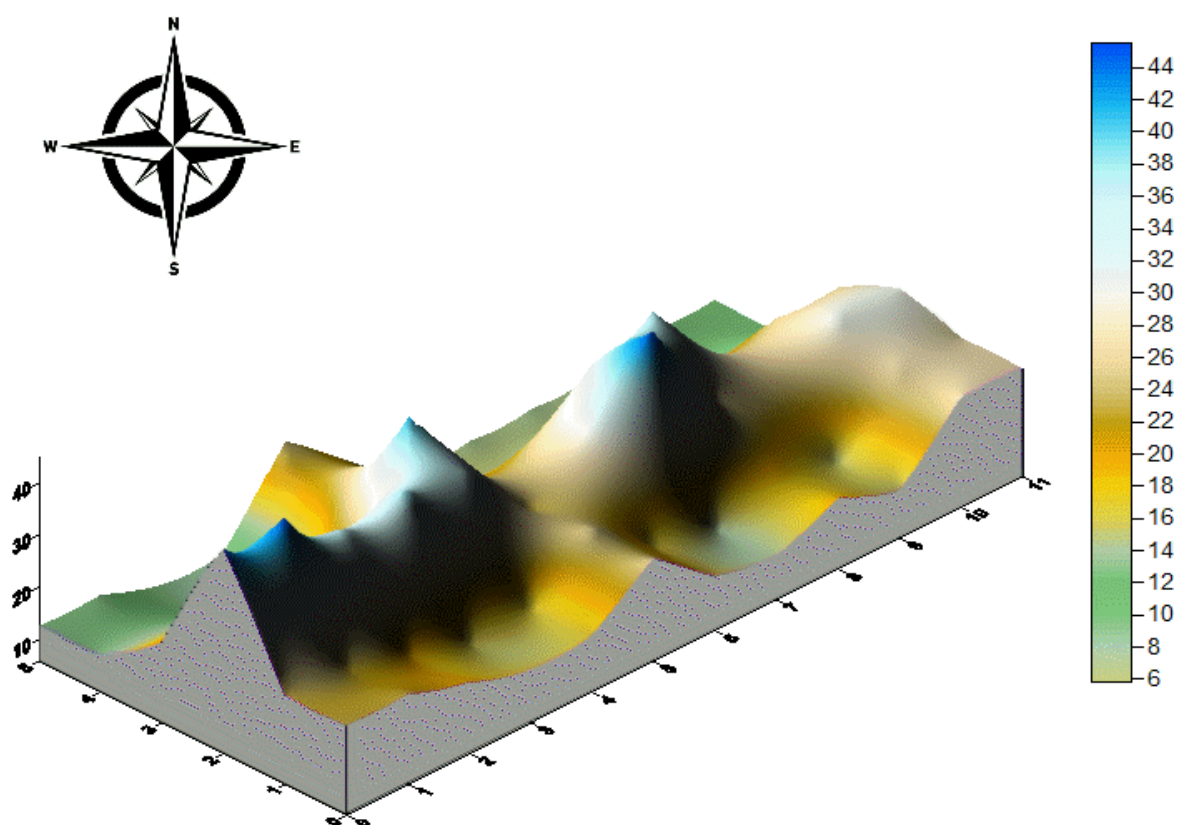


Figura 12. Representación tridimensional de la pluviometría (mm), resultante del solapamiento 2 Tuberías de aspersión Artesanal (30° 80 °), en una distancia de 4 metros de Tubería a Tubería, obteniendo un Coeficiente de uniformidad (CU) de 66%, a una velocidad del viento de 1 m/s.

En la Figura 12, se presentan los resultados de pluviometría del primer tratamiento correspondiente a la primera evaluación. Esta visualización permite analizar la uniformidad de riego obtenida tras una hora de aplicación de agua en el área evaluada. En esta prueba,

se implementaron dos líneas de tuberías de aspersión sobre una parcela de 40 m², alcanzando un Coeficiente de Uniformidad (CU%) de 66%.

Este valor indica que el 66% del área regada recibió una lámina de agua adecuada para los requerimientos del cultivo, mientras que el 34% restante presentó variaciones, recibiendo volúmenes de agua en exceso o déficit. Estas desigualdades se atribuyen principalmente al arrastre del agua por efecto del viento y a pérdidas por evaporación provocadas por la radiación solar.

Durante la evaluación, se registró una velocidad del viento de 1 m/s, con dirección norte (N). Se reconoce que una mayor velocidad del viento reduce la uniformidad, mientras que condiciones de menor viento favorecen una distribución más homogénea.

En cuanto a las condiciones hidráulicas, la evaluación se llevó a cabo con una presión de trabajo de 1 bar y un tiempo de riego de 1 hora. El mapa generado por el simulador refleja la altura de agua aplicada (en mm) mediante una escala cromática: los colores azules representan las zonas con mayor lámina de riego (32 a 44 mm), mientras que los verdes corresponden a las zonas con menor aplicación (hasta 6 mm).

Para el análisis de los resultados, se empleó un programa que nos permite interpolar los datos obtenidos en los pluviómetros y presentarlos como curvas de nivel, donde se puede visualizar la espacialidad de los datos, de esta manera nos permite observar claramente las zonas con mayor y menor lámina de agua aplicada, durante el tiempo de riego en el área de evaluación.

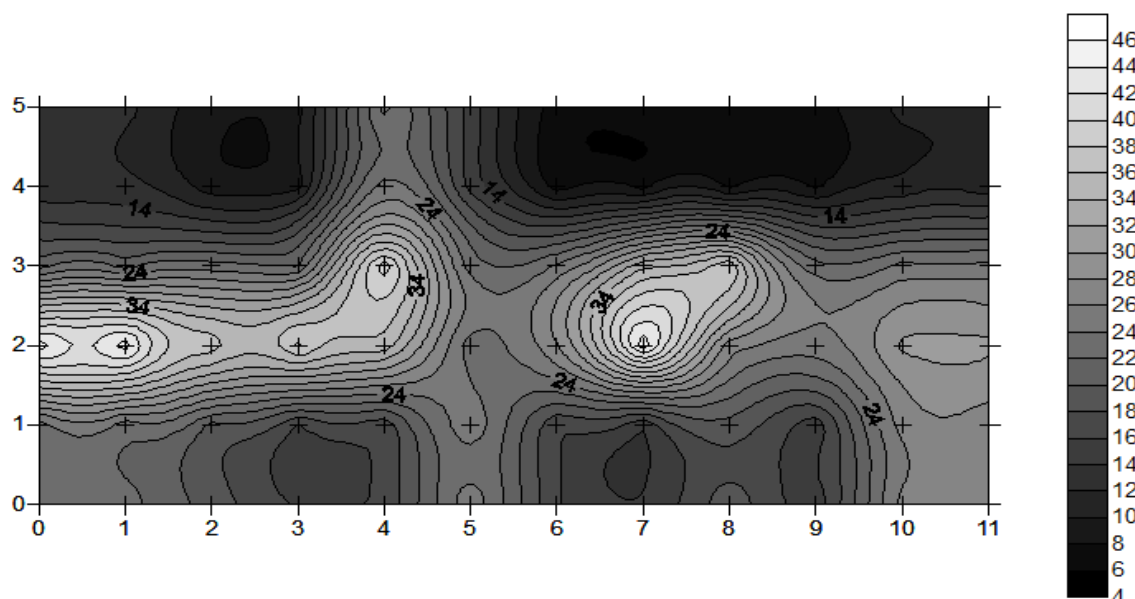


Figura 13. Visualización del área evaluada, señalando las zonas con mayor y menor altura de agua aplicada (mm), obteniendo un CU de 66%, a una velocidad del viento de 1 m/s en un tiempo de aplicación de 1 hora

En la Figura 13, se muestra una representación espacial del área evaluada, acompañada de una escala de color en tonos negros. En esta visualización, las zonas de color más claro indican los puntos donde se registró una mayor lámina de agua aplicada (mm), concentrándose principalmente en la zona central de la parcela, entre las dos tuberías de aspersión, debido al solapamiento del patrón de riego. En contraste, las áreas más oscuras representan sectores con menor cantidad de agua aplicada, localizados en su mayoría en los extremos este (E) y sur (S) de la parcela experimental.

Durante esta evaluación, las láminas de agua aplicadas oscilaron entre 4 y 46 mm, alcanzando un Coeficiente de Uniformidad (CU) del 66%.

De acuerdo con el Servicio de Asesoramiento Regante (2010), este valor se considera inaceptable, ya que la uniformidad aceptable para riego por aspersión se encuentra en el rango de 70% a 80%.

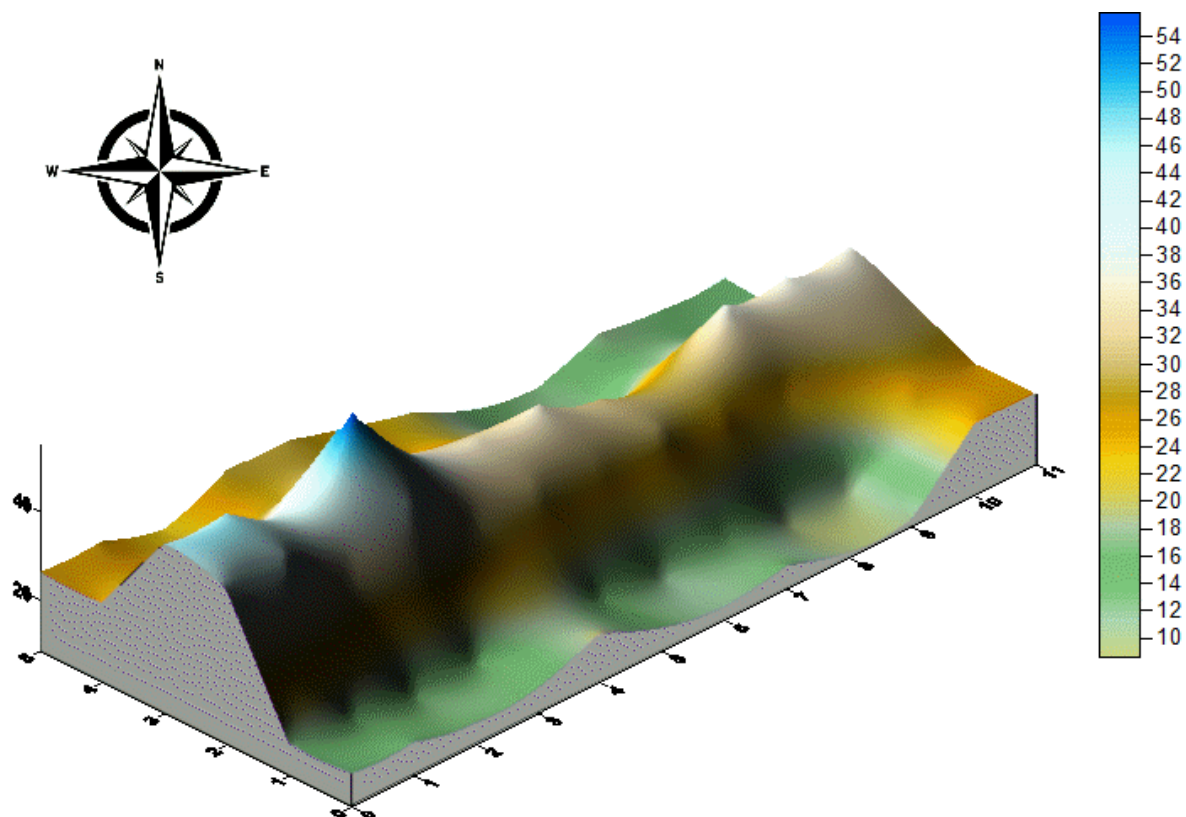


Figura 14. Representación tridimensional de la pluviometría (mm), resultante del solapamiento 2 Tuberías de aspersión Artesanal (30° 80°), en una distancia de 4 metros de Tubería a Tubería, obteniendo un Coeficiente de uniformidad (CU) de 61%, a una velocidad del viento de 0.7 m/s.

En la Figura 14, se presentan los resultados de pluviometría del primer tratamiento correspondiente a la segunda evaluación. Esta visualización permite analizar la uniformidad de riego obtenida tras una hora de aplicación de agua en el área evaluada. En esta prueba, se implementaron dos líneas de tuberías de aspersión sobre una parcela de 40 m², alcanzando un Coeficiente de Uniformidad (CU%) de 61%.

Este valor indica que el 61% del área regada recibió una lámina de agua adecuada para los requerimientos del cultivo, mientras que el 39% restante presentó variaciones, recibiendo volúmenes de agua en exceso o déficit. Estas desigualdades se atribuyen principalmente al arrastre del agua por efecto del viento y a pérdidas por evaporación provocadas por la radiación solar.

Durante la evaluación, se registró una velocidad del viento de 0.7 m/s, con dirección sur a suroeste (SSW). Se reconoce que una mayor velocidad del viento reduce la uniformidad, mientras que condiciones de menor viento favorecen una distribución más homogénea.

En cuanto a las condiciones hidráulicas, la evaluación se llevó a cabo con una presión de trabajo de 1 bar y un tiempo de riego de 1 hora. El mapa generado por el simulador refleja la altura de agua aplicada (en mm) mediante una escala cromática: los colores azules representan las zonas con mayor lámina de riego (38 a 54 mm), mientras que los verdes corresponden a las zonas con menor aplicación (hasta 10 mm).

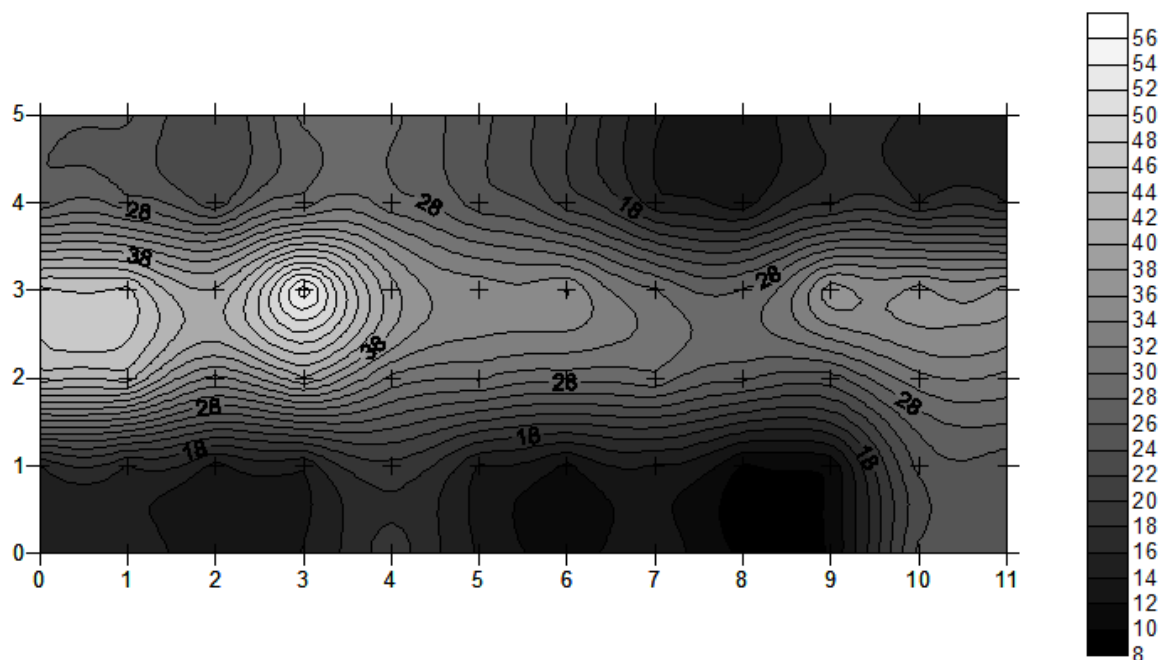


Figura 15. Visualización del área evaluada, señalando las zonas con mayor y menor altura de agua aplicada (mm), obteniendo un CU de 61%, a una velocidad del viento de 0.7 m/s.

En la Figura 15, se muestra una representación espacial del área evaluada, acompañada de una escala de color en tonos verdes. En esta visualización, las zonas de color más claro indican los puntos donde se registró una mayor lámina de agua aplicada (mm), concentrándose principalmente en la zona central de la parcela, entre las dos tuberías de aspersión, debido al solapamiento del patrón de riego. En contraste, las áreas más oscuras representan sectores con menor cantidad de agua aplicada, localizados en su mayoría en los extremos norte (N) a oeste (W) de la parcela experimental.

Durante esta evaluación, las láminas de agua aplicadas oscilaron entre 8 y 56 mm, alcanzando un Coeficiente de Uniformidad (CU) del 61%. De acuerdo con el Servicio de Asesoramiento Regante (2010), este valor se considera inaceptable, ya que la uniformidad aceptable para riego por aspersión se encuentra en el rango de 70% a 80%.

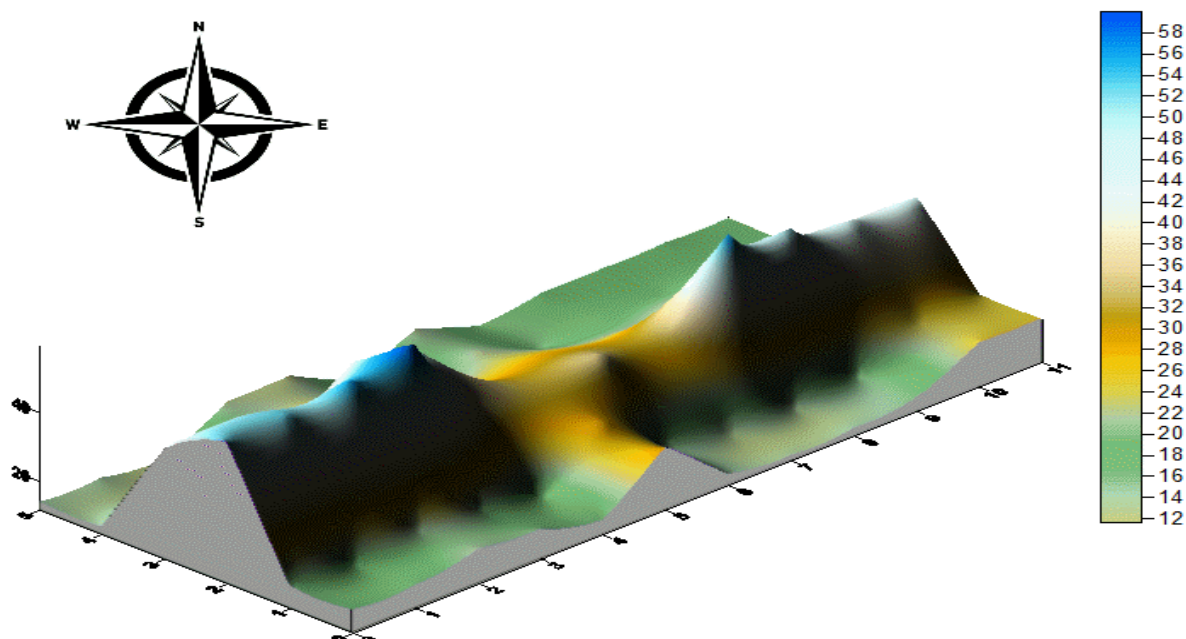


Figura 16. Representación tridimensional de la pluviometría (mm), resultante del solapamiento 2 Tuberías de aspersión Artesanal (30° 80°), en una distancia de 4 metros de Tuberías a Tuberías, obteniendo un Coeficiente de uniformidad (CU) de 59%, a una velocidad del viento de 1.8 m/s.

En la Figura 16, se presentan los resultados de pluviometría del primer tratamiento correspondiente a la tercera evaluación. Esta visualización permite analizar la uniformidad de riego obtenida tras una hora de aplicación de agua en el área evaluada. En esta prueba, se implementaron dos líneas de tuberías de aspersión sobre una parcela de 40 m², alcanzando un Coeficiente de Uniformidad (CU%) de 59%.

Este valor indica que el 59% del área regada recibió una lámina de agua adecuada para los requerimientos del cultivo, mientras que el 41% restante presentó variaciones, recibiendo volúmenes de agua en exceso o déficit. Estas desigualdades se atribuyen principalmente al arrastre del agua por efecto del viento y a pérdidas por evaporación provocadas por la radiación solar.

Durante la evaluación, se registró una velocidad del viento de 1.8 m/s, con dirección suroeste (WSW), lo cual afectó notablemente la distribución del riego. Se reconoce que una

mayor velocidad del viento reduce la uniformidad, mientras que condiciones de menor viento favorecen una distribución más homogénea.

En cuanto a las condiciones hidráulicas, la evaluación se llevó a cabo con una presión de trabajo de 1 bar y un tiempo de riego de 1 hora. El mapa generado por el simulador refleja la altura de agua aplicada (en mm) mediante una escala cromática: los colores azules representan las zonas con mayor lámina de riego (40 a 58 mm), mientras que los verdes corresponden a las zonas con menor aplicación (hasta 12 mm).

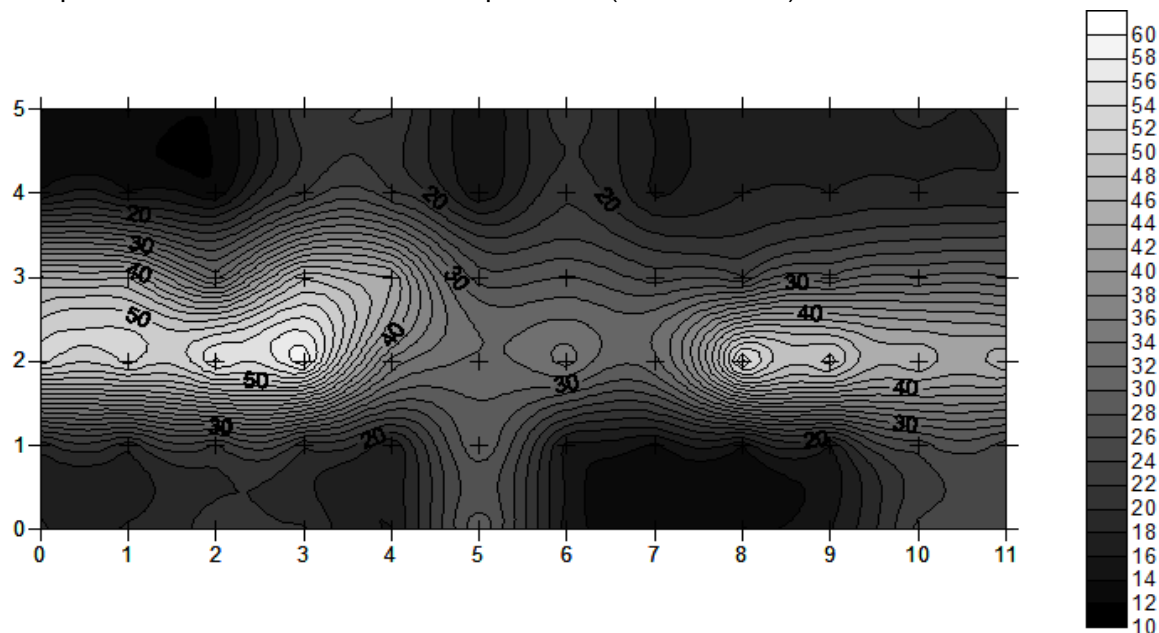


Figura 17. Visualización del área evaluada, señalando las zonas con mayor y menor altura de agua aplicada (mm), obteniendo un CU de 59%, a una velocidad del viento de 1.8 m/s.

En la Figura 17, se muestra una representación espacial del área evaluada, acompañada de una escala de color en tonos verdes. En esta visualización, las zonas de color más claro indican los puntos donde se registró una mayor lámina de agua aplicada (mm), concentrándose principalmente en la zona central de la parcela, entre las dos tuberías de aspersión, debido al solapamiento del patrón de riego. En contraste, las áreas más oscuras representan sectores con menor cantidad de agua aplicada, localizados en su mayoría en los extremos de la parcela experimental.

Durante esta evaluación, las láminas de agua aplicadas oscilaron entre 10 y 60 mm, alcanzando un Coeficiente de Uniformidad (CU) del 59%. De acuerdo con el Servicio de Asesoramiento Regante (2010), este valor se considera inaceptable, ya que la uniformidad aceptable para riego por aspersión se encuentra en el rango de 70% a 80%.

