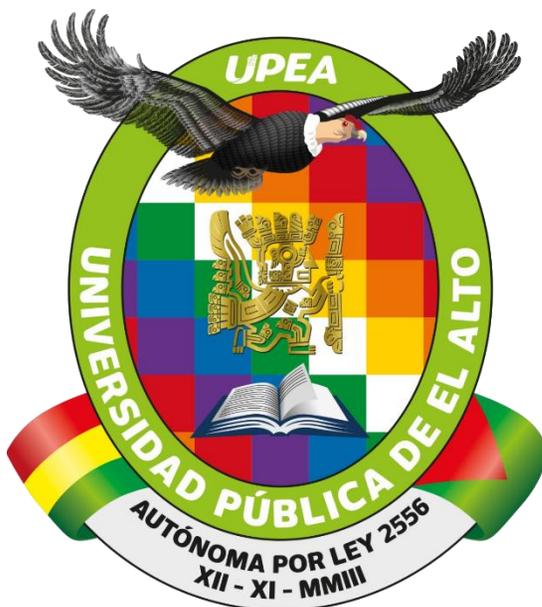


**UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO
ÁREA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS
Y RECURSOS NATURALES
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**



TESIS DE GRADO

**EVALUACIÓN TÉCNICA DE CINTAS DE ASPERSIÓN EN LA
ESTACIÓN EXPERIMENTAL KALLUTACA**

Por:

Erwin Alarcon Copa

EL ALTO – BOLIVIA

Octubre, 2024

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

**EVALUACIÓN TÉCNICA DE CINTAS DE ASPERSIÓN EN LA ESTACIÓN
EXPERIMENTAL KALLUTACA**

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

Erwin Alarcon Copa

Asesores:

Lic. Ing. Guiber Guarachi Condori

M. Sc. Lic. Ing. Ramiro Raúl Ochoa Torrez

Tribunal Revisor:

M. Sc. Lic. Ing. Alfredo Ronald Veizaga Medina

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

Lic. Ing. René Felipe Coronel Cortez

Aprobada

Presidente Tribunal Examinador



DEDICATORIA:

Dedicado a aquellos que buscan incansablemente el conocimiento y a quienes encuentran en la investigación la luz que ilumina el camino del saber.

Dedicado a la perseverancia incansable y al esfuerzo propio, así como a aquellos seres queridos que han sido faros en mi travesía investigativa. Que este trabajo refleje no solo mi dedicación, sino también la colaboración y apoyo incondicional de quienes creen en el poder del conocimiento compartido.

Dedicado a mi madre Hermeregilda Copa Quispe Q.E.D.P., quien siempre creyó en mis capacidades físicas e intelectuales.

Dedicado a mi padre Carlos A. Alarcon Márquez por su apoyo incondicional en mis años de formación.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a todos aquellos que han sido pilares en mi travesía investigativa, a mi propia perseverancia y esfuerzo, así como a mis seres queridos, quienes han sido inquebrantables apoyos. Este trabajo es el fruto de la colaboración y el respaldo, y les dedico mi más sincero agradecimiento por creer en el poder del conocimiento compartido.

Expreso mi profundo agradecimiento:

A la Universidad Pública de El Alto, que es del pueblo alteño que me acogió en aulas de la Carrera de Ingeniería Agronómica y me dio la oportunidad de estudiar para convertirme en profesional.

A mis asesores: M. Sc. Ing. Ramiro Raúl Ochoa Torrez y Lic. Ing. Guiber Guarachi Condori, por el tiempo brindado, observaciones, sugerencias, apoyo incondicional por haber compartido sus conocimientos y experiencias desinteresadamente para la realización y culminación del presente trabajo de investigación.

A mis tribunales revisores: Lic. Ing. René Felipe Coronel Cortez, M. Sc. Lic. Ing. Ciro Raúl Quiape Callocosi y M. Sc. Lic. Ing. Alfredo Ronald Veizaga Medina por las observaciones y aportes que me dieron para mejorar este trabajo.

A todos mis amigos con los que compartí en la Carrera, momentos de debates, viajes y estudio.