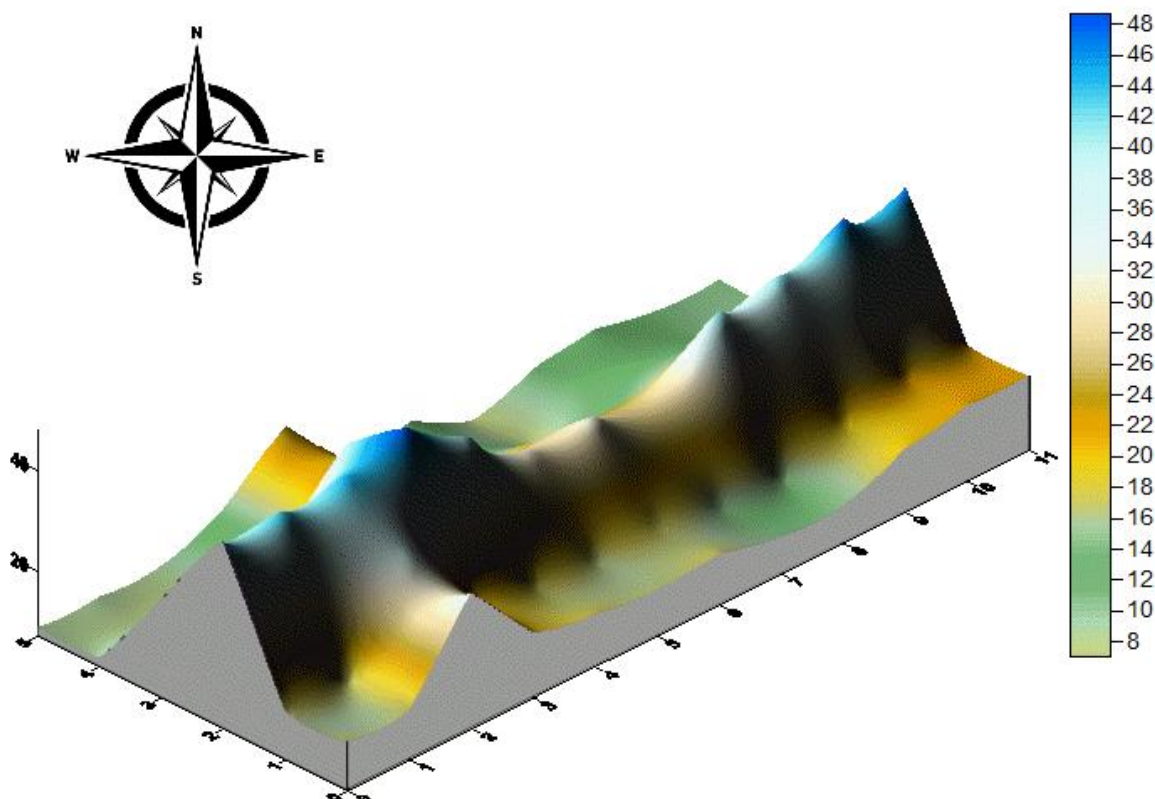


Figura 18. Representación tridimensional de la pluviometría (mm), resultante del solapamiento 2 Tuberías de aspersión Artesanal (30° 80°), en una distancia de 4 metros de Tuberías a Tuberías, obteniendo un Coeficiente de uniformidad (CU) de 56%, a una velocidad del viento de 1.5 m/s.

En la Figura 18, se presentan los resultados de pluviometría del primer tratamiento correspondiente a la cuarta evaluación. Esta visualización permite analizar la uniformidad de riego obtenida tras una hora de aplicación de agua en el área evaluada. En esta prueba, se implementaron dos líneas de tuberías de aspersión sobre una parcela de 40 m², alcanzando un Coeficiente de Uniformidad (CU%) de 56%.

Este valor indica que el 56% del área regada recibió una lámina de agua adecuada para los requerimientos del cultivo, mientras que el 44% restante presentó variaciones, recibiendo volúmenes de agua en exceso o déficit. Estas desigualdades se atribuyen principalmente

al arrastre del agua por efecto del viento y a pérdidas por evaporación provocadas por la radiación solar.

Durante la evaluación, se registró una velocidad del viento de 1.5 m/s, con dirección sur a suroeste (SSW), lo cual afectó notablemente la distribución del riego. Se reconoce que una mayor velocidad del viento reduce la uniformidad, mientras que condiciones de menor viento favorecen una distribución más homogénea.

En cuanto a las condiciones hidráulicas, la evaluación se llevó a cabo con una presión de trabajo de 1 bar y un tiempo de riego de 1 hora. El mapa generado por el simulador refleja la altura de agua aplicada (en mm) mediante una escala cromática: los colores azules representan las zonas con mayor lámina de riego (32 a 48 mm), mientras que los verdes corresponden a las zonas con menor aplicación (hasta 8 mm).

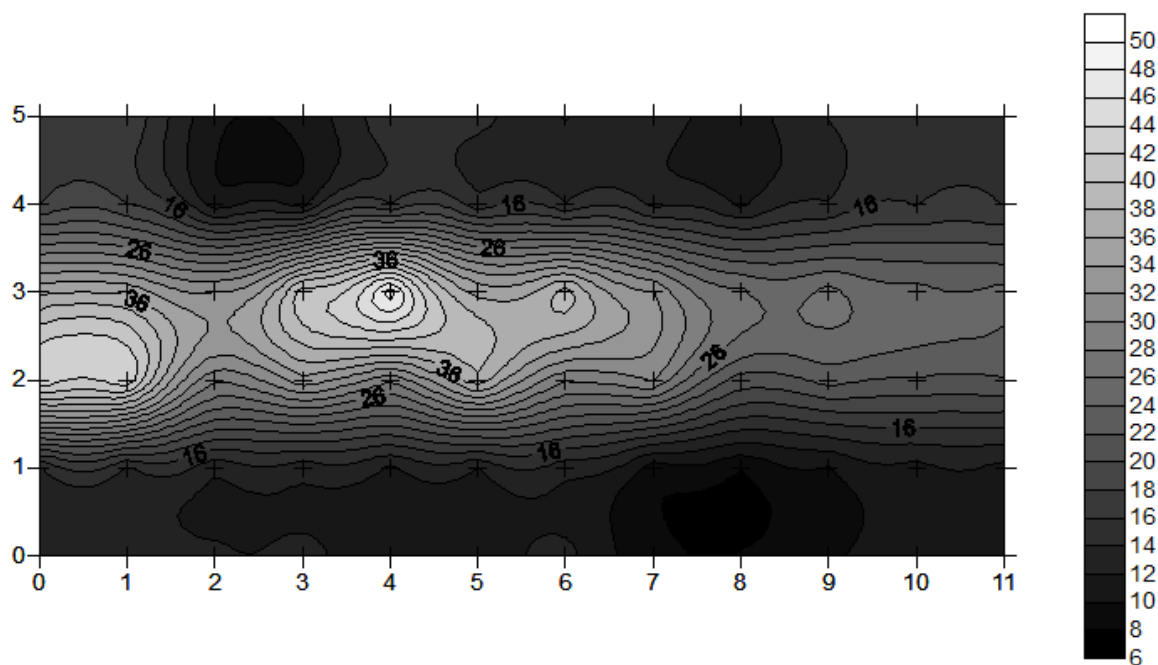


Figura 19. Visualización del área evaluada, señalando las zonas con mayor y menor altura de agua aplicada (mm), obteniendo un CU de 56%, a una velocidad del viento de 1.5 m/s.

En la Figura 19, se muestra una representación espacial del área evaluada, acompañada de una escala de color en tonos verdes. En esta visualización, las zonas de color más claro indican los puntos donde se registró una mayor lámina de agua aplicada (mm), concentrándose principalmente en la zona central de la parcela, entre las dos tuberías de aspersión, debido al solapamiento del patrón de riego. En contraste, las áreas más oscuras

representan sectores con menor cantidad de agua aplicada, localizados en su mayoría en los extremos de la parcela experimental.

Durante esta evaluación, las láminas de agua aplicadas oscilaron entre 6 y 50 mm, alcanzando un Coeficiente de Uniformidad (CU) del 56%. De acuerdo con el Servicio de Asesoramiento Regante (2010), este valor se considera inaceptable, ya que la uniformidad aceptable para riego por aspersión se encuentra en el rango de 70% a 80%.

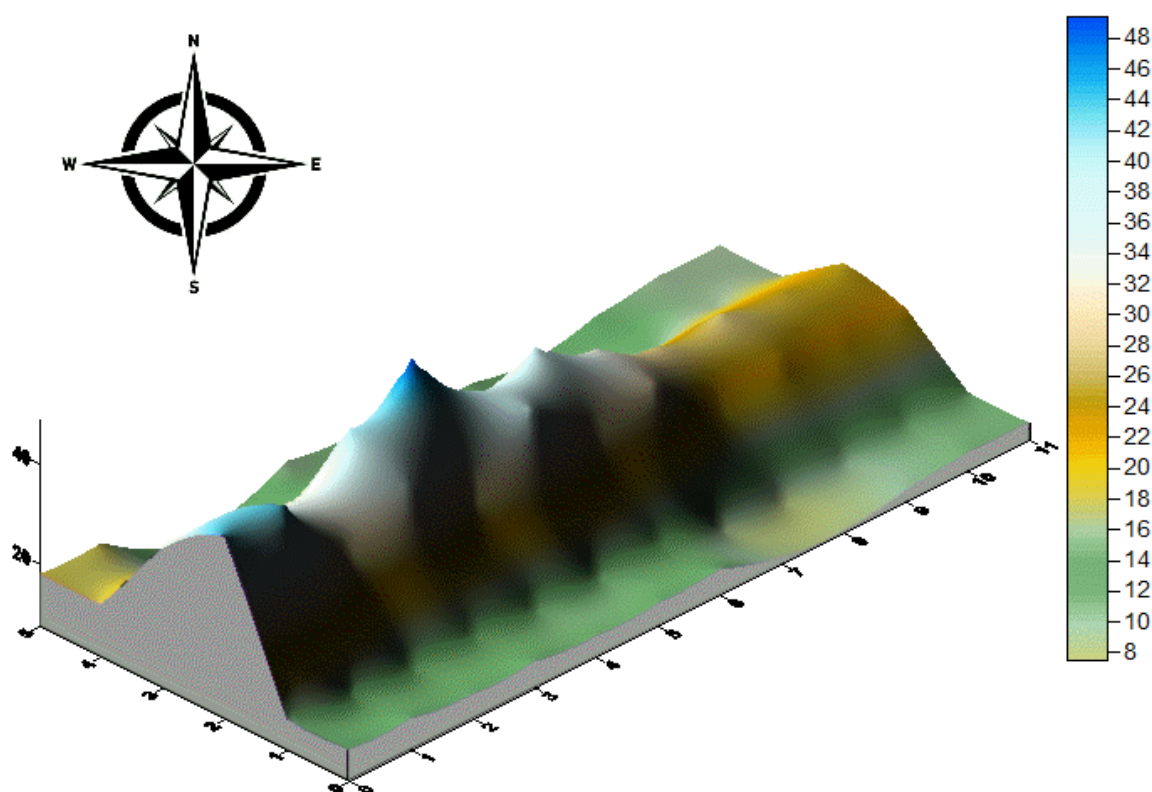


Figura 20. Representación tridimensional de la pluviometría (mm), resultante del solapamiento 2 Tuberías de aspersión Artesanal (30° 80 °), en una distancia de 4 metros de Tuberías a Tuberías, obteniendo un Coeficiente de uniformidad (CU) de 64%, a una velocidad del viento de 0.4 m/s.

En la Figura 20, se presentan los resultados de pluviometría del primer tratamiento correspondiente a la quinta evaluación. Esta visualización permite analizar la uniformidad de riego obtenida tras una hora de aplicación de agua en el área evaluada. En esta prueba, se implementaron dos líneas de tuberías de aspersión sobre una parcela de 40 m², alcanzando un Coeficiente de Uniformidad (CU%) de 64%.

Este valor indica que el 64% del área regada recibió una lámina de agua adecuada para los requerimientos del cultivo, mientras que el 36% restante presentó variaciones, recibiendo volúmenes de agua en exceso o déficit. Estas desigualdades se atribuyen principalmente al arrastre del agua por efecto del viento y a pérdidas por evaporación provocadas por la radiación solar.

Durante la evaluación, se registró una velocidad del viento de 0.4 m/s, con dirección este a noreste (ENE), lo cual afectó notablemente la distribución del riego. Se reconoce que una mayor velocidad del viento reduce la uniformidad, mientras que condiciones de menor viento favorecen una distribución más homogénea.

En cuanto a las condiciones hidráulicas, la evaluación se llevó a cabo con una presión de trabajo de 1 bar y un tiempo de riego de 1 hora. El mapa generado por el simulador refleja la altura de agua aplicada (en mm) mediante una escala cromática: los colores azules representan las zonas con mayor lámina de riego (32 a 48 mm), mientras que los verdes corresponden a las zonas con menor aplicación (hasta 8 mm).

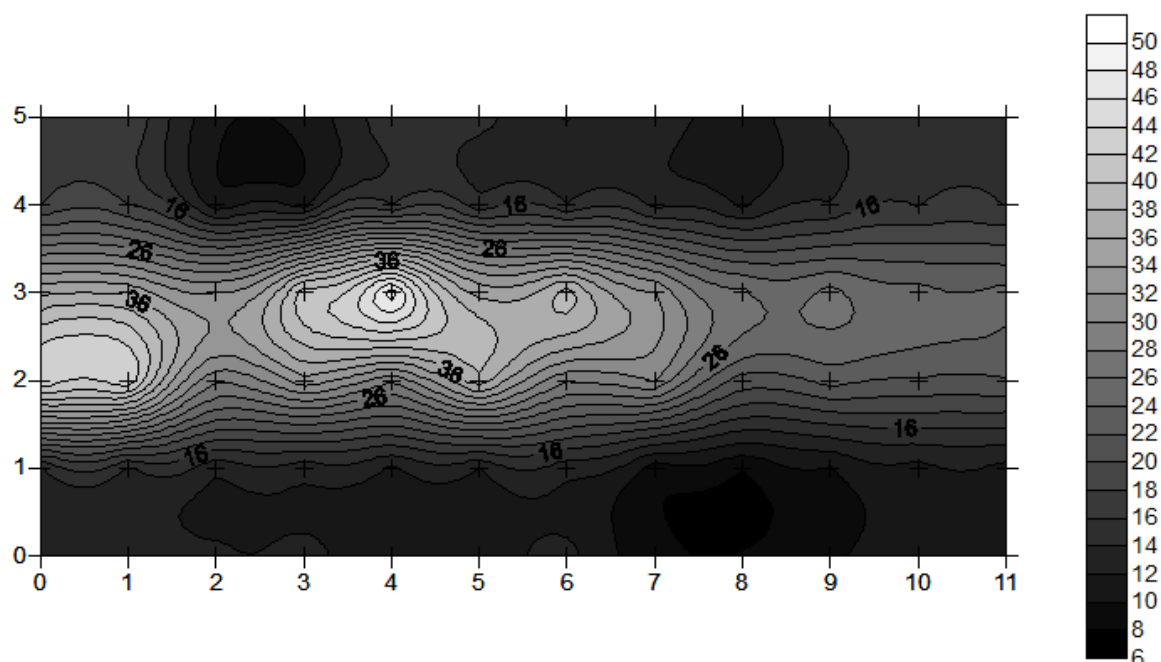


Figura 21. Visualización del área evaluada, señalando las zonas con mayor y menor altura de agua aplicada (mm), obteniendo un CU de 64%, a una velocidad del viento de 0.4 m/s.

En la Figura 21, se muestra una representación espacial del área evaluada, acompañada de una escala de color en tonos negros. En esta visualización, las zonas de color más claro

indican los puntos donde se registró una mayor lámina de agua aplicada (mm), concentrándose principalmente en la zona central de la parcela, entre las dos tuberías de aspersión, debido al solapamiento del patrón de riego. En contraste, las áreas más oscuras representan sectores con menor cantidad de agua aplicada, localizados en su mayoría en los extremos este (E), sur (S) y norte (N), oeste (W) de la parcela experimental.

Durante esta evaluación, las láminas de agua aplicadas oscilaron entre 6 y 50 mm, alcanzando un Coeficiente de Uniformidad (CU) del 64%. De acuerdo con el Servicio de Asesoramiento Regante (2010), este valor se considera inaceptable, ya que la uniformidad aceptable para riego por aspersión se encuentra en el rango de 70% a 80%.

4.3.1.2. Evaluación del segundo Tratamiento (45° 80°)

Se describen los resultados de la primera evaluación de los Coeficientes de Uniformidad de Christiansen (CU)

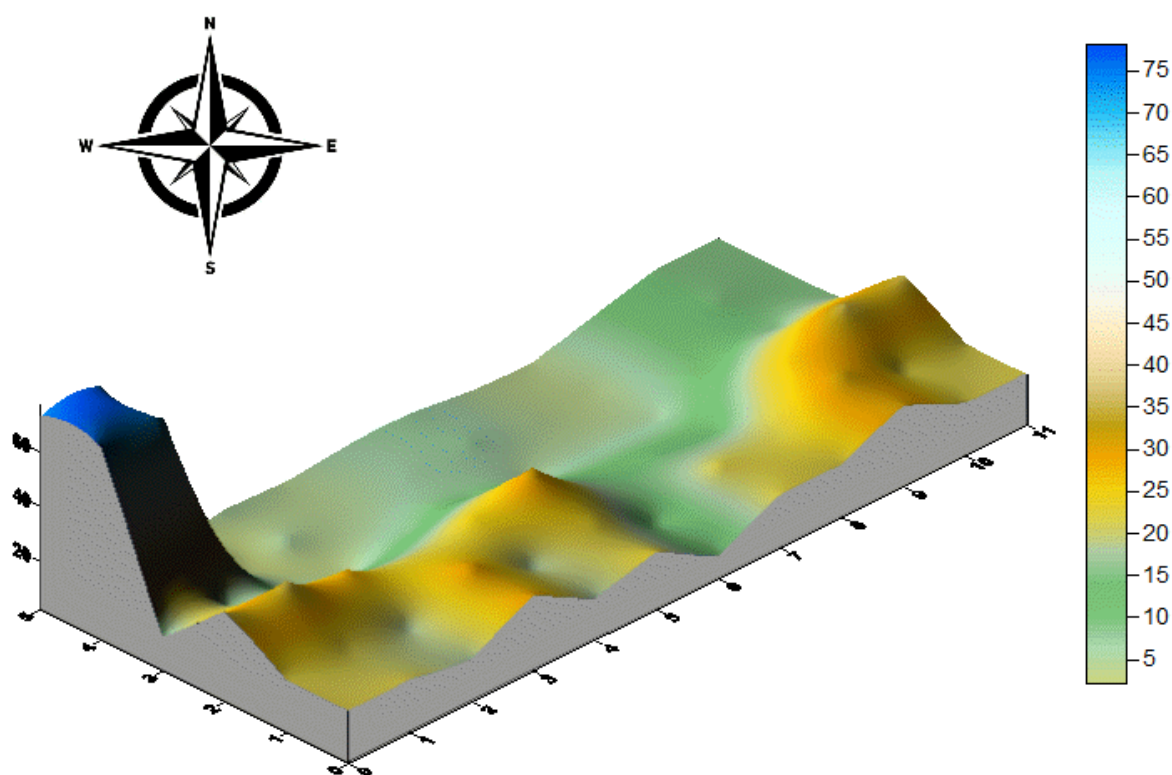


Figura 22. Representación tridimensional de la pluviometría (mm), resultante del solapamiento 2 Tuberías de aspersión Artesanal (45° 80 °), en una distancia de 4 metros de Tuberías a Tuberías, obteniendo un Coeficiente de uniformidad (CU) de 43%, a una velocidad del viento de 2 m/s.

La Figura 22 presenta los datos correspondientes a la primera evaluación del segundo tratamiento. Esta herramienta permitió observar cómo se distribuyó el agua luego de una hora de riego sobre una parcela de 40 m², utilizando dos líneas de aspersores artesanales.

El valor obtenido del Coeficiente de Uniformidad (CU) fue de 43%, lo cual sugiere que solo una parte reducida del terreno recibió una lámina de agua adecuada, mientras que en el resto se evidenciaron diferencias significativas en la cantidad aplicada, con zonas sometidas a exceso o déficit hídrico.

Tales desigualdades en la distribución pueden explicarse por la influencia del viento, que durante esta prueba alcanzó los 2 m/s con dirección suroeste (SW), además de las pérdidas por evaporación generadas por la radiación solar. Este tipo de condiciones tienden a provocar arrastre y dispersión del agua en trayectorias no deseadas.

El sistema operó con una presión de 1 bar y un tiempo de aplicación de una hora. La escala cromática del gráfico indica que las zonas con mayor acumulación de agua (50 a 75 mm) aparecen en tonos azules, mientras que las regiones con menor aplicación (hasta 5 mm) se muestran en colores verdes

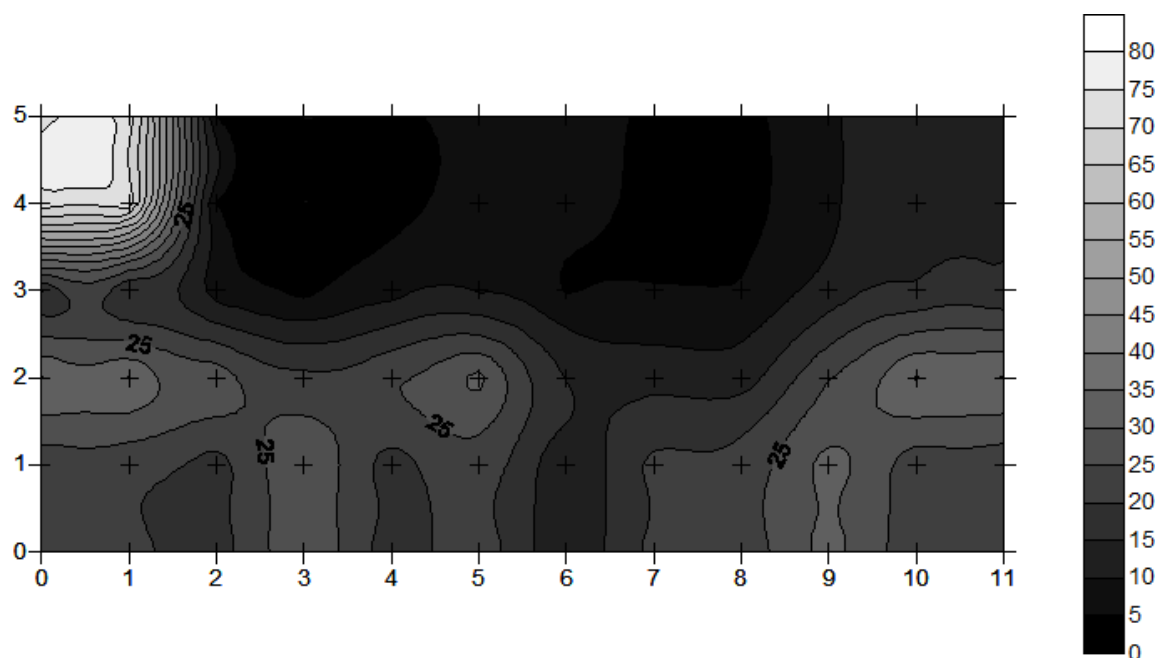


Figura 23. Visualización del área evaluada, señalando las zonas con mayor y menor altura de agua aplicada (mm), obteniendo un CU de 43%, a una velocidad del viento de 2 m/s.

En la Figura 23 se puede observar una representación en planta del área de estudio con codificación en escala de grises. Las tonalidades más claras señalan los sectores donde se registraron mayores volúmenes de riego, localizados principalmente en la franja central, coincidiendo con el solapamiento de las dos líneas de tuberías.

Por otro lado, las áreas más oscuras, ubicadas en los extremos este (E) y sur (S) de la parcela, reflejan una baja cobertura hídrica. Durante esta evaluación, las láminas de agua oscilaron entre 0 y 80 mm.

Según los criterios establecidos por el Servicio de Asesoramiento Regante (2010), el valor de uniformidad obtenido se considera inaceptable, ya que los estándares técnicos para sistemas de riego por aspersión recomiendan un CU mínimo del 70%.

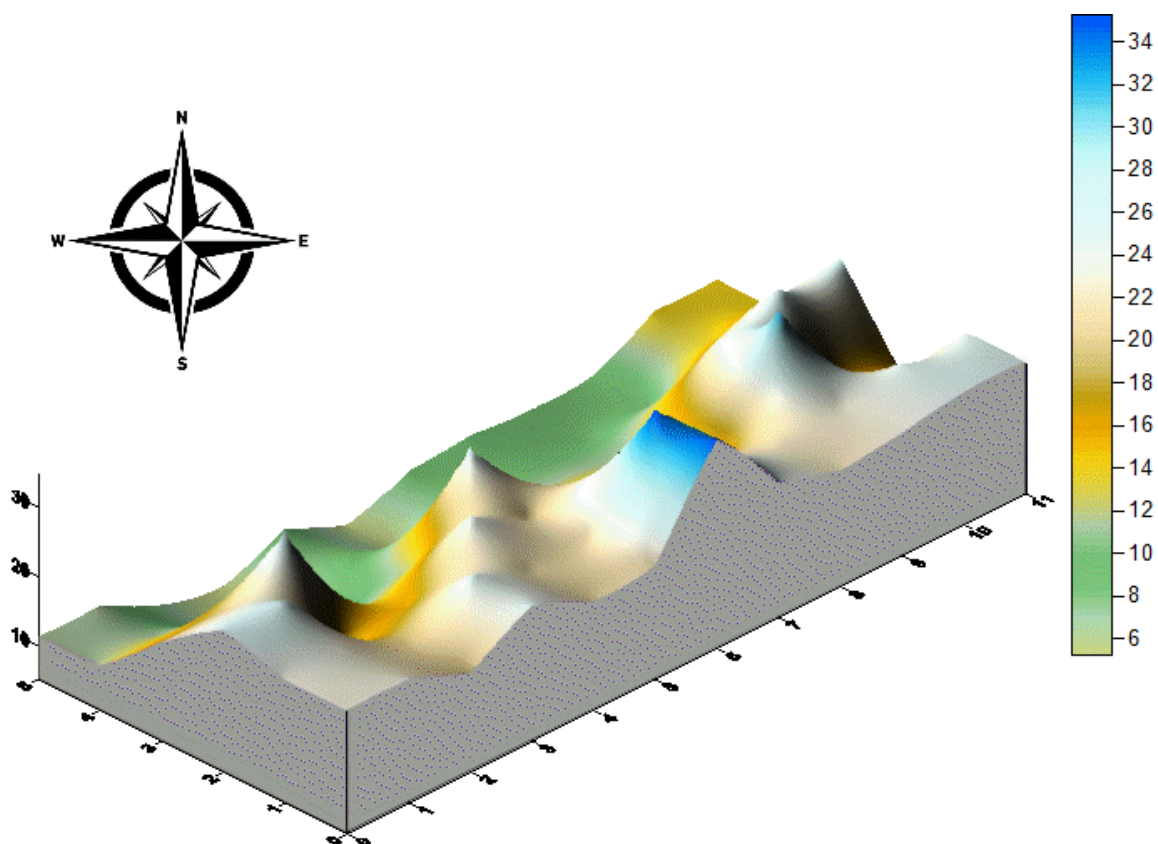


Figura 24. Representación tridimensional de la pluviometría (mm), resultante del solapamiento 2 Tuberías de aspersión Artesanal (45° 80°), en una distancia de 4 metros de Tuberías a Tuberías, obteniendo un Coeficiente de uniformidad (CU) de 64%, a una velocidad del viento de 0.8 m/s.

La Figura 24 muestra la superficie regada durante la segunda prueba del tratamiento con aspersores artesanales a 45°80°. En esta ocasión, se obtuvo un CU de 64%, indicando una mejora en la distribución del agua respecto a la evaluación anterior.

Las condiciones climáticas fueron más favorables, con una velocidad de viento de apenas 0.6 m/s, lo cual redujo significativamente el desvío y arrastre del agua en el aire. Esta disminución de turbulencia permitió un patrón de cobertura más estable, aunque todavía con áreas de menor eficiencia.

El gráfico tridimensional revela que las zonas con mayor acumulación de agua se concentraron nuevamente en la parte central, donde ocurre el solapamiento de los emisores. Las regiones periféricas mostraron menores niveles de riego, aunque en menor proporción que en la evaluación anterior.

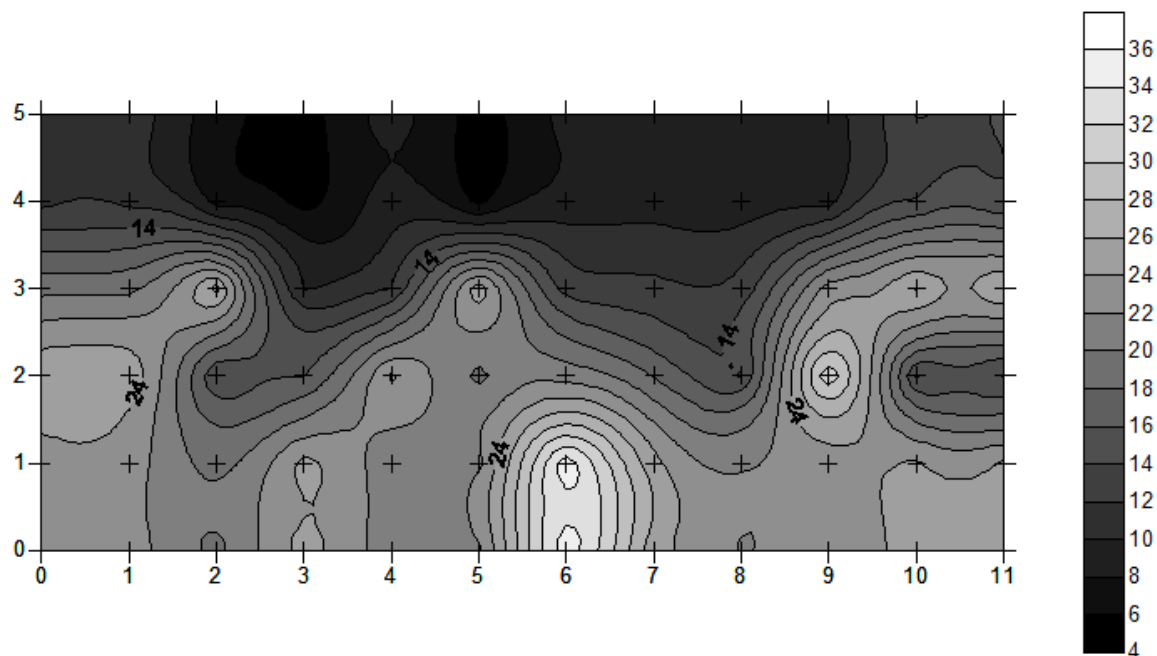


Figura 25. Visualización del área evaluada, señalando las zonas con mayor y menor altura de agua aplicada (mm), obteniendo un CU de 64%, a una velocidad del viento de 0.8 m/s.

En la Figura 25 se aprecia la distribución espacial del riego, donde las tonalidades claras indican mayor aplicación de agua. Se observa que la cobertura fue más uniforme en comparación con la primera evaluación, con menos áreas en los extremos del terreno con deficiencia de riego. Aun así, persisten ciertos sectores en la periferia con baja eficiencia, lo que limita alcanzar una uniformidad superior al 70%.

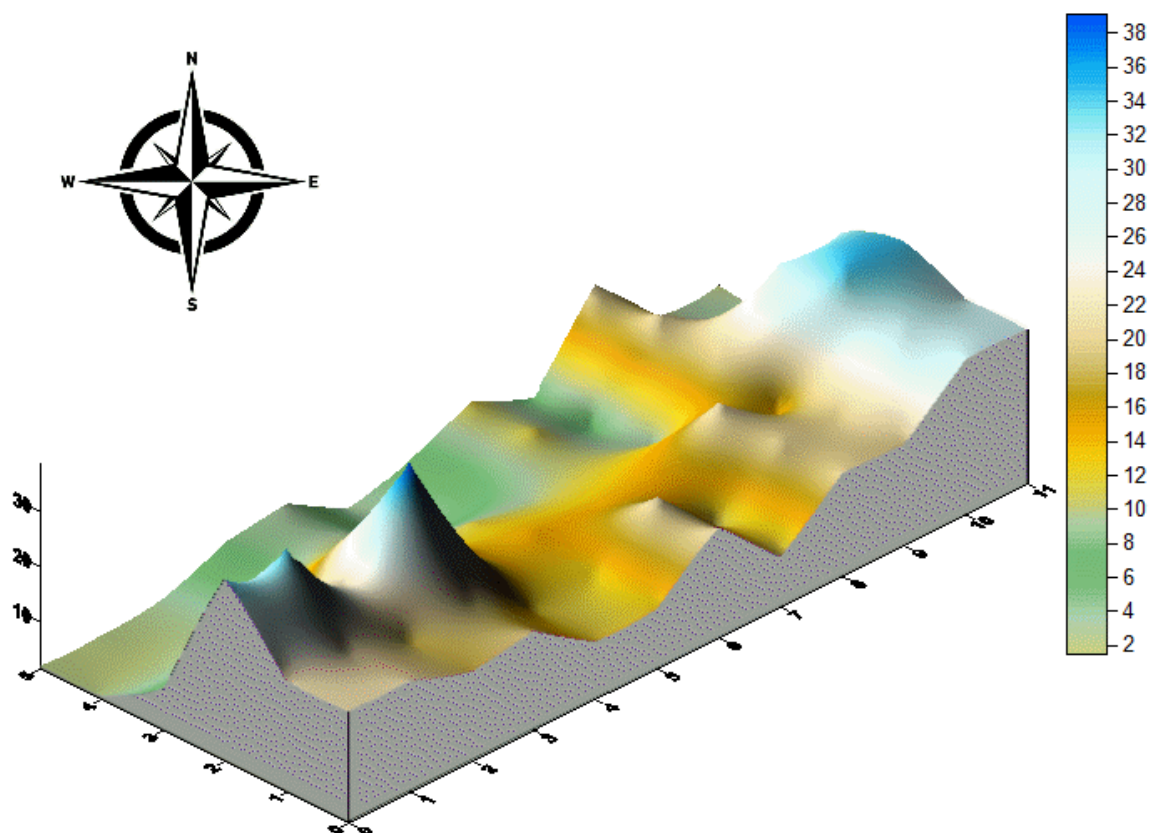


Figura 26. Representación tridimensional de la pluviometría (mm), resultante del solapamiento 2 Tuberías de aspersión Artesanal (45° 80°), en una distancia de 4 metros de Tubería a Tubería, obteniendo un Coeficiente de uniformidad (CU) de 56%, a una velocidad del viento de 1.9 m/s.

En la tercera evaluación, se registró un CU de 56%, evidenciando una ligera disminución respecto a la segunda prueba. Como muestra la Figura 26, se mantuvo el mismo esquema de solapamiento con separación de 4 metros entre tuberías, bajo condiciones de presión de 1 bar y una duración de una hora.

La velocidad del viento en esta ocasión fue de 0.8 m/s, con dirección sur-suroeste (SSO), lo que provocó cierta dispersión del chorro y afectó negativamente la cobertura uniforme del agua sobre el terreno.

Las zonas de alta acumulación se localizan nuevamente en el centro del área, mientras que los bordes mostraron reducida lámina de agua, como consecuencia directa del limitado alcance de los emisores y el arrastre provocado por el viento.

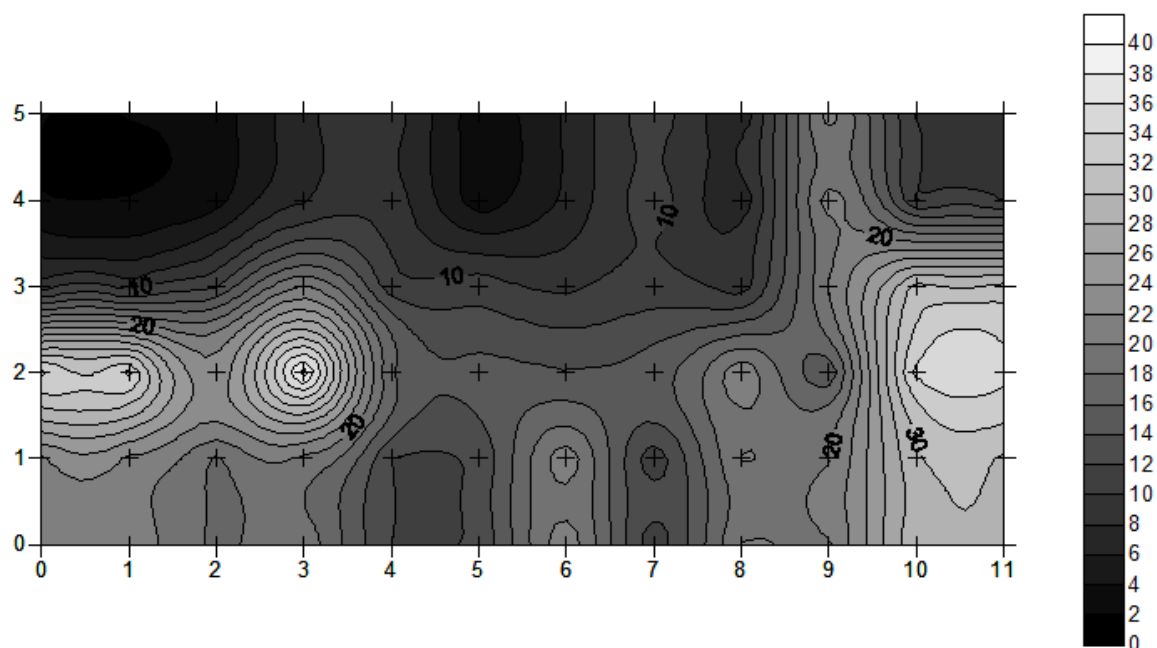


Figura 27. Visualización del área evaluada, señalando las zonas con mayor y menor altura de agua aplicada (mm), obteniendo un CU de 56 %, a una velocidad del viento de 1.9 m/s en un tiempo de aplicación de 1 hora

La Figura 27 permite visualizar claramente cómo las zonas con menor aporte hídrico se concentran en los extremos norte y este del terreno, mientras que la franja central conserva valores más elevados. La escala de grises refuerza esta interpretación, mostrando un patrón de cobertura menos eficiente respecto a la evaluación anterior.

El nivel de uniformidad alcanzado sigue siendo insuficiente para cumplir con los estándares técnicos recomendados.

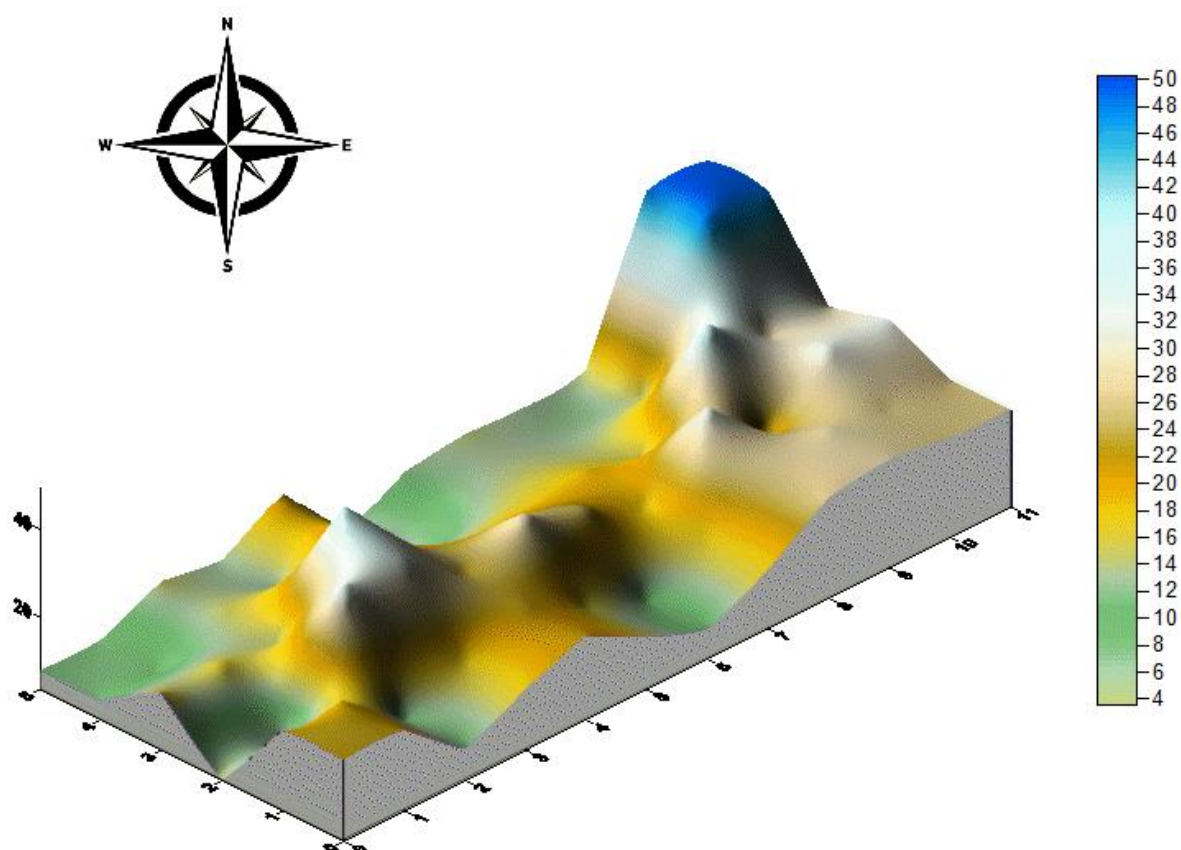


Figura 28. Representación tridimensional de la pluviometría (mm), resultante del solapamiento 2 Tuberías de aspersión Artesanal (45° 80°), en una distancia de 4 metros de Tubería a Tubería, obteniendo un Coeficiente de uniformidad (CU) de 62%, a una velocidad del viento de 0.5 m/s.

En la cuarta prueba del segundo tratamiento, se obtuvo un CU de 62%, lo que representa una mejora leve en comparación con la tercera evaluación. La Figura 28 muestra la distribución tridimensional de la lámina de agua sobre la superficie experimental, con una dirección de viento suroeste (SW) y velocidad de 0.9 m/s.

A pesar del aumento del viento respecto a la segunda evaluación, el sistema mostró una mejor capacidad de cubrir el terreno de manera más uniforme, posiblemente debido a una distribución más equilibrada del solapamiento o ajustes menores en los emisores.

La escala del gráfico identifica claramente los puntos de mayor y menor acumulación, manteniéndose el patrón característico de mayor riego en la franja media del terreno.

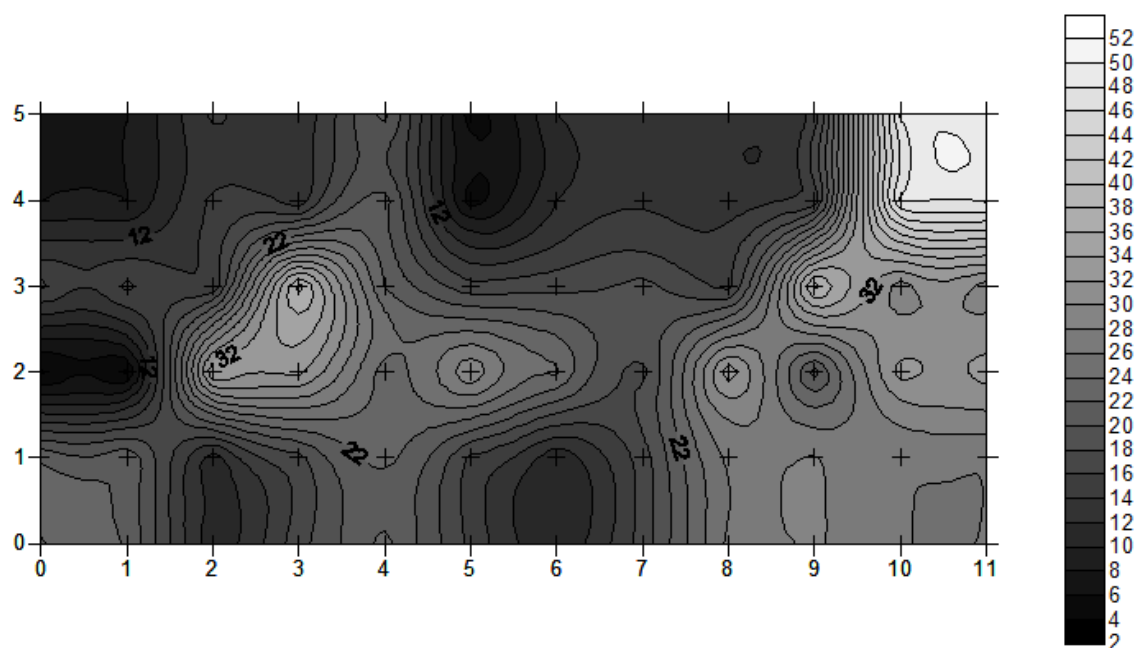


Figura 29. Visualización del área evaluada, señalando las zonas con mayor y menor altura de agua aplicada (mm), obteniendo un CU de 62 %, a una velocidad del viento de 0.5 m/s.

En la Figura 29, se muestra una representación espacial del área evaluada, acompañada de una escala de color en tonos negros. En esta visualización, las zonas de color más claro indican los puntos donde se registró una mayor lámina de agua aplicada (mm), concentrándose principalmente en la zona central de la parcela, entre las dos tuberías de aspersión, debido al solapamiento del patrón de riego. En contraste, las áreas más oscuras representan sectores con menor cantidad de agua aplicada, localizados en su mayoría en los extremos este (E) y norte (N) de la parcela experimental.

Durante esta evaluación, las láminas de agua aplicadas oscilaron entre 2 y 52 mm, alcanzando un Coeficiente de Uniformidad (CU) del 62%. De acuerdo con el Servicio de Asesoramiento Regante (2010), este valor se considera inaceptable, ya que la uniformidad aceptable para riego por aspersión se encuentra en el rango de 70% a 80%.

El valor de CU sigue estando por debajo del umbral recomendado para riego eficiente, aunque es uno de los mejores obtenidos en este tratamiento.

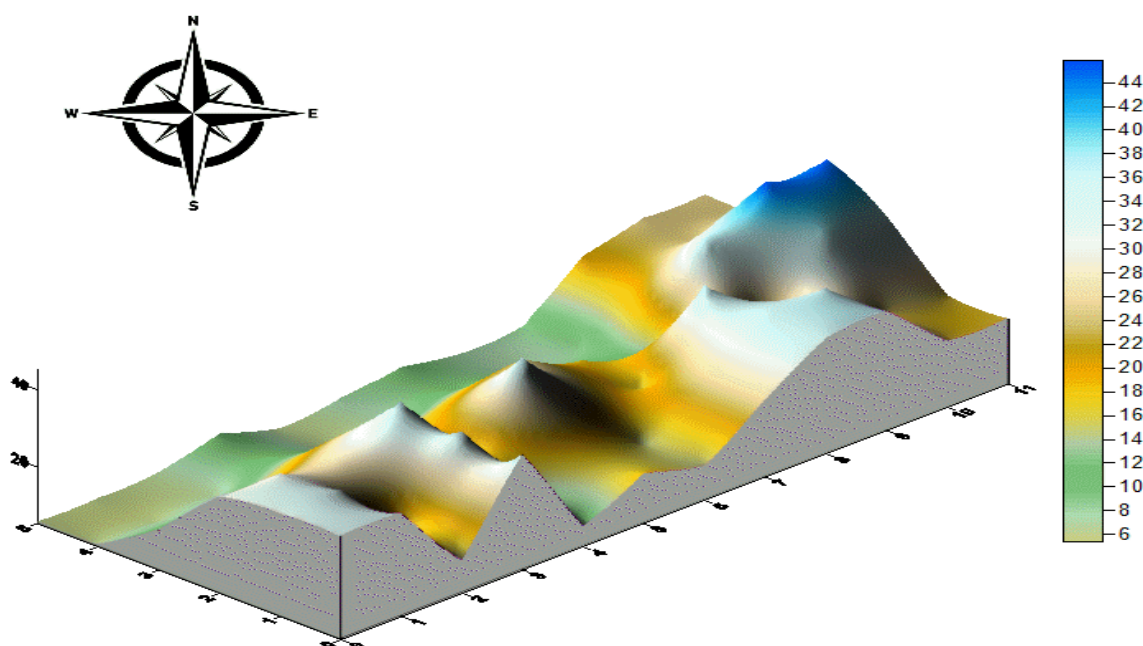


Figura 30. Representación tridimensional de la pluviometría (mm), resultante del solapamiento 2 Tuberías de aspersión Artesanal (45° 80°), en una distancia de 4 metros de Tubería a Tubería, obteniendo un Coeficiente de uniformidad (CU) de 58%, a una velocidad del viento de 1.9 m/s.