CONTENIDO

ÍNDICE DE TEMAS	i
ÍNDICE DE CUADROS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE ANEXOS	x
ABREVIATURAS	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv

ÍNDICE DE TEMAS

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Planteamiento del problema	2
1.3. Justificación	2
1.4. Objetivos	3
1.4.1. Objetivo general	3
1.4.2. Objetivos específicos	3
1.5. Hipótesis	4
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
2.1. Riego en la agricultura	5
2.1.1. Riego agrícola	5
2.1.2. Riego	5
2.2. Sistemas de riego	6
2.3. Método de riego	6
2.4. Clasificación de métodos de riego	7
2.5. Método de riego localizado	7

2.6.	Método de riego por aspersión.....	8
2.6.1.	Ventajas de riego por aspersión.....	9
2.7.	Clasificación de los sistemas de riego por aspersión	10
2.7.1.	Componentes de riego por aspersión.....	11
2.8.	Diseño de riego.....	16
2.8.1.	Diseño agronómico	16
2.8.2.	Diseño hidráulico.....	21
2.9.	Parámetros de evaluación.....	21
2.9.1.	Uniformidad de riego (CU)	22
2.9.2.	Eficiencia de aplicación (Ea)	23
2.10.	Parámetros físicos – químicos	24
3.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
3.1.	Localización	27
3.1.1.	Ubicación Geográfica.....	27
3.1.2.	Características Edafoclimáticas	27
3.2.	Materiales	28
3.2.1.	Equipos de campo y accesorios.....	29
3.2.2.	Materiales para evaluación	29
3.2.3.	De gabinete.....	30
3.3.	Metodología	30
3.3.1.	Fase de instalación	30
3.3.2.	Fase de evaluación	32
3.3.3.	Diseño experimental	36
3.3.4.	Formulación de tratamientos.....	37
3.3.5.	Variables de respuesta	38
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	41
4.1.	Características edafoclimáticas.....	41
4.1.1.	Infiltración de agua en el suelo (V.I.B.).....	41
4.1.2.	Resultados de análisis físico del suelo	42
4.1.3.	Análisis de calidad de agua.....	44

4.1.4.	Factores climáticos	47
4.2.	Características hidráulicas de una cinta de aspersión Golden Spray	48
4.2.1.	Caudal versus presión	48
4.2.2.	Alcance de riego (Ar)	51
4.2.3.	Pluviometría y precipitación	53
4.3.	Principales parámetros de evaluación.....	56
4.3.1.	Coeficiente de uniformidad (CU)	56
4.3.2.	Eficiencia de aplicación (Ea)	84
4.4.	Análisis de comparación de costos de instalación.....	90
5.	CONCLUSIONES	91
6.	RECOMENDACIONES	92
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	93
8.	ANEXOS.....	101

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Características de una cinta de aspersión Golden Spray	14
Cuadro 2.	Velocidad de infiltración básica de suelo de diferentes texturas	20
Cuadro 3.	Valor de la uniformidad de distribución (UD)	23
Cuadro 4.	Eficiencia de aplicación según el método de riego	24
Cuadro 5.	Resultados obtenidos de la textura del suelo	43
Cuadro 6.	Valores de la textura del suelo	43
Cuadro 7.	Análisis de densidad aparente del suelo, correspondientes a resultados que fueron analizados en el laboratorio	44
Cuadro 8.	características físico-químicas del agua para riego	45
Cuadro 9.	El comportamiento de la temperatura en los días evaluados	47
Cuadro 10.	El comportamiento de la velocidad de viento (m/s) en los días evaluados ..	48
Cuadro 11.	Caudal teórico emitido por una cinta de aspersión (l/s) y (l/h) según la presión de trabajo	49
Cuadro 12.	Alcance de riego (m), teórico con efecto del viento y sin el efecto del viento a una determinada presión de funcionamiento.....	51
Cuadro 13.	Relación de alcance de riego teórico.....	52
Cuadro 14.	Pluviometría media de una cinta (mm/h), para un alcance de riego teórico, a una determinada presión de funcionamiento y caudal emitido	54
Cuadro 15.	Análisis de covarianza (ANCOVA) para determinar el coeficiente de uniformidad (CU), influenciado por el viento en 3 tratamientos de las cintas Golden Spray	57
Cuadro 16.	Análisis de varianza (ANOVA), para la Eficiencia de aplicación (Ea), influenciado por el tiempo de riego en los 3 tratamientos.....	85
Cuadro 17.	Resultados obtenidos del parámetro de Eficiencia de aplicación (Ea %), para los 3 tratamientos, en sus diferentes evaluaciones, calculados mediante la Lamina promedio del CI (Cuarto intermedio) sobre lamina promedio aplicada *100	

Cuadro 18. Prueba de respaldo a una presión inferior.....	89
Cuadro 19. Diferencia de costos (inversión inicial) para la implementación de un aspersor Mini-Wobbler y las cintas de aspersión Golden Spray, con los materiales primordiales, dentro del sistema de riego.....	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de riego por aspersión	11
Figura 2. Cintas de aspersión Golden Spray	15
Figura 3. Ubicación geográfica (Earth, 2023).....	27
Figura 4. Instalación de collarines en la tubería principal.....	32
Figura 5. Acondicionamiento del sistema de riego.....	32
Figura 6. Prueba de infiltración, por el método de doble cilindro.....	33
Figura 7. Triangulo textural.....	34
Figura 8. Curva de velocidad de infiltración (cm/hr), obtenida en el área de ensayo.....	41
Figura 9. Curva de lámina infiltrada (cm), obtenida en el área de ensayo.....	42
Figura 10. Curva caudal versus presión (Q vs P), obtenido en campo mediante el método volumétrico para la cinta de aspersión	49
Figura 11. Curva de alcance de riego media de la cinta aspersión para un alcance de riego obtenido en relación a la presión de funcionamiento (Bar)	53
Figura 12. Curva de pluviometría media de la cinta aspersión para un alcance de riego obtenido en relación a la presión de funcionamiento (Bar).....	55
Figura 13. Coeficiente de uniformidad (%) para tiempos de aplicación.....	58
Figura 14. Representación tridimensional de la pluviometría (mm), de 1 m x 1m, resultante del solapamiento 2 cintas de aspersión Golden Spray, en una distancia de 4 metros de cinta a cinta, obteniendo un Coeficiente de uniformidad (CU) de 61%, a una velocidad del viento de 1.6 m/s en un tiempo de aplicación de 1 hora	59
Figura 15. Visualización del área evaluada, de 1 m x 1 m, señalando las zonas con mayor y menor altura de agua aplicada (mm), obteniendo un CU de 61%, a una velocidad del viento de 1.6 m/s en un tiempo de aplicación de 1 hora	60

- Figura 16. Representación tridimensional de la pluviometría (mm), de 1 m x 1 m, resultante del solapamiento 2 cintas de aspersion, en una distancia de 4 metros de cinta a cinta, obteniendo un CU de 60 %, a una velocidad del viento de 1,6 m/s en un tiempo de aplicación de 1 hora 62
- Figura 17. Visualización del área evaluada, de 1 m x 1 m, señalando las zonas con mayor y menor altura de agua aplicada (mm), obteniendo un CU de 60%, a una velocidad del viento de 1,6 m/s en un tiempo de aplicación de 1 hora 63
- Figura 18. Representación tridimensional de la pluviometría (mm), de 1 m x 1 m, resultante del solapamiento 2 cintas de aspersion, en una distancia de 4 metros de cinta a cinta, obteniendo un CU de 70%, a una velocidad del viento de 0.7 m/s en un tiempo aplicado de 2 horas 64
- Figura 19. Visualización del área evaluada, de 1 m x 1 m, señalando las zonas con mayor y menor altura de agua aplicada (mm), obteniendo un CU de 70%, a una velocidad del viento de 0.7 m/s en un tiempo de aplicación de 2 horas 65
- Figura 20. Representación tridimensional de la pluviometría (mm), de 1 m x 1 m, resultante del solapamiento 2 cintas de aspersion, en una distancia de 4 metros de cinta a cinta, obteniendo un CU de 76%, a una velocidad del viento de 0.7 m/s en un tiempo de aplicación de 2 horas 66
- Figura 21. Visualización del área evaluada, de 1 m x 1 m, señalando las zonas con mayor y menor altura de agua aplicada (mm), obteniendo un CU de 76%, a una velocidad del viento de 0.7 m/s en un tiempo de aplicación de 2 horas 67
- Figura 22. Representación tridimensional de la pluviometría (mm), de 1 m x 1 m, resultante del solapamiento 2 cintas de aspersion, en una distancia de 4 metros de cinta a cinta, obteniendo un CU de 64%, a una velocidad del viento de 1.1 m/s en un tiempo de aplicación de 1 hora 68
- Figura 23. Visualización del área evaluada, de 1 m x 1 m, señalando las zonas con mayor y menor altura de agua aplicada (mm), obteniendo un CU de 64%, a una velocidad del viento de 1.1 m/s en un tiempo de aplicación de 1 hora 69