Figura 30. Distribución tridimensional del riego aplicado. CU = 58%, viento de 1.2 m/s.

Durante la última evaluación del segundo tratamiento, se alcanzó un CU de 58%. La Figura 31 muestra el resultado tridimensional del ensayo, realizado bajo condiciones de viento más adversas, con una velocidad de 1.2 m/s, lo que generó un impacto negativo en la distribución homogénea del riego.

Se observa una fuerte variabilidad en la aplicación del agua, con zonas de acumulación excesiva y otras con escasa cobertura, en especial hacia los bordes noroeste y este del terreno.

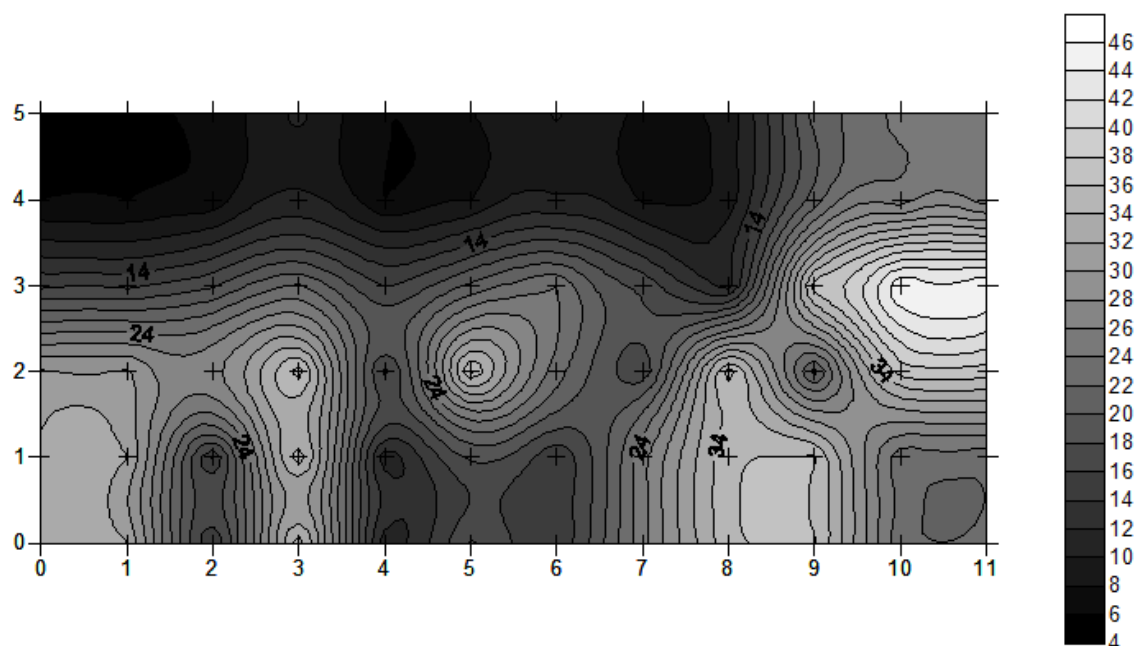


Figura 31. Visualización del área evaluada, señalando las zonas con mayor y menor altura de agua aplicada (mm), obteniendo un CU de 58%, a una velocidad del viento de 1.9 m/s.

En la Figura 31, se muestra una representación espacial del área evaluada, acompañada de una escala de color en tonos negros. En esta visualización, las zonas de color más claro indican los puntos donde se registró una mayor lámina de agua aplicada (mm), concentrándose principalmente en la zona central de la parcela, entre las dos tuberías de aspersión, debido al solapamiento del patrón de riego. En contraste, las áreas más oscuras representan sectores con menor cantidad de agua aplicada, localizados en su mayoría en los extremos este (E) y sur (S) de la parcela experimental.

Durante esta evaluación, las láminas de agua aplicadas oscilaron entre 4 y 46 mm, alcanzando un Coeficiente de Uniformidad (CU) del 58%. De acuerdo con el Servicio de Asesoramiento Regante (2010), este valor se considera inaceptable, ya que la uniformidad aceptable para riego por aspersión se encuentra en el rango de 70% a 80%.

4.3.1.3. Evaluación del tercer Tratamiento (55° 30° 80°)

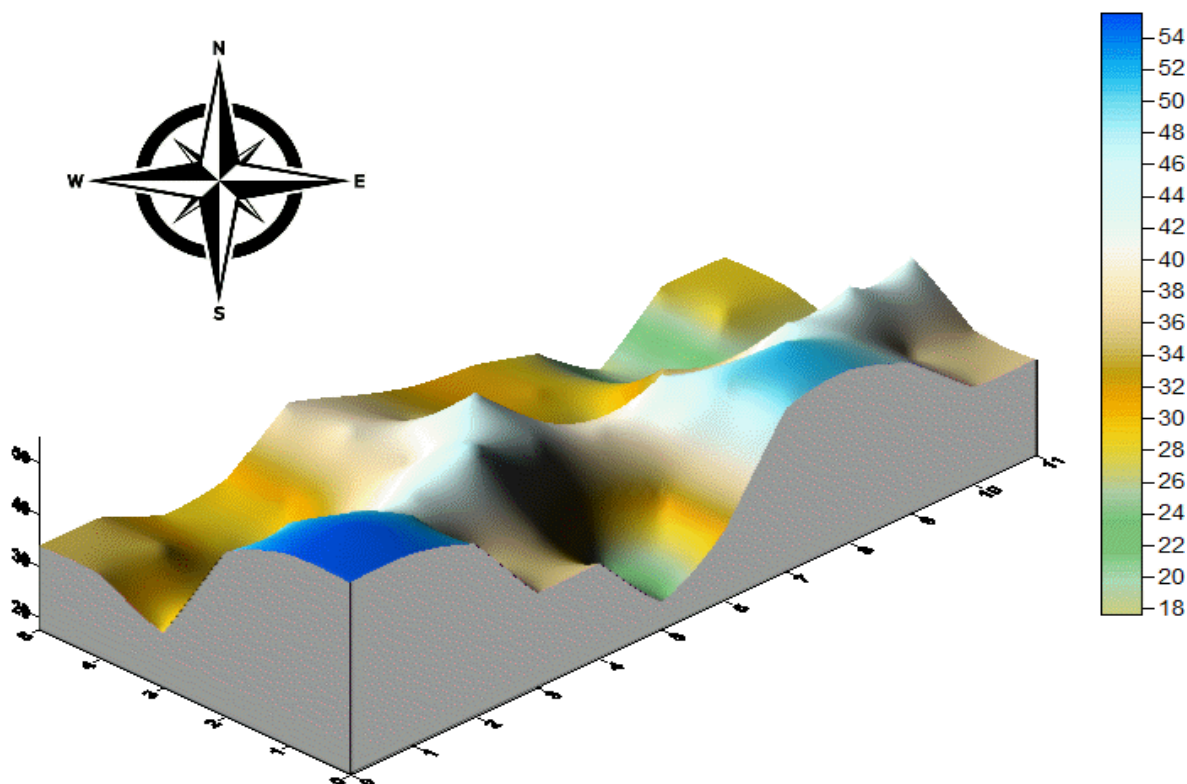


Figura 32. Representación tridimensional de la pluviometría (mm), resultante del solapamiento 2 Tuberías de aspersión Artesanal (30° 55° 80 °), en una distancia de 4 metros de Tubería a Tubería, obteniendo un Coeficiente de uniformidad (CU) de 79%, a una velocidad del viento de 0.4 m/s.

En la Figura 32, se presentan los resultados de pluviometría del tercer tratamiento correspondiente a la primera evaluación. Esta visualización permite analizar la uniformidad de riego obtenida tras una hora de aplicación de agua en el área evaluada. En esta prueba, se implementaron dos líneas de tuberías de aspersión sobre una parcela de 40 m², alcanzando un Coeficiente de Uniformidad (CU%) de 79%.

Este valor indica que el 79% del área regada recibió una lámina de agua adecuada para los requerimientos del cultivo, mientras que el 21% restante presentó variaciones, recibiendo volúmenes de agua en exceso o déficit. Estas desigualdades se atribuyen principalmente al arrastre del agua por efecto del viento y a pérdidas por evaporación provocadas por la radiación solar.

Durante la evaluación, se registró una velocidad del viento de 0.4 m/s, con dirección este a noreste (ENE). Se reconoce que una mayor velocidad del viento reduce la uniformidad, mientras que condiciones de menor viento favorecen una distribución más homogénea.

En cuanto a las condiciones hidráulicas, la evaluación se llevó a cabo con una presión de trabajo de 1 bar y un tiempo de riego de 1 hora. El mapa generado por el simulador refleja la altura de agua aplicada (en mm) mediante una escala cromática: los colores azules representan las zonas con mayor lámina de riego (42 a 54 mm), mientras que los verdes corresponden a las zonas con menor aplicación (hasta 18 mm).

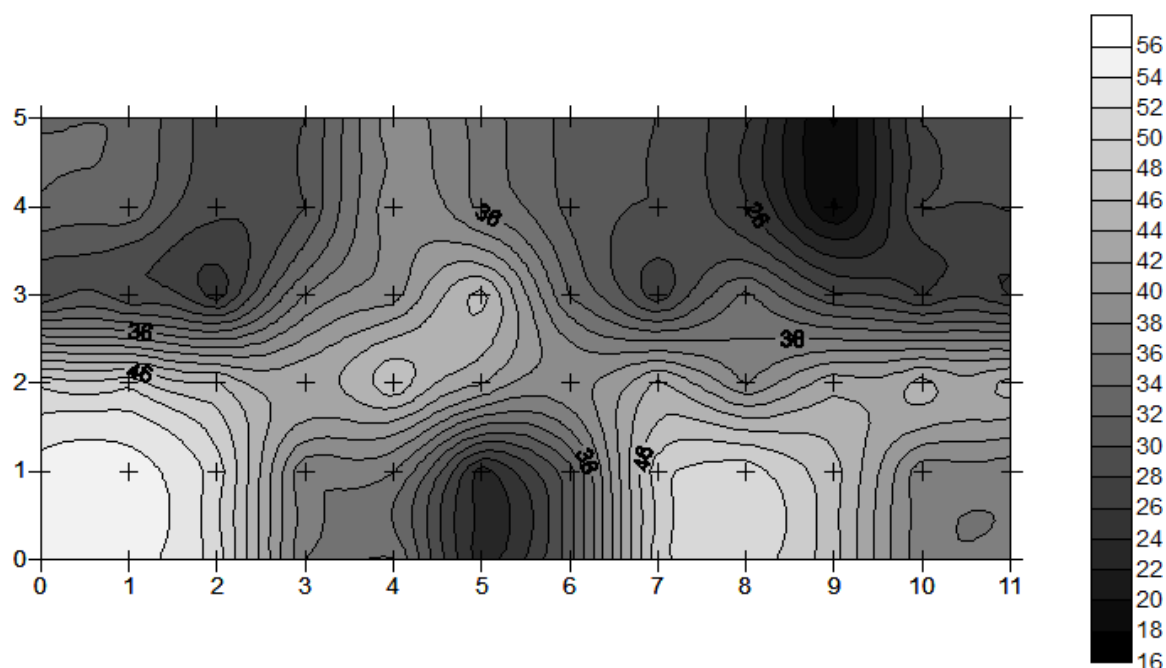


Figura 33. Visualización del área evaluada, señalando las zonas con mayor y menor altura de agua aplicada (mm), obteniendo un CU de 79%, a una velocidad del viento de 0.4 m/s.

En la Figura 33, se muestra una representación espacial del área evaluada, acompañada de una escala de color en tonos verdes. En esta visualización, las zonas de color más claro indican los puntos donde se registró una mayor lámina de agua aplicada (mm), concentrándose principalmente en la zona central de la parcela, entre las dos tuberías de aspersión, debido al solapamiento del patrón de riego. En contraste, las áreas más oscuras representan sectores con menor cantidad de agua aplicada, localizados en su mayoría en el extremo sur (S) de la parcela experimental.

Durante esta evaluación, las láminas de agua aplicadas oscilaron entre 16 y 56 mm, alcanzando un Coeficiente de Uniformidad (CU) del 79%. De acuerdo con el Servicio de Asesoramiento Regante (2010), este valor se considera aceptable, ya que la uniformidad aceptable para riego por aspersión se encuentra en el rango de 70% a 80%.

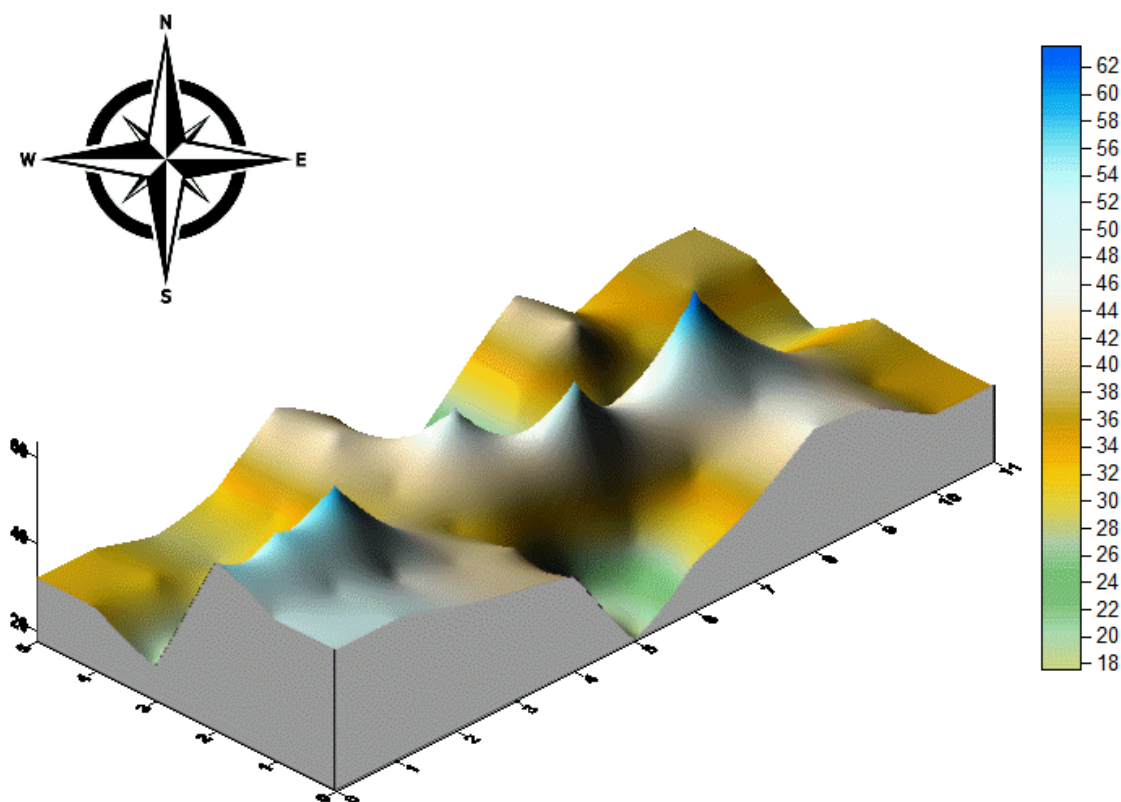


Figura 34. Representación tridimensional de la pluviometría (mm), resultante del solapamiento 2 Tuberías de aspersión Artesanal ($30^{\circ} 55^{\circ} 80^{\circ}$), en una distancia de 4 metros de Tubería a Tubería, obteniendo un Coeficiente de uniformidad (CU) de 78%, a una velocidad del viento de 0.6 m/s.

En la Figura 34, se presentan los resultados de pluviometría del tercer tratamiento correspondiente a la segunda evaluación. Esta visualización permite analizar la uniformidad de riego obtenida tras una hora de aplicación de agua en el área evaluada. En esta prueba, se implementaron dos líneas de tuberías de aspersión sobre una parcela de 40 m², alcanzando un Coeficiente de Uniformidad (CU%) de 78%.

Este valor indica que el 78% del área regada recibió una lámina de agua adecuada para los requerimientos del cultivo, mientras que el 22% restante presentó variaciones, recibiendo volúmenes de agua en exceso o déficit. Estas desigualdades se atribuyen principalmente

al arrastre del agua por efecto del viento y a pérdidas por evaporación provocadas por la radiación solar.

Durante la evaluación, se registró una velocidad del viento de 0.6 m/s, con dirección este a suroeste (ESE). Se reconoce que una mayor velocidad del viento reduce la uniformidad, mientras que condiciones de menor viento favorecen una distribución más homogénea.

En cuanto a las condiciones hidráulicas, la evaluación se llevó a cabo con una presión de trabajo de 1 bar y un tiempo de riego de 1 hora. El mapa generado por el simulador refleja la altura de agua aplicada (en mm) mediante una escala cromática: los colores azules representan las zonas con mayor lámina de riego (48 a 62 mm), mientras que los verdes corresponden a las zonas con menor aplicación (hasta 18 mm).

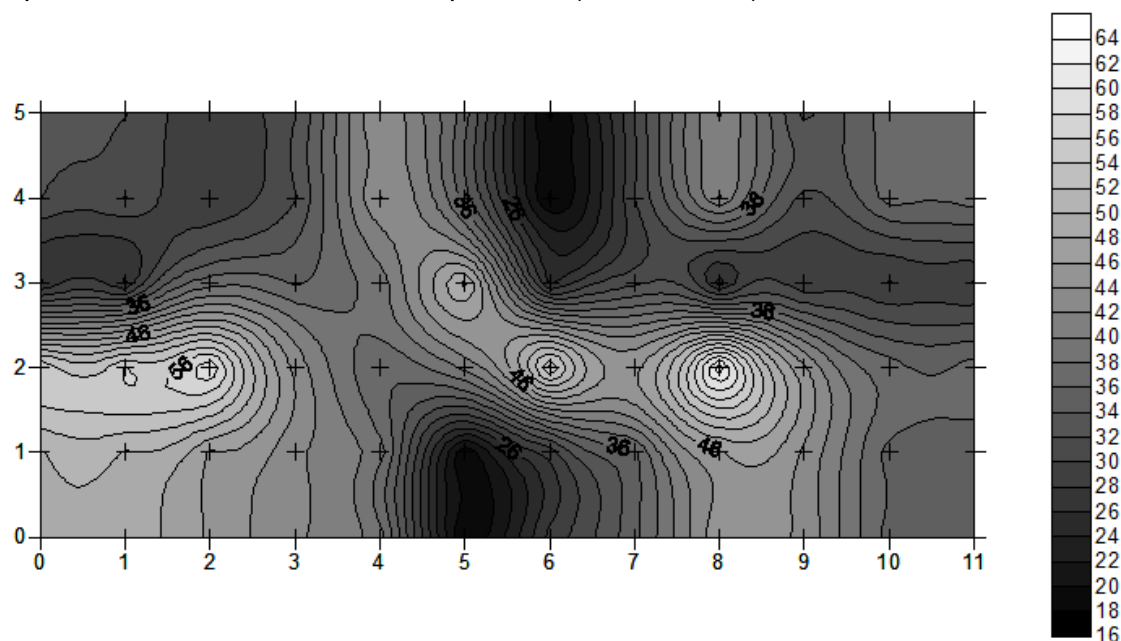


Figura 35. Visualización del área evaluada, señalando las zonas con mayor y menor altura de agua aplicada (mm), obteniendo un CU de 78%, a una velocidad del viento de 0.6 m/s en un tiempo de aplicación de 1 hora

En la Figura 35, se muestra una representación espacial del área evaluada, acompañada de una escala de color en tonos azules y verdes. En esta visualización, las zonas de color más claro indican los puntos donde se registró una mayor lámina de agua aplicada (mm), concentrándose principalmente en la zona central de la parcela, entre las dos tuberías de aspersión, debido al solapamiento del patrón de riego. En contraste, las áreas más oscuras representan sectores con menor cantidad de agua aplicada, localizados en su mayoría en medio de la parcela experimental.

Durante esta evaluación, las láminas de agua aplicadas oscilaron entre 16 y 64 mm, alcanzando un Coeficiente de Uniformidad (CU) del 78%. De acuerdo con el Servicio de Asesoramiento Regante (2010), este valor se considera aceptable, ya que la uniformidad aceptable para riego por aspersión se encuentra en el rango de 70% a 80%.

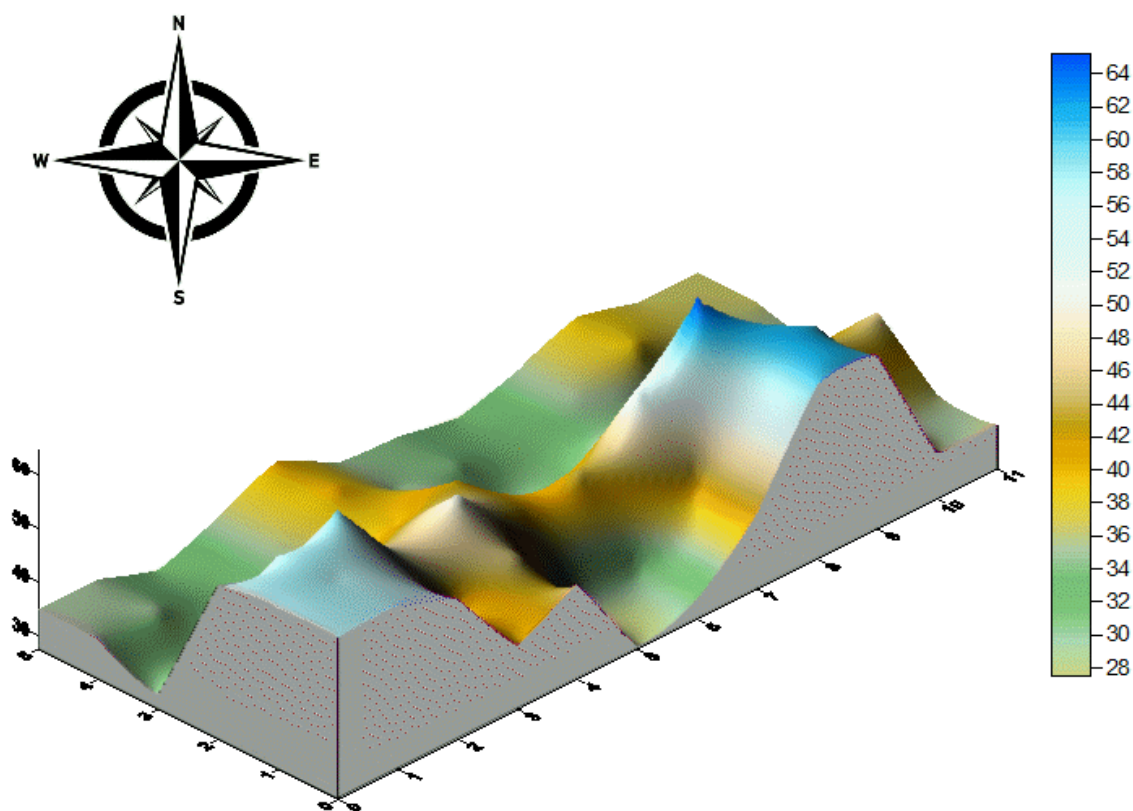


Figura 36. Representación tridimensional de la pluviometría (mm), resultante del solapamiento 2 Tuberías de aspersión Artesanal (30° 55° 80°), en una distancia de 4 metros de Tubería a Tubería, obteniendo un Coeficiente de uniformidad (CU) de 80%, a una velocidad del viento de 0.3 m/s.