- Figura 24. Representación tridimensional de la pluviometría (mm), de 1 m x 1 m, resultante del solapamiento 2 cintas de aspersion, en una distancia de 4 metros de cinta a cinta, obteniendo un CU de 71%, a una velocidad del viento de 1.1 m/s, en un tiempo de aplicación de 1 hora 70
- Figura 25. Visualización del área evaluada, de 1 m x 1m, señalando las zonas con mayor y menor altura de agua aplicada (mm), obteniendo un CU de 71%, a una velocidad del viento de 1.1 m/s en un tiempo de aplicación de 1 hora 71
- Figura 26. Representación tridimensional de la pluviometría (mm), de 1 m x 1 m, resultante del solapamiento 2 cintas de aspersion, en una distancia de 4 metros de cinta a cinta, obteniendo un CU de 57%, a una velocidad del viento de 1.3 m/s en un tiempo de aplicación de 1 hora 72
- Figura 27. Visualización del área evaluada, de 1 m x 1 m, señalando las zonas con mayor y menor altura de agua aplicada (mm), obteniendo un CU de 57%, a una velocidad del viento de 1.3 m/s en un tiempo de aplicación de 1 hora 73
- Figura 28. Representación tridimensional de la pluviometría (mm), de 1 m x 1 m, resultante del solapamiento 2 cintas de aspersion, en una distancia de 4 metros de cinta a cinta, obteniendo un CU de 72%, a una velocidad del viento de 1.3 m/s en un tiempo de aplicación de 1 hora 74
- Figura 29. Visualización del área evaluada, de 1 m x 1 m, señalando las zonas con mayor y menor altura de agua aplicada (mm), obteniendo un CU de 72%, a una velocidad del viento de 1.3 m/s en un tiempo de aplicación de 1 hora 75
- Figura 30. Representación tridimensional de la pluviometría (mm), de 1 m x 1 m, resultante del solapamiento 2 cintas de aspersion, en una distancia de 4 metros de cinta a cinta, obteniendo un CU de 73%, a una velocidad del viento de 0 m/s en un tiempo de aplicación de 1 hora 76
- Figura 31. Visualización del área evaluada, de 1 m x 1m, señalando las zonas con mayor y menor altura de agua aplicada (mm), obteniendo un CU de 73%, a una velocidad del viento de 0 m/s en un tiempo de aplicación de 1 hora 77

- Figura 32. Representación tridimensional de la pluviometría (mm), de 1 m x 1 m, resultante del solapamiento 2 cintas de aspersion, en una distancia de 4 metros de cinta a cinta, obteniendo un CU de 77%, a una velocidad del viento de 0 m/s en un tiempo de aplicación de 1 h 78
- Figura 33. Visualización del área evaluada, de 1 m x 1 m, señalando las zonas con mayor y menor altura de agua aplicada (mm), obteniendo un CU de 77%, a una velocidad del viento de 0 m/s en un tiempo de aplicación de 1 hora 79
- Figura 34. Representación tridimensional de la pluviometría (mm), de 1 m x 1 m, resultante del solapamiento 2 cintas de aspersion, en una distancia de 4 metros de cinta a cinta, obteniendo un CU de 69%, a una velocidad del viento de 0.8 m/s en tiempo de aplicación de 0,5 horas..... 80
- Figura 35. Visualización del área evaluada, de 1 m x 1 m, señalando las zonas con mayor y menor altura de agua aplicada (mm), obteniendo un CU de 69%, a una velocidad del viento de 0.8 m/s en un tiempo de aplicación de 0,5 horas 81
- Figura 36. Representación tridimensional de la pluviometría (mm), de 1 m x 1 m, resultante del solapamiento 2 cintas de aspersion, en una distancia de 4 metros de cinta a cinta, obteniendo un CU de 68%, a una velocidad del viento de 0.8 m/s en un tiempo de aplicación de 0,5 horas..... 82
- Figura 37. Visualización del área evaluada, de 1 m x 1 m, señalando las zonas con mayor y menor altura de agua aplicada (mm), obteniendo un CU de 68%, a una velocidad del viento de 0.8 m/s en un tiempo de aplicación de 0,5 horas 83
- Figura 38. Eficiencia de aplicación (%) para los tiempos de riego 86