En la Figura 36, se presentan los resultados de pluviometría del tercer tratamiento correspondiente a la tercera evaluación. Esta visualización permite analizar la uniformidad de riego obtenida tras una hora de aplicación de agua en el área evaluada. En esta prueba, se implementaron dos líneas de tuberías de aspersión sobre una parcela de 40 m², alcanzando un Coeficiente de Uniformidad (CU%) de 80%.

Este valor indica que el 80% del área regada recibió una lámina de agua adecuada para los requerimientos del cultivo, mientras que el 20% restante presentó variaciones, recibiendo

volúmenes de agua en exceso o déficit. Estas desigualdades se atribuyen principalmente al arrastre del agua por efecto del viento y a pérdidas por evaporación provocadas por la radiación solar.

Durante la evaluación, se registró una velocidad del viento de 0.3 m/s, con dirección suroeste (SW), lo cual afectó notablemente la distribución del riego. Se reconoce que una mayor velocidad del viento reduce la uniformidad, mientras que condiciones de menor viento favorecen una distribución más homogénea.

En cuanto a las condiciones hidráulicas, la evaluación se llevó a cabo con una presión de trabajo de 1 bar y un tiempo de riego de 1 hora. El mapa generado por el simulador refleja la altura de agua aplicada (en mm) mediante una escala cromática: los colores azules representan las zonas con mayor lámina de riego (50 a 64 mm), mientras que los verdes corresponden a las zonas con menor aplicación (hasta 28 mm).

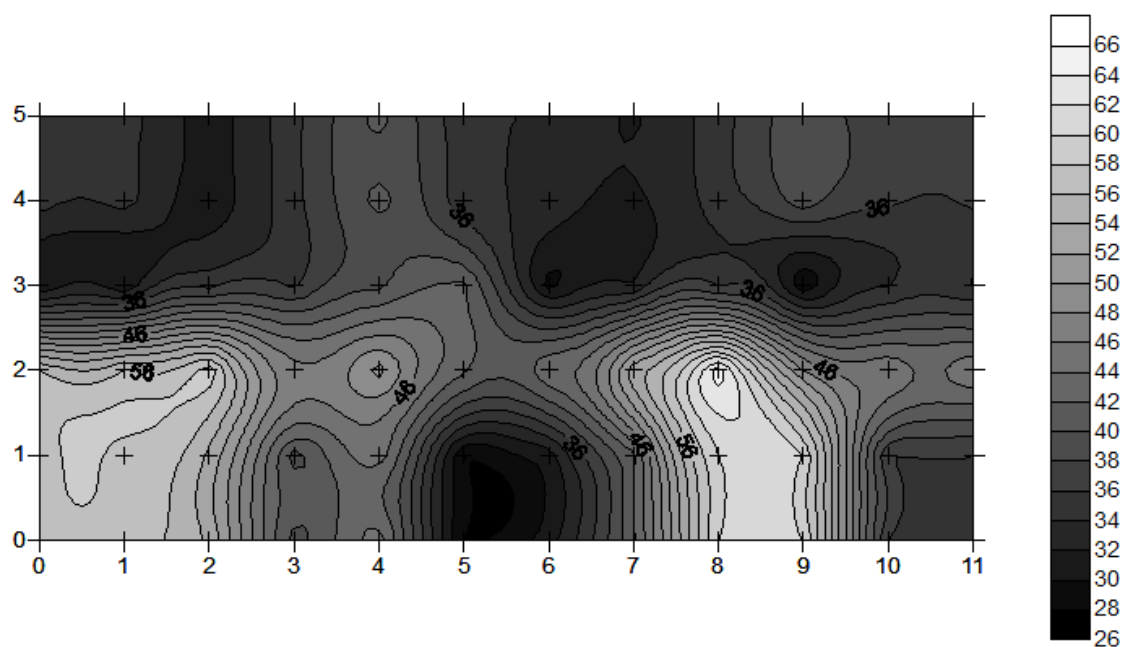


Figura 37. Visualización del área evaluada, señalando las zonas con mayor y menor altura de agua aplicada (mm), obteniendo un CU de 80%, a una velocidad del viento de 0.3 m/s.

En la Figura 37, se muestra una representación espacial del área evaluada, acompañada de una escala de color en tonos verdes. En esta visualización, las zonas de color más claro indican los puntos donde se registró una mayor lámina de agua aplicada (mm), concentrándose principalmente en la zona central de la parcela, entre las dos tuberías de

aspersión, debido al solapamiento del patrón de riego. En contraste, las áreas más oscuras representan sectores con menor cantidad de agua aplicada, localizados en su mayoría en los extremos este (E) y sur (S) de la parcela experimental.

Durante esta evaluación, las láminas de agua aplicadas oscilaron entre 26 y 66 mm, alcanzando un Coeficiente de Uniformidad (CU) del 80%. De acuerdo con el Servicio de Asesoramiento Regante (2010), este valor se considera aceptable, ya que la uniformidad aceptable para riego por aspersión se encuentra en el rango de 70% a 80%.

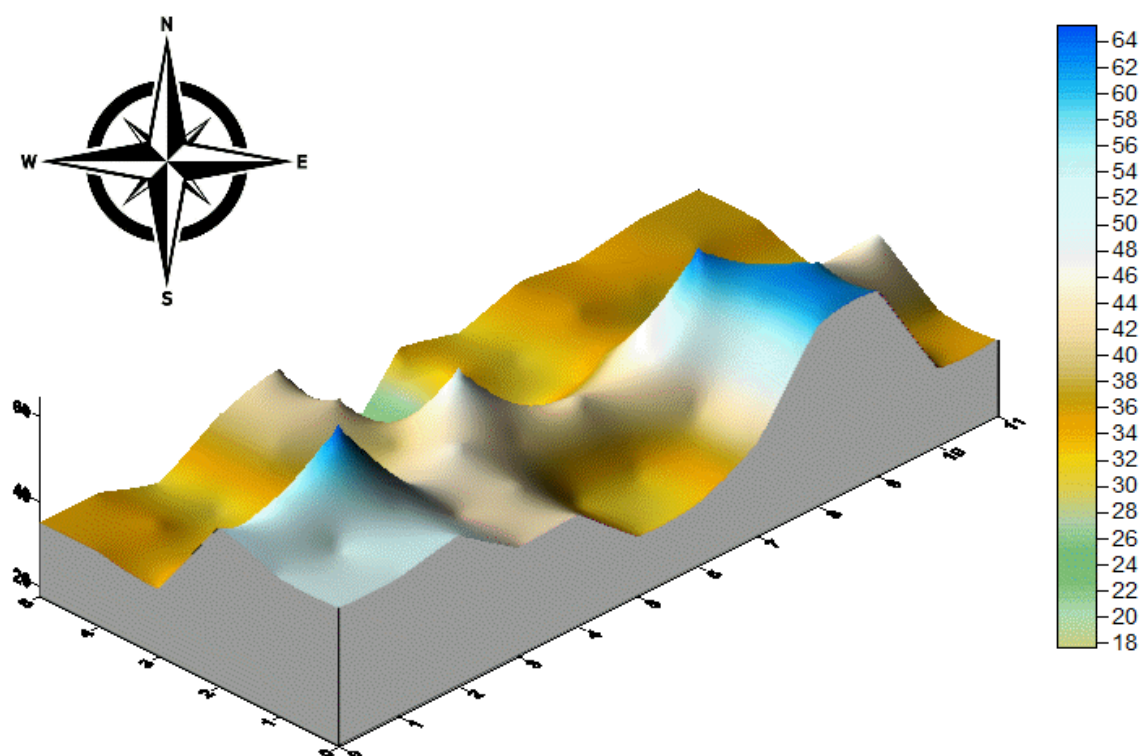


Figura 38. Representación tridimensional de la pluviometría (mm), resultante del solapamiento 2 Tuberías de aspersión Artesanal (30° 55° 80°), en una distancia de 4 metros de Tubería a Tubería, obteniendo un Coeficiente de uniformidad (CU) de 79%, a una velocidad del viento de 0.4

En la Figura 38, se presentan los resultados de pluviometría del tercer tratamiento correspondiente a la cuarta evaluación. Esta visualización permite analizar la uniformidad de riego obtenida tras una hora de aplicación de agua en el área evaluada. En esta prueba, se implementaron dos líneas de tuberías de aspersión sobre una parcela de 40 m², alcanzando un Coeficiente de Uniformidad (CU%) de 79%.

Este valor indica que el 79% del área regada recibió una lámina de agua adecuada para los requerimientos del cultivo, mientras que el 21% restante presentó variaciones, recibiendo volúmenes de agua en exceso o déficit. Estas desigualdades se atribuyen principalmente al arrastre del agua por efecto del viento y a pérdidas por evaporación provocadas por la radiación solar.

En cuanto a las condiciones hidráulicas, la evaluación se llevó a cabo con una presión de trabajo de 1 bar y un tiempo de riego de 1 hora. El mapa generado por el simulador refleja la altura de agua aplicada (en mm) mediante una escala cromática: los colores azules representan las zonas con mayor lámina de riego (48 a 64 mm), mientras que los verdes corresponden a las zonas con menor aplicación (hasta 18 mm).

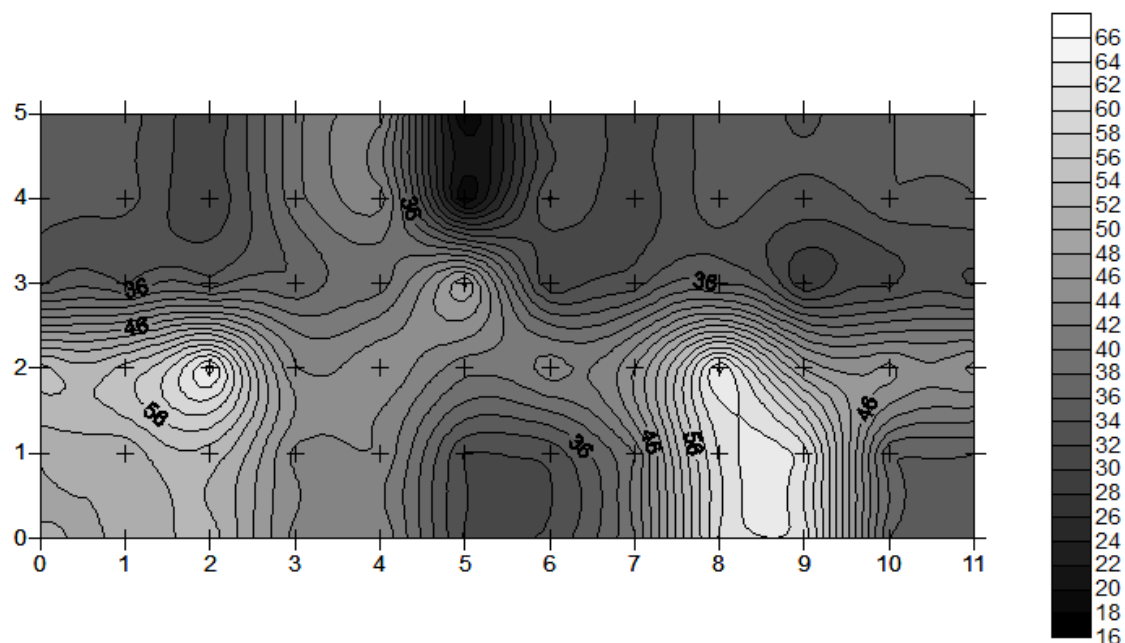


Figura 39. Visualización del área evaluada, señalando las zonas con mayor y menor altura de agua aplicada (mm), obteniendo un CU de 79%, a una velocidad del viento de 0.4 m/s en un tiempo de aplicación de 1 hora

En la Figura 39, se muestra una representación espacial del área evaluada, acompañada de una escala de color en tonos negros. En esta visualización, las zonas de color más claro indican los puntos donde se registró una mayor lámina de agua aplicada (mm), concentrándose principalmente en la zona central de la parcela, entre las dos tuberías de aspersión, debido al solapamiento del patrón de riego. En contraste, las áreas más oscuras representan sectores con menor cantidad de agua aplicada, localizados en su mayoría en parte media de los extremos este (E) y sur (S) de la parcela experimental.

Durante esta evaluación, las láminas de agua aplicadas oscilaron entre 16 y 66 mm, alcanzando un Coeficiente de Uniformidad (CU) del 79%. De acuerdo con el Servicio de Asesoramiento Regante (2010), este valor se considera aceptable, ya que la uniformidad aceptable para riego por aspersión se encuentra en el rango de 70% a 80%.

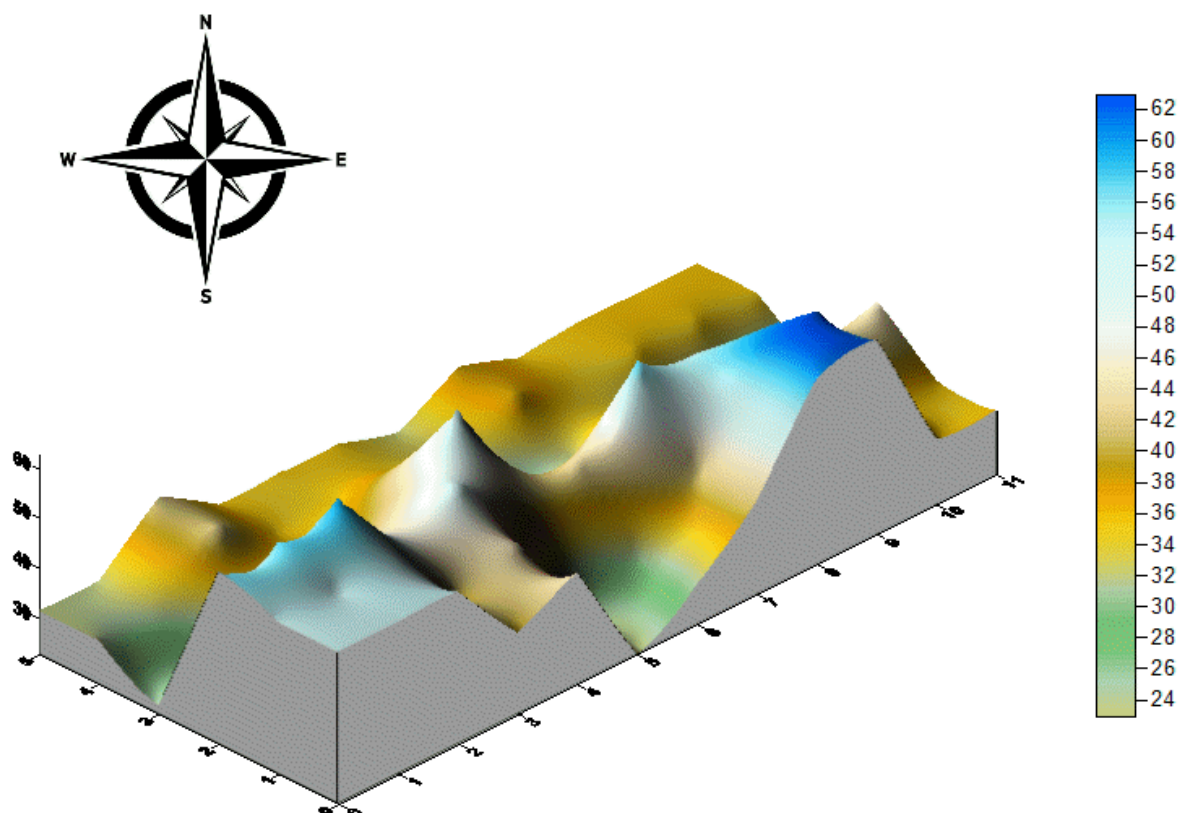


Figura 40. Representación tridimensional de la pluviometría (mm), resultante del solapamiento 2 Tuberías de aspersión Artesanal (30° 55° 80°), en una distancia de 4 metros de Tubería a Tubería, obteniendo un Coeficiente de uniformidad (CU) de 79%, a una velocidad del viento de 1 m/s.

En la Figura 40, se presentan los resultados de pluviometría del tercer tratamiento correspondiente a la quinta evaluación. Esta visualización permite analizar la uniformidad de riego obtenida tras una hora de aplicación de agua en el área evaluada. En esta prueba, se implementaron dos líneas de tuberías de aspersión sobre una parcela de 40 m², alcanzando un Coeficiente de Uniformidad (CU%) de 79%.

Este valor indica que el 79% del área regada recibió una lámina de agua adecuada para los requerimientos del cultivo, mientras que el 21% restante presentó variaciones, recibiendo volúmenes de agua en exceso o déficit. Estas desigualdades se atribuyen principalmente

al arrastre del agua por efecto del viento y a pérdidas por evaporación provocadas por la radiación solar.

En cuanto a las condiciones hidráulicas, la evaluación se llevó a cabo con una presión de trabajo de 1 bar y un tiempo de riego de 1 hora. El mapa generado por el simulador refleja la altura de agua aplicada (en mm) mediante una escala cromática: los colores azules representan las zonas con mayor lámina de riego (48 a 62 mm), mientras que los verdes corresponden a las zonas con menor aplicación (hasta 24 mm).

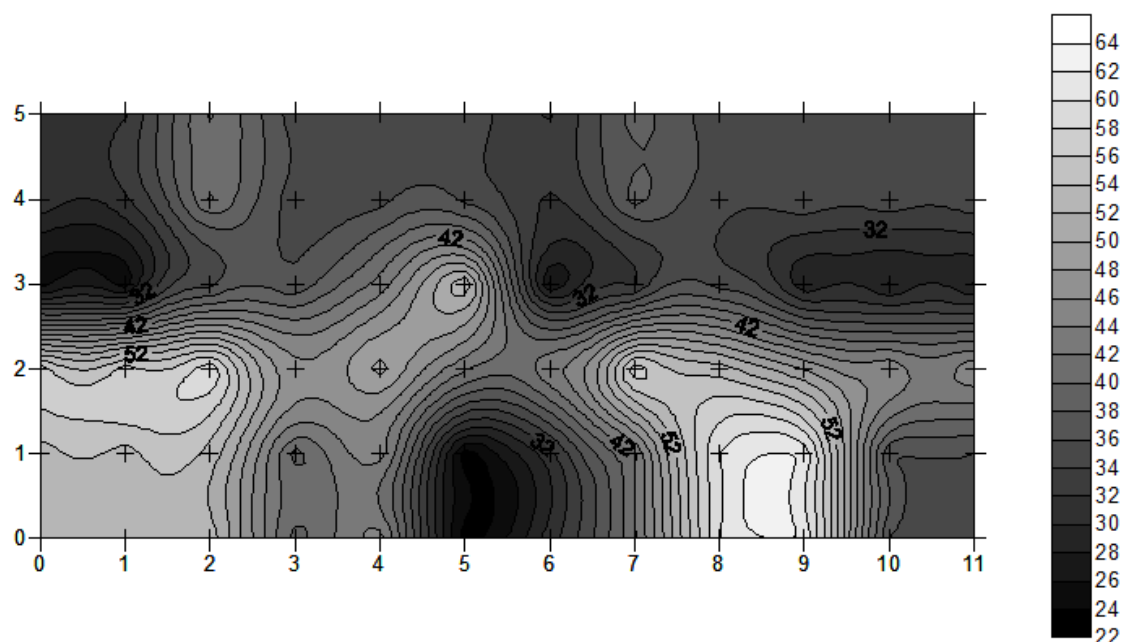


Figura 41. Visualización del área evaluada, señalando las zonas con mayor y menor altura de agua aplicada (mm), obteniendo un CU de 79%, a una velocidad del viento de 1 m/s.

En la Figura 41, se muestra una representación espacial del área evaluada, acompañada de una escala de color en tonos verdes. En esta visualización, las zonas de color más claro indican los puntos donde se registró una mayor lámina de agua aplicada (mm), concentrándose principalmente en la zona central de la parcela, entre las dos tuberías de aspersión, debido al solapamiento del patrón de riego. En contraste, las áreas más oscuras representan sectores con menor cantidad de agua aplicada, localizados en su mayoría en los extremos este (E) y sur (S) de la parcela experimental.

Durante esta evaluación, las láminas de agua aplicadas oscilaron entre 22 y 64 mm, alcanzando un Coeficiente de Uniformidad (CU) del 79%. De acuerdo con el Servicio de

Asesoramiento Regante (2010), este valor se considera aceptable, ya que la uniformidad aceptable para riego por aspersión se encuentra en el rango de 70% a 82%.

Según Revilla (2010), citado por Guarachi (2013), señala que en riego por aspersión se estima que los coeficientes de uniformidad (CU) deben ser los siguientes: para frutales o forrajeras con sistema radical profundo deben estar entre 70 al 82%, en cultivos extensivos con sistema radicular de profundidad media deben encontrarse entre el 82 al 88%.

Cuadro 11. Resultados obtenidos del parámetro de Coeficiencia de Uniformidad (CU %), para los 3 tratamientos, en sus diferentes evaluaciones

Fechas del Mes	Tratamientos	Pruebas	Coeficiente de uniformidad (CU)	velocidad del viento (m/s)
23/10/2024	Tratamiento I	Primera	66%	1
26/10/2024	Tratamiento I	Segunda	61%	0,7
28/10/2024	Tratamiento I	Tercera	59%	1,8
30/10/2024	Tratamiento I	Cuarta	56%	1,5
05/11/2024	Tratamiento I	Quinta	64%	0,4
07/11/2024	Tratamiento II	Primera	43%	2
08/11/2024	Tratamiento II	Segunda	64%	0,8
15/11/2024	Tratamiento II	Tercera	56%	1,9
25/11/2024	Tratamiento II	Cuarta	62%	0,5
26/11/2024	Tratamiento II	Quinta	58%	1,9
22/01/2025	Tratamiento III	Primera	79%	0,4
23/01/2025	Tratamiento III	Segunda	78%	0,6
24/01/2025	tratamiento III	Tercera	80%	0,3
25/01/2025	tratamiento III	Cuarta	79%	0,4
26/01/2025	tratamiento III	Quinta	79%	1

En el Cuadro 11 se presenta la evaluación de los tres tratamientos de riego por aspersión artesanal, donde se evidencian diferencias significativas en los valores del Coeficiente de Uniformidad (CU), atribuibles en parte a la variación de la velocidad del viento registrada durante las pruebas. El tratamiento I presentó valores de CU que oscilaron entre 56% y 66%, con velocidades de viento entre 0,4 y 1,8 m/s. Se evidenció una tendencia decreciente del CU a medida que la velocidad del viento aumentó, lo cual indica una sensibilidad moderada del sistema a condiciones de viento. Tratamiento II mostró mayor variabilidad, con CU entre 43% y 64%. El valor más bajo (43%) se registró bajo una velocidad de 2 m/s, confirmando una afectación considerable del viento sobre la uniformidad. En general, los mejores resultados se observaron con velocidades inferiores a 1 m/s. Tratamiento III alcanzó los valores más altos y consistentes de CU, variando entre 78% y 80%, esto sugiere

que este tratamiento es el más eficiente y menos afectado por el viento, lo que lo posiciona como el más recomendable en condiciones similares a las del presente estudio.