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Croquis de la instalación del sistema de riego en cintas de aspersión en campo, con sus respectivas dimensiones	101
Anexo 2. Fuente de agua	102
Anexo 3. Planilla de velocidad o tasa de infiltración, mediante el método de doble cilindro	102
Anexo 4. Cálculo de la velocidad de infiltración (Ib)	103
Anexo 5. Resumen climatológico de septiembre 2023 de la Estación Experimental Kallutaca.....	104
Anexo 6. Planilla de variación de presión de trabajo a lo largo de las evaluaciones	105
Anexo 7. Valores de la incidencia del viento (m/s - km/h), a diferentes horarios, durante los días que se determinaron los parámetros de evaluación	106
Anexo 8. Resultados obtenidos del parámetro de Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CU %), para los 3 tratamientos, en sus diferentes evaluaciones ...	106
Anexo 9. Valores de las láminas de agua recogidas en los pluviómetros (mm), para la determinación del Coeficiente de Uniformidad (%) y otros parámetros, en una de las evaluaciones del tratamiento 1.....	107
Anexo 10. Valores de las láminas de agua recogidas en los pluviómetros (mm), para la determinación del Coeficiente de Uniformidad (%) y otros parámetros, en una de las evaluaciones del tratamiento 2.....	108
Anexo 11. Valores de las láminas de agua recogidas en los pluviómetros (mm), para la determinación del Coeficiente de Uniformidad (%) y otros parámetros, en una de las evaluaciones del tratamiento 3.....	112
Anexo 12. Láminas de agua recogidas en los pluviómetros (mm) de 1 m x 1 m, en la evaluación de cintas de aspersión al aire libre	113
Anexo 13. Resultados obtenidos del parámetro de Eficiencia de aplicación (Ea %), para los 3 tratamientos, en sus diferentes evaluaciones, calculados mediante la Lamina promedio del CI (Cuarto inferior) sobre lamina promedio aplicada *100.....	113

Anexo 14.	Valores de las láminas de agua recogidas en los pluviómetros (mm), para la determinación del Eficiencia de aplicación (%) y perdidas por evaporación, en una de las evaluaciones del tratamiento 1 (2h).....	114
Anexo 15.	Valores de las láminas de agua recogidas en los pluviómetros (mm), para la determinación del Eficiencia de aplicación (%) y perdidas por evaporación, en una de las evaluaciones del tratamiento 2 (1h).....	115
Anexo 16.	Valores de las láminas de agua recogidas en los pluviómetros (mm), para la determinación del Eficiencia de aplicación (%) y perdidas por evaporación, en una de las evaluaciones del tratamiento 3 (0.5h).....	119
Anexo 17.	Valores de respaldo para las láminas de agua recogidas en los pluviómetros (mm), para la determinación del Coeficiente de Uniformidad (%) a una presión inferior de 0,5 bar en un tiempo de 0,5 h.....	120
Anexo 18.	Valores de respaldo de las láminas de agua recogidas en los pluviómetros (mm), para la determinación del Eficiencia de aplicación (%) a una presión inferior de 0,5 bar en un tiempo de 0,5 h	121
Anexo 19.	Prueba de respaldo para hallar los parámetros técnicos a una presión inferior de 0,5 bar	122
Anexo 20.	Análisis de correlación entre Coeficiente de uniformidad (CU%) y Eficiencia de aplicación (Ea%).....	123
Anexo 21.	Presupuesto del sistema de riego por aspersion con las cintas de aspersion Golden Spray de 1" ¼.....	124
Anexo 22.	Fuente agua antes y después (Ampliación y enmallado de la fuente de agua antes de la investigación).....	125
Anexo 23.	Análisis de infiltración básica (V.I.B.).....	125
Anexo 24.	Análisis físico-químico del agua	125
Anexo 25.	Análisis físico del suelo para determinar textura	126
Anexo 26.	Análisis de densidad aparente del suelo en laboratorio.....	126
Anexo 27.	Escorrentía superficial vistos a mayor tiempo de aplicación.....	127
Anexo 28.	Medición del caudal desfogado (l/min) en las cintas Golden Spray	127

Anexo 29.	Instalación de los pluviómetros en el área de evaluación	127
Anexo 30.	Medición del volumen recogido en los pluviómetros mediante probetas graduadas.....	128
Anexo 31.	Lectura de la presión de trabajo al inicio del lateral o ramal de riego.....	128
Anexo 32.	Lectura de la presión al inicio de la tubería principal de riego	128
Anexo 33.	Implementación de cintas de aspersión Golden Spray	129