Para interpretación de los resultados obtenidos, se trabajó con el programa estadístico INFOSTAT, empleando un Diseño Completamente al Azar (DCA). Debido a que la variable de respuesta principal (Coeficiente de uniformidad CU), llega a ser afectada en algún grado, durante las evaluaciones en el campo experimental por otra variable de respuesta (velocidad de viento). Por esta razón se debe comprobar esta situación, por lo cual se procedió a realizar un Análisis de Covarianza para un DCA, donde se considera a la velocidad del viento (m/s) como una covariable

Cuadro 12. Análisis de covarianza (ANCOVA) para determinar el coeficiente de uniformidad (CU), influenciado por el viento en 3 tratamientos de las tuberías de aspersión (Artesanal)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Coef
Tratamientos	552,37	2	276,18	16,27	0,0005	
velocidad del viento (m/s)	149,33	1	149,33	8,8	0,0128	-6,4
Error	186,67	11	16,97			
Total	1735,6	14				
CV	6.28%					

En el Cuadro 12, se observa el ANCOVA, que el coeficiente de variación es de 6.28 %, donde nos estable la confiabilidad de los datos estudiados y/o evaluados, así mismos obtenido mediante el Análisis de Varianza con Covariable. Podemos apreciar que el efecto de los tratamientos tiene un efecto significativo, lo que indica diferencia entre los tratamientos aplicados sobre la variable dependiente el Coeficiente de uniformidad (CU%) ya que $p\text{-valor} < 0.05$.

De igual forma el valor de p de 0,01208 indica que la covariable de velocidad del viento (m/s) tiene un efecto significativo sobre la variable dependiente (CU %), ya que $p < 0,05$.

El coeficiente negativo de la covariable sugiere que, a medida que la velocidad de viento aumenta, la variable dependiente disminuye, en -6,40 unidades por cada unidad de aumento en la velocidad de viento (m/s).

Por tanto, concluimos que, el efecto de la covariable velocidad de viento, tiene un efecto significativo sobre la variable dependiente (CU %) haciendo que disminuya por el arrastre

que genera en la parcela experimental, ya que el valor p es menor que 0,05. El efecto de los tratamientos indica que existe un efecto significativo en cuanto a la variable dependiente el Coeficiente de uniformidad.

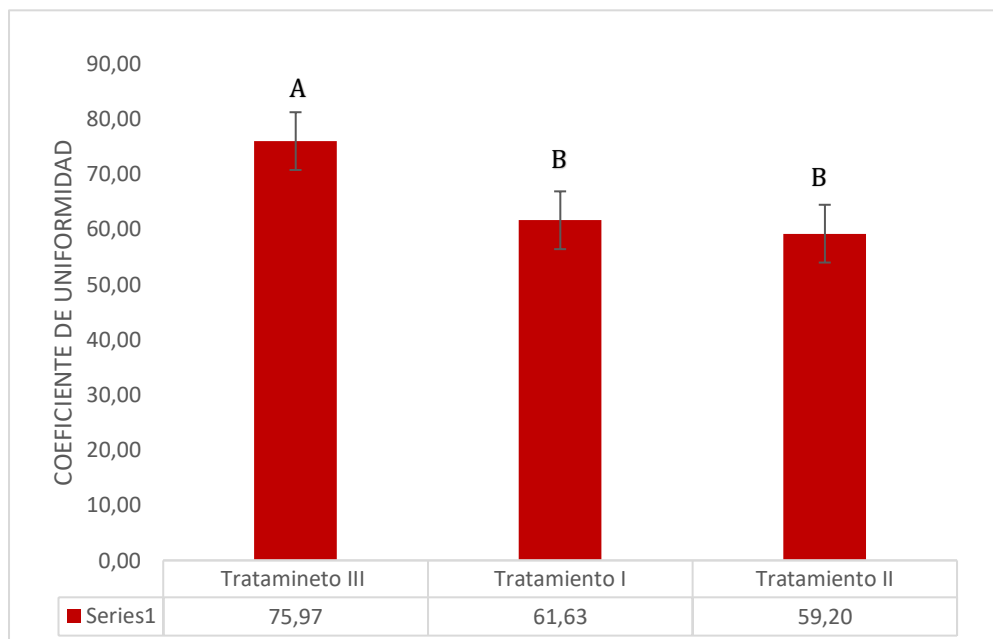


Figura 42. Medias de Duncan para Coeficiente de Uniformidad (CU)

En la Figura 42, prueba de Duncan ($\alpha = 5\%$), presenta una representación de las medias de Coeficiencia de uniformidad (CU%) para los diferentes tratamientos donde se puede verificar a simple vista la presencia de diferencias significativas entre los tratamientos sobre la variable de respuesta Coeficiente de Uniformidad (CU), por consiguiente, el tratamiento III es superior que el resto con 75,97 % seguido del tratamiento I con 61,30 % y finalmente el tratamiento II con 59.20.

El INIA – CARILLANCA (2001), mencionado por Callisaya y Castillo (2018) Mencionan que en general las velocidades de vientos que sean superiores a 2,5 m/s para nada es recomendable al riego por aspersión mientras que velocidades entre 1 a 2,5 m/s es poco recomendable, siendo optimo las velocidades inferiores a 1 m/s.

4.3.2. Eficiencia de aplicación (Ea)

Según MINAGRI (2015) el rango de eficiencia de aplicación (%) para el método de riego por aspersión va desde 50 - 90% bajo el indicador de coeficiente de uniformidad, donde aseveramos que a $> CU$ mayor será la eficiencia. Según Zocoler (2001) por medio de los

resultados de Ea es posible verificar la cantidad de agua incorporada al suelo hasta la profundidad efectiva del sistema radicular de cualquier cultivo, en relación a la cantidad de agua aplicada por riego y de esta manera verificar las pérdidas por percolación y evaporación directa del suelo.

Cuadro 13. Resultados obtenidos del parámetro de Eficiencia de aplicación (Ea %), para los 3 tratamientos, en sus diferentes evaluaciones.

Fecha de Mes	Tratamientos	Pruebas	Eficiencia de aplicación (Ea)	velocidad del viento (m/s)
23/10/2024	Tratamiento I	Primera	49%	1
26/10/2024	Tratamiento I	Segunda	52%	0,7
28/10/2024	Tratamiento I	Tercera	47%	1,8
30/10/2024	Tratamiento I	Cuarta	48%	1,5
05/11/2024	Tratamiento I	Quinta	44%	0,4
07/11/2024	Tratamiento II	Primera	28%	2
08/11/2024	Tratamiento II	Segunda	48%	0,8
15/11/2024	Tratamiento II	Tercera	41%	1,9
25/11/2024	Tratamiento II	Cuarta	49%	0,5
26/11/2024	Tratamiento II	Quinta	40%	1,9
22/01/2025	Tratamiento III	Primera	69%	0,4
23/01/2025	Tratamiento III	Segunda	67%	0,6
24/01/2025	Tratamiento III	Tercera	75%	0,3
25/01/2025	Tratamiento III	Cuarta	73%	0,4
26/01/2025	Tratamiento III	Quinta	71%	1

En el Cuadro 13 se presentan los resultados de la Eficiencia de Aplicación (Ea) para los tres tratamientos de riego por aspersión artesanal. Se evidencian diferencias importantes entre tratamientos, asociadas a la variación en la velocidad del viento durante las pruebas.

El Tratamiento I mostró valores de Ea entre 44% y 52%, con mejor desempeño en condiciones de viento moderado. El Tratamiento II presentó los valores más bajos (28% a 49%), especialmente en presencia de velocidades superiores a 1,5 m/s, indicando una mayor vulnerabilidad. En contraste, el Tratamiento III alcanzó las eficiencias más altas (67% a 75%) bajo velocidades de viento menores a 1 m/s, destacándose por su estabilidad y buen comportamiento operativo.

4.3.2.1. Interpretación de eficiencia de aplicación

Para interpretación de los resultados obtenidos, se trabajó con el programa estadístico INFOSTAT, Debido a que la variable de respuesta principal (Eficiencia de Aplicación Ea), llega a ser afectada en algún grado, otra variable de respuesta (velocidad de viento). Por esta razón se procedió a realizar un Análisis de Covarianza para un DCA, donde se considera a la velocidad del viento (m/s) como una covariable

Cuadro 14. Análisis de varianza (ANCOVA), para la Eficiencia de aplicación (Ea), influenciados por el tiempo de riego en los 3 Tratamiento

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Coef
Tratamientos	1151,09	2	575,54	26,23	0,0001	
velocidad del viento (m/s)	115,43	1	115,43	5,26	0,0425	-5,63
Error	241,38	11	21,94			
Total	2795,6	14				
CV	8.77 %					

En el Cuadro 14, se observa el ANCOVA, que el coeficiente de variación es de 8.77 %, donde nos estable la confiabilidad de los datos estudiados y/o evaluados, así mismos obtenido mediante el Análisis de Varianza con Covariable. Podemos apreciar que el efecto de los tratamientos tiene un efecto significativo, lo que indica diferencia entre los tratamientos aplicados sobre la variable dependiente el Coeficiente de uniformidad (CU%) ya que $p\text{-valor} < 0.05$.

Por otro lado, el valor de p de 0,0425 indica que la covariable de velocidad del viento (m/s) tiene un efecto significativo sobre la variable dependiente (Ea %), ya que $p < 0,05$.

El coeficiente negativo de la covariable sugiere que, a medida que la velocidad de viento aumenta, la variable dependiente disminuye, en -5,63 unidades por cada unidad de aumento en la velocidad de viento (m/s).

Por tanto, concluimos que, el efecto de la covariable velocidad de viento, tiene un efecto significativo sobre la variable dependiente (Ea %) haciendo que disminuya por el arrastre que genera en la parcela experimental, ya que el valor es p es menor que 0,05.

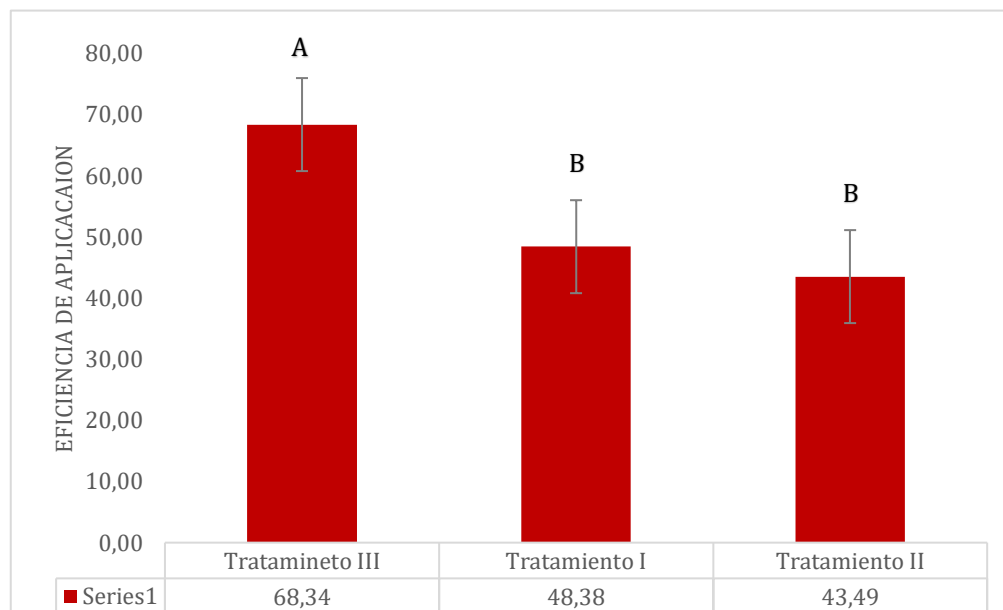


Figura 43. Medias de Duncan para Eficiencia de aplicación (Ea)

La Figura 43, presenta una representación de las medias de la eficiencia de aplicación (Ea%) para los diferentes tratamientos donde se puede verificar a simple vista la presencia de diferencias significativas entre los tratamientos sobre la variable de respuesta (eficiencia de aplicación) donde claramente el tratamiento III es superior que el resto con 68,34 % seguido del tratamiento I con 48.38 % y finalmente el tratamiento II con 43.49.

Concluimos que la eficiencia es un parámetro muy importante a la hora de aplicar el método de riego, donde consideramos varios factores tanto del sistema, suelo, factores climáticos, que indicaran lo influyente que son a la hora de evaluar en la parcela experimental considerando las pérdidas y encontrar una solución.

Sobre todo, cuando hay un cultivo de por medio donde tratamos de maximizar la eficiencia para obtener mayor rendimiento y minimizar pérdidas económicas al productor.

4.4. Análisis de comparación de costos de instalación

Para dicha comparación, la selección de los aspersores se lo realiza principalmente en función de la presión de trabajo o funcionamiento y el espaciamiento que debe existir entre los aspersores y los laterales o ramales de riego, en el caso de los aspersores convencionales, para su elección se lo realiza, comprobando las especificaciones técnicas.

En la elección del aspersor casero para su implementación dentro del sistema de riego, se lo hace conforme a los resultados obtenidos en los anteriores puntos tanto de características hidráulicas como parámetros de evaluación, determinando de esta manera a los aspersores del T3 (aspersores artesanales con un ángulo de inclinación de 90° 80° 55° y 35°), como los de mejor rendimiento. Por lo cual, para analizar esta comparación previamente es necesario realizar un presupuesto en base a un diseño para un área de riego de 240 m², con la finalidad de determinar los accesorios y materiales necesarios para su implementación conforme a cada método de riego.

Cuadro 15. Diferencia de costos (inversión inicial) para la implementación de un aspersor artesanal y las cintas de aspersión Golden Spray, con los materiales primordiales, dentro del sistema de riego

Materiales de los sistemas de riego implementando para riego por aspersión en una determinada superficie				
Descripción	Unidad	Cantidad	P/U (Bs)	Subtotal (Bs)
Tubería de aspersión (Artesanal) y sus accesorios de acople para una superficie de 240 m²	Global	60	4	240
Tapón macho PVC 1 “	Pieza	6	5	30
Total (Bs)				270
Descripción	Unidad	Cantidad	P/U (Bs)	Subtotal (Bs)
Cintas Golden Spray y sus accesorios de acople para una superficie de 240 m²	Global	60	10	600
Total (Bs)				600

En el Cuadro 15, se expresan los costos de los accesorios necesarios para realizar el diseño del sistema de riego, donde podemos observar que el costo necesario para la implementación de aspersores convencionales Cintas Golden Spray para el riego parcelario de una superficie de 240 m² abarca un total de Bs 600 Alarcon.E (2024).

En contraste, el costo para la implementación de las Tubería de aspersión (Artesanal) asciende a Bs 270, cuyo precio en comparación al anterior, llega a ser menor. Es importante señalar que la alternativa más conveniente es aquel que presenta el menor valor actual de costos, por tanto, alternativa más optima es el uso de aspersores artesanales dentro del sistema de riego llegaría a ser el más factible y accesible para su implementación.

5. CONCLUSIONES

Para el presente estudio, de acuerdo a los objetivos y resultados obtenidos se concluye:

- Mediante el método volumétrico se determinó que el Tratamiento 1 presenta un caudal de 0,11 L/s a 0,5 bar y alcanza 0,24 L/s a 1,3 bar, y el Tratamiento 2 muestra valores ligeramente inferiores, partiendo de 0,1 L/s a 0,5 bar y llegando a 0,2 L/s a 1,3 bar, en cuanto al Tratamiento 3 obtiene los mejores resultados, iniciando con 0,12 L/s a 0,5 bar y logrando un máximo de 0,3 L/s a 1,3 bar.
- En los tres tratamientos evaluados, se mantuvo una dirección constante del viento hacia el oeste (W) y una velocidad uniforme de 1,2 m/s a lo largo de las mediciones el Tratamiento 1 mostró un aumento en el alcance de riego desde 3,35 m a 0,5 bar y 5,10 m a 1,3 bar, Tratamiento 2 registró un alcance de 3,05 m a 4,90 m bajo condiciones similares, en el tratamiento 3 se obtuvo los valores más altos, con un alcance que varió de 3,65 a 0,5 bar m y 5,80 m a 1,3 bar.
- La pluviometría media de la tubería de aspersión indica una relación directa entre la presión de trabajo y la eficiencia del sistema de riego en el tratamiento 1 se muestra un aumento constante de la pluviometría, alcanzando un valor máximo de 21,43 mm/h con una presión de 1,3 bar, Tratamiento 2 también tiene una relación similar, pero los valores máximos de pluviometría y flujo son ligeramente inferiores en comparación con el Tratamiento 1, alcanzando una pluviometría de 18,00 mm/h a 1,3 bar y el tratamiento 3 Presenta los valores más altos en ambas métricas, con una pluviometría máxima de 27,00 mm/h a 1,3 bar, lo que indica una mejor capacidad de distribución.
- El análisis de las medias del coeficiente de uniformidad (CU) revela diferencias notables entre los tratamientos. El tratamiento III presenta la mayor eficiencia con un 79%, seguido por el Tratamiento I con 61%, y el tratamiento II con 56 %, se obtuvo los mejores resultados en el tratamiento III principalmente al diseño que presenta.
- El análisis de las medias de la eficiencia de aplicación (Ea) también muestra diferencias importantes entre los tratamientos, el tratamiento III tiene la mayor eficiencia de aplicación, con un 71%, lo que sugiere que este tratamiento es el más efectivo en aplicar el agua de manera precisa sobre el área de riego, en comparación, el tratamiento I alcanza un 48%, y el tratamiento II el valor más bajo con 41%.

- Para un área de 240 m², el costo de implementación del sistema de riego con cintas de aspersión convencionales fue de 600 Bs, mientras que el método artesanal con tuberías de aspersión representó un costo significativamente menor de 270 Bs. Esto demuestra que el sistema artesanal es una alternativa más económica para pequeños productores, manteniendo niveles aceptables de eficiencia en condiciones controladas.

6. RECOMENDACIONES

En base a los objetivos, resultados y conclusiones del presente trabajo, se pueden formular las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda implementar los aspersores artesanales del Tratamiento 3 (T3) en cultivos de importancia económica, tanto forrajeros como hortícolas, con el fin de evaluar su desempeño bajo condiciones reales de campo. Esta recomendación se basa en que el Tratamiento 3 presentó los mejores resultados en términos de caudal, alcance de riego, coeficiente de uniformidad (75.97 %) y eficiencia de aplicación (68.35 %), lo cual sugiere un alto potencial para replicarse en diferentes tipos de cultivos y condiciones.
- Debido a las condiciones climáticas del Altiplano caracterizadas por altas temperaturas y velocidades de viento variables se recomienda realizar el riego en horas nocturnas. Esta estrategia busca minimizar las pérdidas de agua por evaporación y reducir el efecto del arrastre del viento sobre las gotas emitidas por el aspersor, mejorando así la eficiencia del riego y la uniformidad en la distribución del agua.
- Se sugiere continuar con estudios e investigaciones sobre el uso de sistemas artesanales de riego por aspersión, especialmente enfocados en diferentes tipos de cultivos y bajo presiones de trabajo más bajas. Esto permitirá identificar configuraciones óptimas que mantengan buena uniformidad y eficiencia hídrica, pero con menores requerimientos energéticos, facilitando su adopción por pequeños productores con recursos limitados.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICA

- Adena. 2009. Manual de buenas prácticas de riego. España. 32 p. Disponible en https://awsassets.wwf.es/downloads/buenas_practicas_de_riego.pdf
- AguaLibre. 2023. Análisis de parámetros de calidad de agua. Consultado 10 de enero de 2025. Disponible en <https://www.aqualibre.cl/la-importancia-de-la-medicion-del-nivel-y-temperatura-del-agua>
- Allen, J. 2017. Sistema de riego tecnificado en el cultivo de VID. (Vitis vinifera L.). Tesis Tesis Ing. Agr. Lima, Perú. Universidad Nacional la Molina Facultad de Agronomía. 62 p.
- Ambientalys, s. f. Análisis de parámetros en aguas de consumo: el pH. Consultado 20 de enero de 2025. Disponible en <https://www.ambientalys.com/analisis-aguas-consumo-ph>
- Analitiks, s. f. Análisis de parámetros de calidad de agua. Consultado 20 de enero. Disponible en <https://www.analitiks.cl/parametros-new/>
- Andina, C. 2005. Manual de estadísticas ambientales. CAN: Santa Cruz de la Sierra. 31 - 45 p.
- Banco Mundial. 2022. El agua en la agricultura. Banco mundial. . Disponible en <https://www.bancomundial.org/es/topic/water-in-agriculture>
- Board, C. S. W. R. C. 2024. CE y salinidad, folleto informativo. ¿Qué es la salinidad? Consultado 20 enero. Disponible en https://Waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3130sp.pdf
- Chavez, H. 2011. Comportamiento hidráulico del aspersor artesanal para la distribución optima del riego en regiones de valle. Tesis Ing. Agr. LA PAZ - BOLIVIA Universidad Mayor De San Andres. 77 p. Disponible en <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/8077/TD-1647.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Chipana, R. 1996. Principios de Riego y Drenaje. Docente de la Facultad de Agronomía. La Paz, BO, IRTEC. UMSA. 202 p.
- Condori, P. 2021. Propuesta de riego tecnificado para la comunidad de corpuma del municipio Jesus de machaca del departamento de la paz. Tesis Ing Agr. El Alto-Bolivia. Universidad Pública De El Alto. 144 p.
- Fluence. 2024. Solidos Disueltos y Purificación del Agua, ¿Determinación de solidos totales disueltos? Consultado 20 enero 2025. Disponible en <https://www.fluencecorp.com/es/purificacion-de-agua-y-solidos-disueltos/>

- Guarachi, G. 2013. Evaluación técnica de aspersores caseros de baja presión en la estación experimental de kallutaca. Tesis Ing Agr. El Alto - Bolivia. Universidad Pública De El Alto. 162 p.
- Higiene Ambiental. 2018. ¿Que nos dice la turbidez sobre la calidad de agua? Disponible en <https://higieneambiental.com/aire-agua-y-legionella/que-nos-dice-la-turbidez-sobre-la-calidad-del-agua-potable#:~:text=A%20mayor%20turbiedad%2C%20mayor%20particulado,el%20organismo%20diana%20a%20eliminar>
- Hurtado, L. 2010. Fundamentos del riego. Profesor principal del Departamento Académico de Suelos. UNALM. Consultado 10 de enero. Disponible en http://agricola-unl.com/pdf/Fundamentos_Riego.pdf
- Iagua. 2024. Riego por aspersión: Características de riego por aspersión Consultado 25 enero 2025. Disponible en <https://www.iagua.es/respuestas/como-funciona-riego-aspersion?amp>
- ICO. 2019. Sistemas de Riego Tecnificado. Vallegrande, Bolivia. Disponible en https://ico-bo.org/wp-content/uploads/2019/09/Cartilla_Riego_Tecnificado_GAP_web.pdf
- INIA. 2001. CENTRO REGIONAL DE INVESTIGACION CARILLANCA Comisión Nacional de Riego. "Riego por aspersión. Chile. Gobierno de Chile. Ministerio de Agricultura. 48 p.
- Moñocopa, P. 2010. Adaptabilidad de veinte cinco líneas de trigo harinero (*Triticum aestivum*) en condiciones de altiplano norte, del departamento de La Paz. Tesis esis Ing. Agr. El Alto, Bolivia. Universidad Pública de El Alto. 100 p.
- Moya, J. 2009. Riego localizado y fertirrigacion Mundi-Prensa ed. Ediciones Mundi-Prensa, 23 - 64 p.
- Ochoa, R. 2016. Diseños experimentales. 2 ed. La Paz, Bolivia,
- Peñafiel, M. 2020. Evaluación de la uniformidad de aplicación acorde al comportamiento hidráulico en el riego por aspersión empleado al cultivo de papa (*Solanum tuberosum*), en la Estación Experimental de Cota Cota. Tesis Tesis Ing. Agr. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés. 121 p.
- Peralta, J. y. S., C. 2001. Riego por aspersión. Chile. Disponible en <https://hdl.handle.net/20.500.14001/40180>
- Pereira, L., S. 2004. El Riego y sus Tecnologías. 1era edición en castellano ed. España, Ediciones Europa-América en Lisboa. 296 p.
- Poma, I. 2014. Estudio del comportamiento hidráulico relacionado a la uniformidad de aplicación mediante el método de riego por aspersión en la estación experimental de Choquenaira. Tesis Ing. Agr. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés. 126 p. Disponible en <https://es.scribd.com/document/494675214/312379749-Pizarro-Riego-Localizados-de-Alta-Frecuencia-1-Copia>