ABREVIATURAS

A	Área
Ar	Alcance de riego
CI	Cuarto inferior
cm ²	Centímetro cuadrado
cm ³	Centímetro cubico
CU	Coefficiente de uniformidad
CV	Coefficiente de variación
DCA	Diseño Completamente al azar
Ea	Eficiencia de aplicación
h	Hora
Ib	Infiltración básica
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

La producción agrícola en el altiplano boliviano está determinada por las épocas lluviosas del año, desde el mes de noviembre hasta abril. Por lo tanto, el aprovechamiento del recurso que provee solo se da en época lluviosa y en la época seca se empieza a perder este recurso.

Por tanto, no está accesible la implementación de esta tecnología que es el uso de riego, por el desconocimiento de mayoría de los productores, sobre su manejo, uso y mantenimiento.

De acuerdo al objetivo de la presente investigación surge con la finalidad de realizar una evaluación técnica de cintas de aspersión en la Estación Experimental de Kallutaca. Para el desarrollo de la investigación fue necesario trabajar mediante un Análisis de Covarianza para un Diseño Completamente al Azar con una covariable, donde el diseño solo se aplicará para los parámetros técnicos. Asimismo, el presente estudio tiene un alcance experimental cuantitativo ya que se experimentó en campo y se recolectaron datos sobre las características hidráulicas 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).

Realizada las evaluaciones del sistema de riego, implementando cintas de aspersión Golden spray de 1" 1/4 en un marco de riego cuadrangular de (4m de espacio x10 m de cinta), se determinó que de los 3 tratamientos, el que brinda mejores condiciones tanto en uniformidad como eficiencia, llega a ser el tratamiento 1 (tiempo de aplicación de 2h), llegando a proporcionar entre el solapamiento o traslape de dos cintas de aspersión con un Coeficiente de Uniformidad (CU) del 76%, esto bajo una incidencia del viento de 0.7 m/s, a determinada uniformidad y una fracción de superficie adecuadamente regada (f) de 76%, generando una Eficiencia de aplicación (Ea) hasta del 65%., podemos concluir que se determinaron las características hidráulicas de las cintas Golden Spray a una presión de trabajo de 1.2 bares, alcance de riego de 6m sin presencia de vientos y un caudal desfogado de 1260 l/h. Asimismo, los parámetros técnicos analizados en todas las evaluaciones presentaron variabilidad en CU y Ea debido al arrastre que genero el viento en el horario aplicado, bajo este contexto el tratamiento 2 fue la más destacable en CU con 77% sin la presencia de viento y el tratamiento 1 fue el mejor en Ea con un 65% bajo la incidencia de viento.

ABSTRACT

Agricultural production in the Bolivian highlands is determined by the rainy seasons of the year, from November to April. Therefore, the use of the resource it provides only occurs in the rainy season and in the dry season this resource begins to be lost.

According to the objective of this research, it arises with the purpose of carrying out a technical evaluation of sprinkler tapes at the Kallutaca Experimental Station. For the development of the research, it was necessary to work through a Covariance Analysis for a Completely Random Design with covariate, where the design will only be applied to the technical parameters. Likewise, the present study has a quantitative experimental scope since it was experimented in the field and data was collected on the hydraulic characteristics such as working pressure (bar), irrigation range (m), discharge flow of the belt (l/h), Likewise, technical parameters such as uniformity coefficient (CU) and application efficiency (Ea).

Once the evaluations of the irrigation system were carried out, implementing 1" 1/4 Golden spray sprinkler tapes in a quadrangular irrigation frame of (4m space x10 m tape), it was determined that of the 3 treatments, the one that provides the best conditions both in uniformity as efficiency, becomes treatment 1 (application time of 2h), providing between the overlap or overlap of two spray tapes with a Uniformity Coefficient (CU) of 76%, this under a wind incidence of 0.7 m/s, at a certain uniformity and a fraction of adequately irrigated surface (f) of 76%, generating an Application Efficiency (Ea) of up to 65%. we can conclude that the hydraulic characteristics of the Golden Spray tapes were determined at a working pressure of 1.2 bars, irrigation range of 6m without the presence of winds and a discharge flow of 1260 l/h. Likewise, the technical parameters analyzed in all evaluations presented variability in CU and Ea due to the drag generated by the wind in the applied schedule. Under this context, treatment 2 was the most notable in CU with 77% without the presence of wind and the Treatment 1 was the best in Ea with 65% under the incidence of wind.