- Quiape, C. Q., E. y Mamani, E. 2020. Evaluación agronómica de una variedad de pimentón (*Capsicum annuum* L.) en tres densidades de siembra en ambientes atemperados en la Localidad de Kallutaca. El Alto, Bolivia. 58 p. Disponible en https://www.google.com/search?q=%3A%2F%2Fefaidnbmnnnibpcajpcgclefindmka%2Fhttps%3A%2F%2Fdicyt.upea.bo%2Fassets%2Feventos_cien%2Fevento_1634310242.pdf&sca_esv=94c74ca6f52d2cb2&sxsrf=AHTn8zo3G4LuByewVK1aQzTFG3sTe-xhJQ%3A1743515080370&ei=yO3rZ7-uFvOe1sQP-fK4oQ8&ved=0ahUKEwi_spro-7aMAxVzj5UCHXk5LvQQ4dUDCBA&uact=5&eq=%3A%2F%2Fefaidnbmnnnibpcajpcgclefindmka%2Fhttps%3A%2F%2Fdicyt.upea.bo%2Fassets%2Feventos_cien%2Fevento_1634310242.pdf&gs_lp=Egxnd3Mtd2l6LXNlcnAiYzovL2VmYWlkbmJtbm5uaWJwY2FqcGNnbGNsZWZpbmRta2FqL2h0dHBzOi8vZGljeXQudXBIYS5iby9hc3NldHMvZXZlbnRvc19jaWVuL2V2ZW50b18xNjM0MzEwMjQyLnBkZkgAUABYAHAeACQAQCYAQCqAQCqAQC4AQPIAQD4AQGYAgCgAgCYAwCSBwCgBwA&scient=gws-wiz-serp
- Regante., S. d. A. 2010. Procedimiento para la realización de evaluaciones en riego por aspersión,. 11 p. Disponible en <https://core.ac.uk/download/pdf/48515406.pdf>
- Seafood, G. 2024. Conductividad eléctrica del agua, ¿Qué es conductividad eléctrica? Consultado 25 enero 2025. Disponible en <https://GlobalSeafood.org/advocate/conductividad-electrica-del-agua-parte.1/>
- SENAMHI. 2008. Departamento de suministro de información hidrometeorológico. Estación Kallutaca (UPEA). La Paz. Serie Climática: 1967-73/77-08.
- Serrano, G. 2012. Caracterización y construcción de aspersores rotatorios de reacción. La Paz, Bolivia. 8 p.
- Sevilla., U. d. 2008. Hidráulica y Riegos. Consultado 10 de enero. Disponible en https://fama.us.es/discovery/fulldisplay/alma991001470399704987/34CBUA_US:VU1
- SIAR. 1999. (SERVICIO INTEGRADO DE AGROCLIMATOLOGÍA Y RIEGO). Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Talca. ed. Chile, Programación del Riego. 20 p.
- Tarjuelo, J. 1999. El riego por aspersión y su tecnología. Ediciones Mundi - Prensa ed. España, 2 da edición. 567 p.
- Tarjuelo, J. 2005. El Riego por Aspersión y su Tecnología. Ediciones Mundi - Presa ed. España, 3er edición. 585 p.
- Villafáfila, E. W., F. 2007. Horticultura. "Manual técnico". Curso a distancia. Ministerio del Agro y la Producción. Posadas .Misiones.
- Cisneros. 2019. Apuntes de la Materia de Riego y Drenaje Tesis Posgrado. Peru. Universidad Nacional Agraria La Molina. 126 p. Disponible en https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-agraria-la-molina/fundamentos-del-riego/apuntes-de-riego-y-drenaje-v/11412559?utm_source=chatgpt.com

- Alarcon.E. 2024. Evaluacion Tecnica de Cintas de Aspersión en la Estación Experimental Kallutaca. Tesis Tesis de Grado. El Alto-Bolivia Universidad Publica de El Alto. 148 p.
- Engine. 2020. Información Climática Equilibrio Hídrico(MMAYA). Bolivia Disponible en <https://ee-gmets.projects.earthengine.app/view/visorvicbhv01>
- Gonzales.J. 2011. Estado de Arte del Conocimiento Sobre Adaptación al Cambio Climático Agua y Seguridad Alimentaria. Place Published, 150. Disponible en https://es.slideshare.net/slideshow/adaptacin-al-cambio-climtico-en-bolivia/44036498?utm_source=chatgpt.com#1
- Guarachi.E. 2024. Evaluación de la Calidad de Fuentes de Agua de Origen Natural e Implementados, Para el Riego Agrícola en Kallutaca Place Published, 75.
- PotalFruticola. 2016. Como Medir la Uniformidad de Riego en los Cultivos Bolivia. Disponible en https://www.portalfruticola.com/noticias/2016/03/04/como-medir-la-uniformidad-de-riego-en-los-cultivos/?utm_source=chatgpt.com

8. Anexos

Anexo 1. apertura de la fuente de agua y caseta de bombeo



Anexo 2. Instalación de la tubería principal de 2" plg 67.40m desde la caseta de control hasta el hidrante de reparto.



Anexo 3. Instalación de la tubería secundaria y las tuberías de aspersión (Artesanal)



Anexo 4. Instalación de los pluviómetros 1x1 en el área de evaluación.



Anexo 5. Pruebas hidráulicas antes de realizar las evaluaciones



Anexo 6. Medición del volumen recogido en los pluviómetros mediante probetas graduadas



Anexo 7. Medición del caudal desfogado de las tuberías de aspersión (Artesanales)



Anexo 8. Recolección de muestra de agua para llevar al laboratorio

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES

Facultad de Ingeniería

Carrera de Ingeniería Civil

IIS

Instituto de Ingeniería Sanitaria y Ambiental

LABORATORIO

IIS-FORM-002


Código IIS Nº: 0642/2024

RESULTADO DE ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE AGUA

Institución solicitante: Guiber Guarachi Condori

Dirección: Calle Adolfo Ballivian Nro. 1824. Zona 2 de febrero, Ciudad de El Alto

Nº de muestra: M1



DATOS DE MUESTREO

DATOS DE RECEPCIÓN

Responsable: Erwin Alarcón Copa

Fecha: 2024/10/15

Punto: Pozo excavado, Prof. 3 m

Lugar: Centro Experimental Kallutaca

Fuente: Agua subterránea

Localidad: Kallutaca

Municipio: Laja

Provincia: Los Andes Departamento: La Paz

Fecha: 2024/10/15

Volumen de muestra: 2 litros

Tipo de recipiente(s): Botella de plástico

Estado de la muestra: Refrigerada (Si/No): No

Preservada (Si/No): No

Temperatura: 17,7 °C

Fecha de análisis: Del 2024/10/15 al 2024/10/18

Recibido por: Ing. Gregorio Carvajal Sumi

Observaciones:

La recolección de la muestra, transporte y datos de muestreo, son responsabilidad del solicitante.

ANÁLISIS QUÍMICO

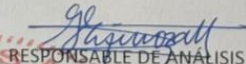
Nº	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADO
1	pH (T=25,0 °C)	SM 4500-H ⁺ B	---	8,62
2	CONDUCTIVIDAD (25 °C)	SM 2510 B	µS/cm	147,90
3	CALCIO	SM 3500-Ca D	mg Ca ²⁺ /l	11,24
4	MAGNESIO	SM 3500-Mg E	mg Mg ²⁺ /l	5,37
5	SODIO	SM 3500-Na B	mg Na/l	11,17
6	SAR	Cálculo	---	0,69 (*)
7	TIPO DE AGUA	Cálculo	---	C ₁ S ₁ (*)

OBSERVACIONES:

(*) C₁.- Agua de baja salinidad. Con estas aguas se puede regar la mayoría de los suelos y cultivos, sin temor a perjuicios salinos. El lavado natural es suficiente y sólo en los terrenos de muy baja permeabilidad hay que realizar trabajos especiales.

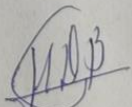
(*) S₁.- Bajo contenido en sodio. Puede usarse sin que sean de esperar serios perjuicios en el desarrollo vegetal. Sólo plantas muy sensibles, como los frutales de hueso y los aguacates son dañados.

La Paz, 21 de octubre de 2024



RESPONSABLE DE ANÁLISIS

Lic. Graciela Espinoza Huanca



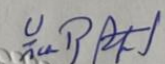
VºBº DIRECTOR

Dipl. Ing. José A. Díaz Benavente

DIRECTOR


Instituto de Ing. Sanitaria y Ambiental

UMSA



RESPONSABLE DE LABORATORIO


Ing. Edwin Astorga Sanjinés



U M S A

INSTITUTO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL

LA PAZ • BOLIVIA



I I S

LA PAZ • BOLIVIA

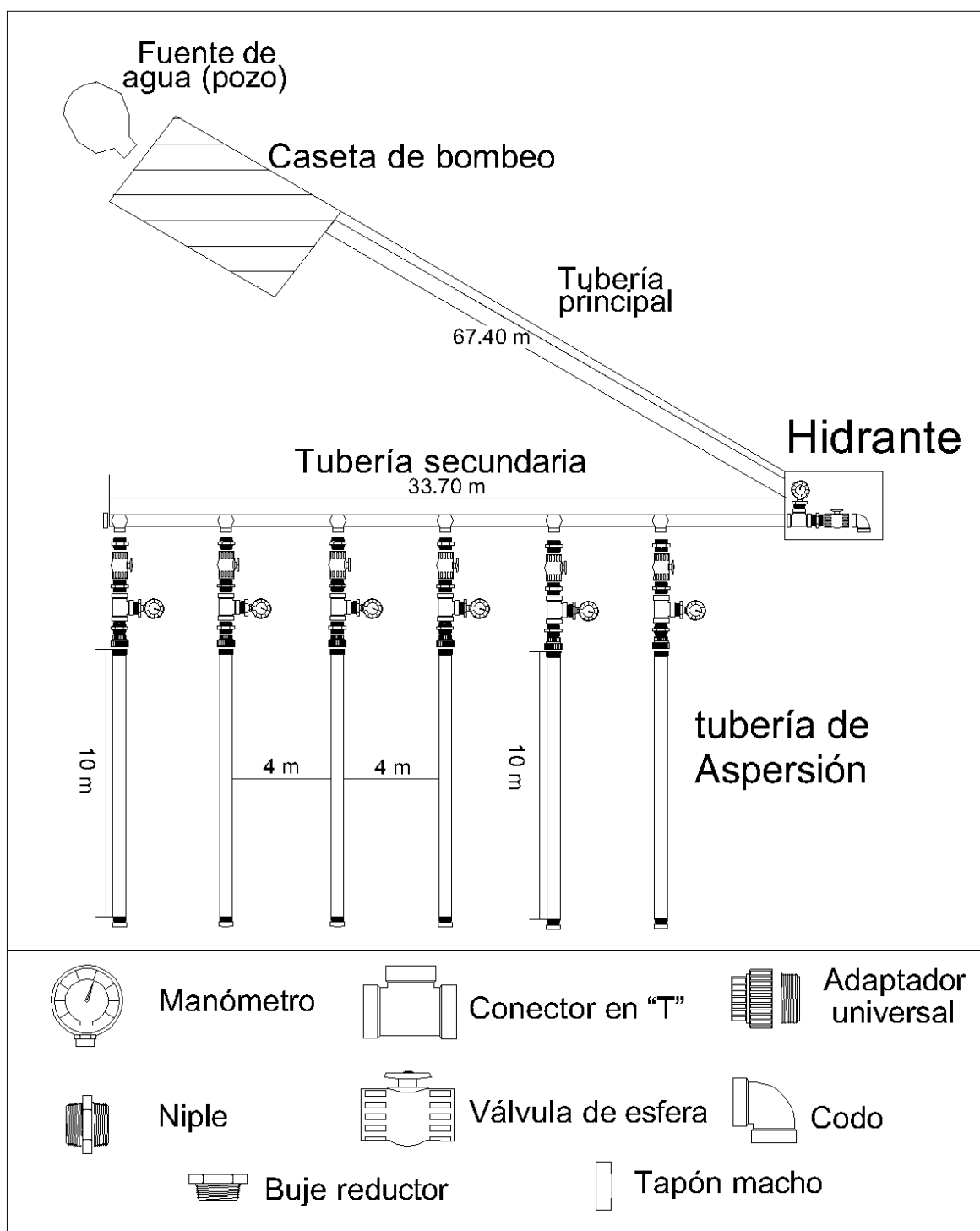
Av. Villazón 1995 • Casilla 12958

Teléf. 2-441519 • **Página 1 de 1**

Anexo 9. Medición del alcance de riego a diferentes presiones.



Anexo 10. Croquis de la instalacion del sistema de riego en campo, con sus respectivas dimensiones.



**Anexo 11. Información climatológica de los meses de octubre, noviembre de 2024 y
enero de 2025 de la estación Experimental Kallutaca en la Universidad
Pública de El Alto**

MONTHLY CLIMATOLOGICAL SUMMARY for OCT. 2024

NAME: Kallutucadic2024 CITY: STATE:

ELEV: 0 m LAT: LONG

TEMPERATURE (°C) , RAIN (mm) , WIND SPEED (m/s)

DAY	MEAN TEMP	HIGH	TIME	LOW	TIME	HEAT DEG DAYS	COOL DEG DAYS	RAIN	AVG WIND SPEED	HIGH	TIME	DOM DIR
1	9.9	20.2	16:00	-0.4	05:00	8.6	0.1	0.0	0.6	7.2	12:00	ENE
2	11.7	21.4	14:00	1.2	04:00	6.9	0.3	0.0	0.9	8.5	16:00	SE
3	10.3	17.5	16:00	5.1	00:00	8.0	0.0	0.0	1.0	8.5	14:00	ENE
4	9.9	19.7	15:00	0.1	07:00	8.5	0.1	0.0	1.8	11.2	14:00	S
5	8.5	18.8	15:00	-1.3	04:00	9.8	0.0	0.0	0.9	8.5	15:00	S
6	8.2	17.7	13:00	-2.6	06:00	10.1	0.0	0.0	1.1	10.7	13:00	E
7	9.0	18.4	14:00	-1.7	05:00	9.3	0.0	0.0	0.8	9.8	17:00	E
8	8.7	17.8	13:00	1.7	06:00	9.7	0.0	15.0	1.5	11.2	13:00	NE
9	9.4	16.9	16:00	3.1	06:00	8.9	0.0	0.3	1.3	10.3	15:00	ENE
10	9.1	17.8	16:00	0.5	07:00	9.2	0.0	0.3	1.7	10.3	12:00	ENE
11	8.8	19.2	16:00	-3.7	06:00	9.5	0.0	0.0	0.8	10.3	16:00	ENE
12	8.3	17.4	13:00	1.8	06:00	10.1	0.0	0.0	1.2	16.5	15:00	S
13	8.4	16.4	14:00	1.1	04:00	9.9	0.0	0.0	1.0	9.8	11:00	W
14	8.4	17.4	13:00	0.3	03:00	9.9	0.0	5.3	1.0	8.5	15:00	W
15	9.5	18.1	13:00	3.1	06:00	8.8	0.0	0.5	1.2	10.7	16:00	SW
16	9.3	16.8	15:00	2.9	06:00	9.1	0.0	8.9	1.4	10.7	19:00	SSW
17	9.7	18.6	15:00	0.7	06:00	8.7	0.0	0.3	0.6	7.6	15:00	NE
18	10.3	18.8	14:00	1.8	05:00	8.1	0.0	0.0	0.7	7.2	17:00	E
19	10.3	19.4	15:00	1.0	06:00	8.1	0.1	0.3	0.9	8.5	15:00	NW
20	11.0	20.4	16:00	0.1	06:00	7.6	0.3	0.0	1.0	10.3	15:00	E
21	11.6	20.8	15:00	1.9	05:00	7.0	0.2	0.0	0.8	8.5	15:00	E
22	10.4	17.7	16:00	2.9	04:00	7.9	0.0	0.0	0.9	9.4	13:00	N
23	11.9	19.1	13:00	5.5	07:00	6.4	0.0	0.0	1.0	10.3	13:00	N
24	12.4	20.7	15:00	3.3	05:00	6.3	0.4	0.0	1.1	9.8	17:00	WNW
25	11.4	20.7	13:00	2.9	05:00	7.1	0.1	0.0	0.8	7.6	15:00	ESE
26	10.1	18.3	15:00	5.6	21:00	8.3	0.0	7.4	0.7	12.5	20:00	SSW
27	10.0	17.2	16:00	3.6	06:00	8.3	0.0	0.0	1.3	7.6	15:00	SSW
28	9.7	16.0	12:00	2.5	04:00	8.6	0.0	1.0	1.8	11.2	14:00	WSW
29	10.1	16.9	12:00	5.2	03:00	8.2	0.0	0.0	1.5	11.6	18:00	SW
30	10.2	16.7	14:00	4.7	06:00	8.2	0.0	8.4	0.9	9.4	20:00	SSW
31	10.7	19.7	17:00	2.7	06:00	7.7	0.0	2.8	0.7	8.5	18:00	WNW
	9.9	21.4	2	-3.7	11	262.9	1.5	50.3	1.1	16.5	12	S

Max >= 32.0: 0

Max <= 0.0: 0

Min <= 0.0: 5

Min <= -18.0: 0

Max Rain: 14.99 ON 08/10/24

Days of Rain: 12 (>.2 mm) 6 (> 2 mm) 0 (> 20 mm)

Heat Base : 18.3 Cool Base: 18.3 Method : Intergration

MONTHLY CLIMATOLOGICAL SUMMARY for NOV. 2024

NAME: Kallutucadic2024 CITY: STATE:
 ELEV: 0 m LAT: LONG

TEMPERATURE (°C) , RAIN (mm) , WIND SPEED (m/s)

DAY	MEAN TEMP	HIGH	TIME	LOW	TIME	HEAT DEG DAYS	COOL DEG DAYS	RAIN	AVG WIND SPEED	HIGH	TIME	DOM DIR
1	10.2	19.4	17:00	0.6	05:00	8.2	0.0	0.3	0.4	6.3	16:00	WNW
2	11.4	20.3	16:00	1.2	05:00	7.2	0.2	0.0	0.8	6.7	12:00	SW
3	9.7	16.8	14:00	2.8	07:00	8.3	0.0	0.3	1.0	10.7	16:00	SW
4	10.2	19.3	16:00	2.9	04:00	8.2	0.0	0.8	1.0	13.4	15:00	SE
5	10.3	18.7	14:00	2.4	05:00	8.1	0.0	0.0	0.4	10.7	19:00	ENE
6	11.4	18.3	17:00	6.4	08:00	6.9	0.0	0.0	0.7	6.3	15:00	SW
7	11.7	19.7	16:00	2.3	07:00	6.7	0.1	0.3	2.0	13.9	15:00	SW
8	11.7	19.3	15:00	3.8	04:00	6.7	0.0	0.0	0.8	15.2	16:00	SW
9	10.4	18.4	17:00	1.1	07:00	7.9	0.0	0.0	1.1	14.3	15:00	SSW
10	11.3	20.7	16:00	0.5	07:00	7.3	0.3	0.0	1.3	9.4	17:00	SW
11	12.1	20.2	16:00	3.5	06:00	6.4	0.2	0.0	1.1	14.3	16:00	SSE
12	11.3	18.2	14:00	6.1	03:00	7.1	0.0	0.5	1.5	9.4	17:00	SW
13	11.2	17.6	16:00	6.6	06:00	7.2	0.0	0.8	1.6	10.7	14:00	ENE
14	10.6	18.4	14:00	2.4	07:00	7.8	0.0	0.3	0.9	6.7	16:00	ENE
15	10.3	16.4	14:00	5.1	07:00	8.1	0.0	0.0	1.9	6.7	14:00	ESE
16	10.5	17.9	14:00	5.2	03:00	7.8	0.0	2.5	1.3	8.5	15:00	SW
17	9.1	14.4	13:00	6.6	04:00	9.3	0.0	2.3	0.9	6.7	14:00	SSW
18	8.9	14.7	12:00	5.8	07:00	9.4	0.0	4.3	1.0	8.0	13:00	WSW
19	8.8	13.5	14:00	4.8	06:00	9.6	0.0	20.3	0.5	5.4	14:00	W
20	9.5	13.5	12:00	6.7	04:00	8.8	0.0	0.8	1.0	6.7	16:00	ESE
21	9.3	15.1	16:00	6.6	23:00	9.0	0.0	5.8	1.5	13.0	18:00	W
22	9.3	14.9	14:00	6.4	03:00	9.1	0.0	0.0	1.4	8.5	18:00	SW
23	10.1	16.3	14:00	7.0	06:00	8.2	0.0	3.0	1.9	9.8	15:00	SW
24	10.4	17.0	19:00	6.4	07:00	7.9	0.0	2.8	1.1	7.2	13:00	SW
25	11.5	19.5	17:00	4.7	06:00	6.9	0.1	0.3	0.5	5.8	17:00	SSE
26	11.7	19.4	16:00	6.5	02:00	6.6	0.0	0.3	1.9	8.0	16:00	E
27	11.2	18.9	17:00	7.4	07:00	7.1	0.0	1.8	1.3	15.6	19:00	NE
28	10.7	15.0	15:00	6.7	00:00	7.7	0.0	6.3	0.4	7.2	16:00	NNW
29	10.7	16.8	17:00	5.0	06:00	7.6	0.0	0.0	1.3	12.1	16:00	SSW
30	10.3	16.9	13:00	5.3	06:00	8.1	0.0	2.5	0.9	9.4	20:00	ENE
<hr/>												
	10.5	20.7	10	0.5	10	234.9	0.8	56.1	1.1	15.6	27	SW

Max >= 32.0: 0

Max <= 0.0: 0

Min <= 0.0: 5

Min <= -18.0: 0

Max Rain: 20.32 ON 19/10/24

Days of Rain: 12 (>.2 mm) 9 (> 2 mm) 1 (> 20 mm)

Heat Base : 18.3 Cool Base: 18.3 Method : Intergration

MONTHLY CLIMATOLOGICAL SUMMARY for JAN. 2025

NAME: Kallutucadic2024 CITY: STATE:
 ELEV: 0 m LAT: LONG

TEMPERATURE (°C) , RAIN (mm), WIND SPEED (m/s)

DAY	MEAN TEMP	HIGH	TIME	LOW	TIME	HEAT DEG DAYS	COOL DEG DAYS	RAIN	AVG WIND SPEED	HIGH	TIME	DOM DIR
1	10.6	18.8	16:00	2.4	06:00	7.8	0.0	2.5	0.6	7.6	18:00	ESE
2	10.5	17.4	17:00	5.2	03:00	7.8	0.0	0.0	0.9	15.6	16:00	NE
3	8.9	16.0	17:00	3.8	05:00	9.4	0.0	5.1	0.8	7.6	15:00	NW
4	8.5	14.3	15:00	6.4	05:00	9.8	0.0	5.1	0.5	9.4	15:00	NW
5	8.3	13.8	16:00	5.7	07:00	10.0	0.0	4.6	1.1	6.3	12:00	WNW
6	9.4	14.3	13:00	6.7	07:00	8.9	0.0	17.5	0.8	7.2	14:00	E
7	8.8	13.8	16:00	5.6	06:00	9.5	0.0	15.2	0.7	5.8	17:00	SSE
8	8.8	12.5	15:00	6.3	07:00	9.6	0.0	5.1	1.7	6.3	12:00	SW
9	9.0	14.4	14:00	6.1	04:00	9.3	0.0	3.8	1.0	6.7	15:00	NE
10	8.0	12.4	14:00	3.7	08:00	10.3	0.0	4.1	0.8	4.9	12:00	ESE
11	9.1	15.9	14:00	5.9	07:00	9.3	0.0	3.8	1.3	7.6	15:00	WNW
12	8.9	16.5	15:00	3.4	07:00	9.4	0.0	3.6	0.8	6.7	15:00	S
13	9.9	17.2	18:00	1.7	06:00	8.4	0.0	3.3	0.9	7.6	16:00	ENE
14	9.7	16.6	18:00	1.6	06:00	8.6	0.0	6.6	0.6	6.3	17:00	W
15	9.7	17.2	18:00	1.3	07:00	8.6	0.0	1.0	0.9	6.3	18:00	W
16	9.0	13.9	14:00	3.4	06:00	9.3	0.0	0.3	0.8	7.6	15:00	SSW
17	9.3	14.3	19:00	5.6	07:00	9.0	0.0	3.6	0.5	7.6	13:00	SW
18	9.6	15.7	15:00	5.7	04:00	8.7	0.0	7.9	1.2	9.4	15:00	SW
19	9.1	14.5	17:00	6.3	10:00	9.3	0.0	6.3	1.0	9.8	15:00	S
20	9.2	14.2	16:00	6.5	02:00	9.1	0.0	2.8	1.4	8.9	15:00	ENE
21	9.7	15.9	16:00	6.7	06:00	8.6	0.0	0.5	0.3	5.8	16:00	ENE
22	8.8	15.1	15:00	5.7	06:00	9.6	0.0	6.3	0.4	6.7	15:00	ENE
23	6.8	12.2	15:00	4.3	09:00	11.5	0.0	33.3	0.6	6.3	16:00	ESE
24	8.9	14.0	12:00	5.6	05:00	9.4	0.0	3.6	0.3	5.8	16:00	SW
25	9.6	16.1	16:00	3.9	08:00	8.8	0.0	0.8	0.4	7.6	12:00	SSW
26	10.1	15.4	18:00	5.8	07:00	8.2	0.0	10.4	1.0	8.5	15:00	WNW
27	9.8	15.4	14:00	7.2	07:00	8.5	0.0	6.9	0.4	5.8	15:00	S
28	9.0	14.8	14:00	5.2	16:00	9.3	0.0	14.5	0.6	6.7	12:00	WSW
29	9.8	15.1	17:00	6.3	06:00	8.5	0.0	0.3	1.2	11.2	14:00	W
30	8.9	13.8	14:00	6.3	03:00	9.4	0.0	6.6	1.2	7.2	13:00	SW
31	9.4	16.4	14:00	5.2	06:00	8.9	0.0	0.3	1.3	8.9	15:00	SW
	9.2	18.8	1	1.3	15	282.9	0.0	185.4	0.9	15.6	2	SW

Max >= 32.0: 0

Max <= 0.0: 0

Min <= 0.0: 5

Min <= -18.0: 0

Max Rain: 33.27 ON 23/01/25

Days of Rain: 30 (>.2 mm) 24 (> 2 mm) 1 (> 20 mm)

Heat Base : 18.3 Cool Base: 18.3 Method : Intergration

Anexo 12. Resultados Obtenidos del Tratamiento I y sus 5 pruebas de parametros de coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU %) y Eficiencia de aplicación (Ea %).

N°	ml	xi-Xmedia
1	275	479,25
2	290	464,25
3	325	429,25
4	355	399,25
5	375	379,25
6	390	364,25
7	390	364,25
8	400	354,25
9	410	344,25
10	450	304,25
11	450	304,25
12	500	254,25
13	550	204,25
14	590	164,25
15	630	124,25
16	700	54,25
17	700	54,25
18	710	44,25
19	750	4,25
20	755	0,75
21	800	45,75
22	810	55,75
23	810	55,75
24	820	65,75
25	840	85,75
26	860	105,75
27	860	105,75
28	890	135,75
29	890	135,75
30	950	195,75
31	1000	245,75
32	1025	270,75
33	1050	295,75
34	1070	315,75
35	1100	345,75
36	1130	375,75
37	1140	385,75
38	1225	470,75
39	1325	570,75
40	1580	825,75

W(xi-X)/n	254,5375
-----------	----------

N=	40
25%	10

Medias	
total de datos	754,25
del 25% inferior	366

Medidas de distribución	
Coef. Unifor.	66%
Coef. Distru	49%
SC	274%

Max - Min	
Máximo	1580
Mínimo	275
Desv. Standard	314,6417377
Error De Media	99,4984538

N°	ml	xi-Xmedia
1	350	465,50
2	380	435,50
3	400	415,50
4	400	415,50
5	400	415,50
6	425	390,50
7	440	375,50
8	450	365,50
9	450	365,50
10	510	305,50
11	510	305,50
12	520	295,50
13	520	295,50
14	575	240,50
15	610	205,50
16	620	195,50
17	620	195,50
18	630	185,50
19	680	135,50
20	700	115,50
21	710	105,50
22	760	55,50
23	800	15,50
24	800	15,50
25	850	34,50
26	850	34,50
27	870	54,50
28	890	74,50
29	900	84,50
30	1000	184,50
31	1000	184,50
32	1250	434,50
33	1250	434,50
34	1300	484,50
35	1350	534,50
36	1450	634,50
37	1500	684,50
38	1600	784,50
39	1600	784,50
40	1700	884,50

$W(xi-X)/n$	315,6
-------------	-------

N=	40
25%	10

Medias	
total de datos	815,5
del 25% inferior	420,5

Medidas de distribución	
Coef. Unifor.	61%
Coef. Distru	52%
SC	233%

Max - Min	
Máximo	1700
Mínimo	350
Desv. Standard	391,3173019
Error De Media	123,7453962

N°	ml	xi-Xmedia
1	200	477,38
2	250	427,38
3	250	427,38
4	270	407,38
5	300	377,38
6	325	352,38
7	370	307,38
8	375	302,38
9	400	277,38
10	410	267,38
11	410	267,38
12	460	217,38
13	475	202,38
14	490	187,38
15	500	177,38
16	500	177,38
17	550	127,38
18	560	117,38
19	560	117,38
20	570	107,38
21	590	87,38
22	590	87,38
23	630	47,38
24	650	27,38
25	690	12,63
26	700	22,63
27	750	72,63
28	770	92,63
29	800	122,63
30	890	212,63
31	920	242,63
32	970	292,63
33	1130	452,63
34	1150	472,63
35	1170	492,63
36	1200	522,63
37	1260	582,63
38	1280	602,63
39	1350	672,63
40	1380	702,63

$W(xi-X)/n$	278,6
-------------	-------

N=	40
25%	10

Medias	
total de datos	677,375
del 25% inferior	315

Medidas de distribución	
Coef. Unifor.	59%
Coef. Distru	47%
SC	339%

Max - Min	
Máximo	1380
Mínimo	200
Desv. Standard	339,8113872
Error De Media	107,4577958

N°	ml	xi-Xmedia
1	230	401,50
2	250	381,50
3	280	351,50
4	300	331,50
5	310	321,50
6	320	311,50
7	325	306,50
8	330	301,50
9	340	291,50
10	350	281,50
11	360	271,50
12	360	271,50
13	375	256,50
14	390	241,50
15	400	231,50
16	400	231,50
17	410	221,50
18	450	181,50
19	450	181,50
20	510	121,50
21	600	31,50
22	620	11,50
23	650	18,50
24	700	68,50
25	750	118,50
26	760	128,50
27	800	168,50
28	800	168,50
29	800	168,50
30	860	228,50
31	910	278,50
32	910	278,50
33	950	318,50
34	1000	368,50
35	1010	378,50
36	1070	438,50
37	1110	478,50
38	1170	538,50
39	1250	618,50
40	1400	768,50

$W(xi-X)/n$	276,65
-------------	--------

N=	40
25%	10

Medias	
total de datos	631,5
del 25% inferior	303,5

Medidas de distribución	
Coef. Unifor.	56%
Coef. Distru	48%
SC	275%

Max - Min	
Máximo	1400
Mínimo	230
Desv. Standard	319,9423025
Error De Media	101,1746396

w

N°	ml	xi-Xmedia
1	200	444,63
2	205	439,63
3	210	434,63
4	215	429,63
5	250	394,63
6	260	384,63
7	300	344,63
8	360	284,63
9	400	244,63
10	420	224,63
11	430	214,63
12	450	194,63
13	460	184,63
14	470	174,63
15	550	94,63
16	550	94,63
17	600	44,63
18	620	24,63
19	640	4,63
20	650	5,38
21	650	5,38
22	650	5,38
23	650	5,38
24	690	45,38
25	700	55,38
26	700	55,38
27	710	65,38
28	720	75,38
29	760	115,38
30	760	115,38
31	790	145,38
32	860	215,38
33	950	305,38
34	1000	355,38
35	1050	405,38
36	1075	430,38
37	1090	445,38
38	1170	525,38
39	1280	635,38
40	1290	645,38

$W(xi-X)/n$	232,89375
-------------	-----------

N=	40
25%	10

Medias	
total de datos	644,625
del 25% inferior	282

Medidas de distribución	
Coef. Unifor.	64%
Coef. Distru	44%
SC	322%

Max - Min	
Máximo	1290
Mínimo	200
Desv. Standard	300,5686651
Error De Media	95,0481575

N°	ml	xi-Xmedia
1	100	380,25
2	100	380,25
3	120	360,25
4	120	360,25
5	130	350,25
6	140	340,25
7	150	330,25
8	150	330,25
9	150	330,25
10	180	300,25
11	200	280,25
12	220	260,25
13	230	250,25
14	260	220,25
15	270	210,25
16	300	180,25
17	340	140,25
18	350	130,25
19	390	90,25
20	420	60,25
21	420	60,25
22	420	60,25
23	440	40,25
24	490	9,75
25	500	19,75
26	600	119,75
27	610	129,75
28	610	129,75
29	610	129,75
30	610	129,75
31	660	179,75
32	700	219,75
33	700	219,75
34	800	319,75
35	840	359,75
36	900	419,75
37	900	419,75
38	1000	519,75
39	1000	519,75
40	2080	1599,75

$W(xi-X)/n$	272,2875
-------------	----------

N=	40
25%	10

Medias	
total de datos	480,25
del 25% inferior	134

Medidas de distribución	
Coef. Unifor.	43%
Coef. Distru	28%
SC	480%

Max - Min	
Máximo	2080
Mínimo	100
Desv. Standard	375,2092579
Error De Media	118,6515854

N°	ml	xi-Xmedia
1	150	350,13
2	150	350,13
3	200	300,13
4	250	250,13
5	250	250,13
6	260	240,13
7	260	240,13
8	270	230,13
9	280	220,13
10	325	175,13
11	340	160,13
12	360	140,13
13	360	140,13
14	370	130,13
15	390	110,13
16	390	110,13
17	400	100,13
18	400	100,13
19	450	50,13
20	505	4,88
21	550	49,88
22	550	49,88
23	550	49,88
24	590	89,88
25	600	99,88
26	610	109,88
27	620	119,88
28	650	149,88
29	650	149,88
30	650	149,88
31	690	189,88
32	690	189,88
33	700	199,88
34	700	199,88
35	720	219,88
36	725	224,88
37	740	239,88
38	760	259,88
39	900	399,88
40	1000	499,88

$W(xi-X)/n$	182,36875
-------------	-----------

N=	40
25%	10

Medias	
total de datos	500,125
del 25% inferior	239,5

Medidas de distribución	
Coef. Unifor.	64%
Coef. Distru	48%
SC	333%

Max - Min	
Máximo	1000
Mínimo	150
Desv. Standard	211,3190791
Error De Media	66,82496031

N°	ml	xi-Xmedia
1	60	389,25
2	80	369,25
3	90	359,25
4	180	269,25
5	180	269,25
6	220	229,25
7	250	199,25
8	250	199,25
9	260	189,25
10	270	179,25
11	280	169,25
12	300	149,25
13	300	149,25
14	310	139,25
15	320	129,25
16	320	129,25
17	330	119,25
18	340	109,25
19	350	99,25
20	400	49,25
21	400	49,25
22	420	29,25
23	430	19,25
24	460	10,75
25	500	50,75
26	550	100,75
27	560	110,75
28	570	120,75
29	570	120,75
30	570	120,75
31	600	150,75
32	610	160,75
33	610	160,75
34	620	170,75
35	630	180,75
36	840	390,75
37	870	420,75
38	980	530,75
39	980	530,75
40	1110	660,75

$W(xi-X)/n$	199,6375
-------------	----------

N=	40
25%	10

Medias	
total de datos	449,25
del 25% inferior	184

Medidas de distribución	
Coef. Unifor.	56%
Coef. Distru	41%
SC	749%

Max - Min	
Máximo	1110
Mínimo	60
Desv. Standard	251,3898546
Error De Media	79,49645211

N°	ml	xi-Xmedia
1	100	491,63
2	140	451,63
3	225	366,63
4	290	301,63
5	300	291,63
6	340	251,63
7	350	241,63
8	370	221,63
9	390	201,63
10	400	191,63
11	410	181,63
12	410	181,63
13	430	161,63
14	440	151,63
15	470	121,63
16	470	121,63
17	480	111,63
18	490	101,63
19	490	101,63
20	490	101,63
21	530	61,63
22	540	51,63
23	590	1,63
24	620	28,38
25	620	28,38
26	640	48,38
27	650	58,38
28	690	98,38
29	740	148,38
30	750	158,38
31	800	208,38
32	820	228,38
33	850	258,38
34	920	328,38
35	930	338,38
36	950	358,38
37	970	378,38
38	1100	508,38
39	1100	508,38
40	1370	778,38

$W(xi-X)/n$	223,11875
-------------	-----------

N=	40
25%	10

Medias	
total de datos	591,625
del 25% inferior	290,5

Medidas de distribución	
Coef. Unifor.	62%
Coef. Distru	49%
SC	592%

Max - Min	
Máximo	1370
Mínimo	100
Desv. Standard	279,2856903
Error De Media	88,31788992

N°	ml	xi-Xmedia
1	170	439,13
2	170	439,13
3	190	419,13
4	220	389,13
5	225	384,13
6	250	359,13
7	290	319,13
8	300	309,13
9	300	309,13
10	310	299,13
11	390	219,13
12	400	209,13
13	440	169,13
14	440	169,13
15	450	159,13
16	460	149,13
17	500	109,13
18	500	109,13
19	520	89,13
20	540	69,13
21	580	29,13
22	590	19,13
23	630	20,88
24	640	30,88
25	650	40,88
26	680	70,88
27	700	90,88
28	720	110,88
29	780	170,88
30	860	250,88
31	910	300,88
32	1000	390,88
33	1000	390,88
34	1030	420,88
35	1030	420,88
36	1050	440,88
37	1050	440,88
38	1050	440,88
39	1050	440,88
40	1300	690,88

$W(xi-X)/n$	258,2875
-------------	----------

N=	40
25%	10

Medias	
total de datos	609,125
del 25% inferior	242,5

Medidas de distribución	
Coef. Unifor.	58%
Coef. Distru	40%
SC	358%

Max - Min	
Máximo	1300
Mínimo	170
Desv. Standard	309,3373553
Error De Media	97,8210608

N°	ml	xi-Xmedia
1	500	549,43
2	650	399,43
3	700	349,43
4	730	319,43
5	750	299,43
6	750	299,43
7	800	249,43
8	800	249,43
9	800	249,43
10	810	239,43
11	850	199,43
12	850	199,43
13	880	169,43
14	890	159,43
15	960	89,43
16	960	89,43
17	980	69,43
18	997	52,43
19	1020	29,43
20	1025	24,43
21	1025	24,43
22	1035	14,43
23	1070	20,58
24	1100	50,58
25	1120	70,58
26	1125	75,58
27	1200	150,58
28	1230	180,58
29	1240	190,58
30	1265	215,58
31	1280	230,58
32	1310	260,58
33	1325	275,58
34	1330	280,58
35	1360	310,58
36	1400	350,58
37	1405	355,58
38	1450	400,58
39	1450	400,58
40	1555	505,58

$W(xi-X)/n$	216,2675
-------------	----------

N=	40
25%	10

Medias	
total de datos	1049,425
del 25% inferior	729

Medidas de distribución	
Coef. Unifor.	79%
Coef. Distru	69%
SC	210%

Max - Min	
Máximo	1555
Mínimo	500
Desv. Standard	259,0958527
Error De Media	81,93330269

N°	ml	xi-Xmedia
1	500	578,38
2	510	568,38
3	710	368,38
4	720	358,38
5	730	348,38
6	790	288,38
7	800	278,38
8	800	278,38
9	815	263,38
10	850	228,38
11	890	188,38
12	890	188,38
13	900	178,38
14	910	168,38
15	990	88,38
16	1000	78,38
17	1005	73,38
18	1010	68,38
19	1020	58,38
20	1050	28,38
21	1050	28,38
22	1050	28,38
23	1100	21,63
24	1110	31,63
25	1150	71,63
26	1200	121,63
27	1200	121,63
28	1230	151,63
29	1235	156,63
30	1250	171,63
31	1260	181,63
32	1290	211,63
33	1290	211,63
34	1295	216,63
35	1410	331,63
36	1435	356,63
37	1590	511,63
38	1600	521,63
39	1700	621,63
40	1800	721,63

$W(xi-X)/n$	236,7125
-------------	----------

N=	40
25%	10

Medias	
total de datos	1078,375
del 25% inferior	722,5

Medidas de distribución	
Coef. Unifor.	78%
Coef. Distru	67%
SC	216%

Max - Min	
Máximo	1800
Mínimo	500
Desv. Standard	300,6198458
Error De Media	95,06434225

N°	ml	xi-Xmedia
1	790	385,13
2	800	375,13
3	830	345,13
4	850	325,13
5	880	295,13
6	880	295,13
7	900	275,13
8	910	265,13
9	960	215,13
10	960	215,13
11	980	195,13
12	990	185,13
13	995	180,13
14	1005	170,13
15	1005	170,13
16	1010	165,13
17	1015	160,13
18	1020	155,13
19	1030	145,13
20	1110	65,13
21	1115	60,13
22	1120	55,13
23	1150	25,13
24	1180	4,88
25	1200	24,88
26	1200	24,88
27	1240	64,88
28	1280	104,88
29	1300	124,88
30	1320	144,88
31	1360	184,88
32	1440	264,88
33	1510	334,88
34	1520	344,88
35	1590	414,88
36	1630	454,88
37	1680	504,88
38	1700	524,88
39	1700	524,88
40	1850	674,88

$W(xi-X)/n$	236,14375
-------------	-----------

N=	40
25%	10

Medias	
total de datos	1175,125
del 25% inferior	876

Medidas de distribución	
Coef. Unifor.	80%
Coef. Distru	75%
SC	149%

Max - Min	
Máximo	1850
Mínimo	790
Desv. Standard	287,6819101
Error De Media	90,97300776

N°	ml	xi-Xmedia
1	500	661,08
2	790	371,08
3	850	311,08
4	860	301,08
5	870	291,08
6	890	271,08
7	900	261,08
8	920	241,08
9	930	231,08
10	950	211,08
11	950	211,08
12	970	191,08
13	980	181,08
14	995	166,08
15	1008	153,08
16	1010	151,08
17	1020	141,08
18	1020	141,08
19	1020	141,08
20	1100	61,08
21	1115	46,08
22	1130	31,08
23	1150	11,08
24	1225	63,93
25	1230	68,93
26	1230	68,93
27	1245	83,93
28	1250	88,93
29	1305	143,93
30	1305	143,93
31	1330	168,93
32	1350	188,93
33	1420	258,93
34	1430	268,93
35	1505	343,93
36	1560	398,93
37	1710	548,93
38	1740	578,93
39	1830	668,93
40	1850	688,93

$W(xi-X)/n$	238,83625
-------------	-----------

N=	40
25%	10

Medias	
total de datos	1161,075
del 25% inferior	846

Medidas de distribución	
Coef. Unifor.	79%
Coef. Distru	73%
SC	232%

Max - Min	
Máximo	1850
Mínimo	500
Desv. Standard	299,9330171
Error De Media	94,84714795

N°	ml	xi-Xmedia
1	650	517,00
2	700	467,00
3	730	437,00
4	790	377,00
5	800	367,00
6	880	287,00
7	900	267,00
8	900	267,00
9	900	267,00
10	980	187,00
11	990	177,00
12	1000	167,00
13	1000	167,00
14	1000	167,00
15	1005	162,00
16	1005	162,00
17	1010	157,00
18	1020	147,00
19	1030	137,00
20	1100	67,00
21	1110	57,00
22	1180	13,00
23	1200	33,00
24	1200	33,00
25	1210	43,00
26	1240	73,00
27	1280	113,00
28	1300	133,00
29	1320	153,00
30	1360	193,00
31	1440	273,00
32	1505	338,00
33	1505	338,00
34	1510	343,00
35	1530	363,00
36	1620	453,00
37	1630	463,00
38	1700	533,00
39	1700	533,00
40	1750	583,00

$W(xi-X)/n$	250,35
-------------	--------

N=	40
25%	10

Medias	
total de datos	1167
del 25% inferior	823

Medidas de distribución	
Coef. Unifor.	79%
Efic. Aplicacion	71%
SC	180%

Max - Min	
Máximo	1750
Mínimo	650
Desv. Standard	299,8007886
Error De Media	94,80533362

Anexo 13. Resultados obtenidos del parámetro de Coeficiente de uniformidad (CU %) para los 3 tratamientos y en sus diferentes evaluaciones.

Tratamientos	Pruebas	Coeficiente de uniformidad (CU)	velocidad del viento (m/s)
Tratamiento I	Primera	66%	1
Tratamiento I	Segunda	61%	0,7
Tratamiento I	Tercera	59%	1,8
Tratamiento I	Cuarta	56%	1,5
Tratamiento I	Quinta	64%	0,4
Tratamiento II	Primera	43%	2
Tratamiento II	Segunda	64%	0,8
Tratamiento II	Tercera	56%	1,9
Tratamiento II	Cuarta	62%	0,5
Tratamiento II	Quinta	58%	1,9
Tratamiento III	Primera	79%	0,4
Tratamiento III	Segunda	78%	0,6
Tratamiento III	Tercera	80%	0,3
Tratamiento III	Cuarta	79%	0,4
Tratamiento III	Quinta	79%	1

Anexo 14. Resultados obtenidos del parámetro de Eficiencia de aplicación (Ea %) para los 3 tratamientos y en sus diferentes evaluaciones.

Tratamientos	Pruebas	Eficiencia de aplicación (Ea)	velocidad del viento (m/s)
Tratamiento I	Primera	49%	1
Tratamiento I	Segunda	52%	0,7
Tratamiento I	Tercera	47%	1,8
Tratamiento I	Cuarta	48%	1,5
Tratamiento I	Quinta	44%	0,4
Tratamiento II	Primera	28%	2
Tratamiento II	Segunda	48%	0,8
Tratamiento II	Tercera	41%	1,9
Tratamiento II	Cuarta	49%	0,5
Tratamiento II	Quinta	40%	1,9
Tratamiento III	Primera	69%	0,4
Tratamiento III	Segunda	67%	0,6
Tratamiento III	Tercera	75%	0,3
Tratamiento III	Cuarta	73%	0,4
Tratamiento III	Quinta	71%	1

Anexo 15. Presupuesto del sistema de riego por aspersión con la implementación de las tuberías de aspersión (Artesanal).

Descripción	Unidad	Cantidad	P/U (Bs)	Subtotal (Bs)
Motobomba 4.5 H. P	pieza	1	2500	2500
Politubo de 2"	m	68	10	680
Politubo de 1/2"	m	34	10	340
Politubo de 1"	m	60	10	600
Manómetro con glicerina	pieza	6	100	600
Teflón	pieza	30	3	90
Llave universal 2"	pieza	1	80	80
Tubo PVC 50cm 2"	pieza	1	30	30
Reducción buje de 2" a 1/2"	pieza	1	30	30
Unión universal de PVC de 1"	pieza	6	11	66
Unión universal de PVC de 2"	pieza	2	44	88
Tapón macho rosca de PVC de 1"	pieza	6	5	30
Tapón macho rosca de PVC de 1/2"	pieza	1	2,5	2,5
Tapón macho rosca de PVC de 1"	pieza	6	4	24
Llave de paso tipo bola PVC de 1"	pieza	6	26	156
Niple de rosca de PVC de 2"	pieza	4	13	52
Niple de rosca de PVC de 1"	pieza	18	6,5	117
Manguera de succión de 2"	m	6	45	270
T rosca de PVC de 2"	pieza	1	33	33
T rosca de PVC de 1"	pieza	6	10	60
Buje reductor 3/4" por 1/2"	pieza	4	2,5	10
Buje reductor de 1" a 3/4"	pieza	4	3,5	14
Buje reductor 1 y 1/2" a 1"	pieza	1	5,5	5,5
Copla de rosca PVC de 2"	pieza	1	16	16
Abrazadera metálica	pieza	6	8	48
Pluviómetros	pieza	40	5	200
TOTAL				6142