1. INTRODUCCIÓN

La producción agrícola del altiplano está determinada por las épocas del año. Cuya fuente de agua únicamente es por las precipitaciones pluviales que cae en el mes de noviembre hasta el mes de abril que es el periodo óptimo para la agricultura, una vez escaso este valioso recurso se detiene la producción, entonces los agricultores se dedican a otras actividades, como la ganadería, la producción de chuño y tunta. Aprovechando la época de invierno que es primordial para la obtención de estos productos provenientes de la papa.

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 frío moderado, las precipitaciones son escasas y genera la falta de agua. Por lo tanto, no está accesible la implementación de esta tecnología que es el uso de riego, por el desconocimiento de mayoría de los productores, sobre su manejo, uso y mantenimiento.

Sin embargo, una alternativa para incrementar los ingresos a los agricultores del altiplano, es el uso inteligente del agua mediante el 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 cintas de aspersión, por sus características de la irrigación de tipo llovizna es adecuada para una amplia gama aplicación en hortalizas, floricultura y frutales. Al ser de un material liviano, hace más fácil su instalación y manipuleo para los agricultores, también en actividades de traslado y guardado del mismo.

1.1. Antecedentes

En cuanto a los trabajos realizados anteriormente no hay mucha información sobre las características hidráulicas y parámetros técnicos en el uso de este método de riego. El único trabajo referido a este método de riego, se destaca la implementación de las cintas de aspersión, en el comportamiento agronómico de hortalizas de raíz, frutales y flores (López, 2005).

El mismo autor pretende mostrar la optimización del uso del agua de riego y darle un mejor uso a las horas que se dedicaría al riego tradicional. Esta programación de riego responde a dos preguntas esenciales: Cuando se debe regar y con qué cantidad de agua es

necesario. Responder a la primera es determinar el periodo de riego a aplicar, hacerlo a la segunda es definir su volumen que se requiere.

1.2. Planteamiento del problema

Incluso en estas últimas gestiones agrícolas existen sequías en enero o febrero en plena época lluviosa, produjo una paralización en la producción agrícola en varios sectores de nuestro país, que ha logrado ocasionar pérdidas en la economía de los productores bolivianos (Guarachi, 2013). A pesar de la gravedad de esta situación se ha observado una falta de investigaciones específicas que aborden de manera integral el impacto de estas sequías inusuales y de las posibles soluciones que podrían implementarse.

Ante la problemática se implementaron los diferentes métodos de riego, que contribuyen de gran manera a la producción de diferentes cultivos agrícolas. A falta del conocimiento de los parámetros de riego, como sus parámetros técnicos (eficiencia de aplicación) y características hidráulicas (presión de trabajo) se hace más difícil el uso que se pueda dar y aprovechar.

Los cambios climáticos, que generan sequías recurrentes en las últimas gestiones agrícolas, tiene un impacto para la economía. En primer lugar, disminución de sus ingresos, debido a la pérdida de sus cosechas. Esta situación pone el riesgo a la estabilidad de la economía del productor y el consumidor. Además, la escasez de agua debido a los cambios repentinos del clima de estas últimas gestiones, donde en época lluviosa no llueve, llega a afectar el ciclo productivo de los cultivos. Estos efectos adversos, junto con la falta de investigaciones específicas sobre los métodos de riego aplicables, subrayan la urgencia de desarrollar soluciones efectivas que puedan ser implementadas a nivel local para garantizar la sostenibilidad de la producción agrícola con el uso eficiente del recurso hídrico.

1.3. Justificación

El riego por cintas de aspersión constituye uno de los métodos con menor uso de aplicación a causa de la falta de conocimiento técnico y accesibilidad por parte de los usuarios en nuestros medios.

El riego mediante cintas de aspersión es uno de los métodos menos utilizados en nuestros medios, principalmente debido a la falta de conocimiento técnico y a la accesibilidad limitada para los usuarios. Sin embargo, este método presenta varias ventajas que lo hacen una

opción viable y efectiva, especialmente en el contexto de los problemas de sequía y baja disponibilidad de agua mencionados anteriormente.

Considerando que esta alternativa tiene un costo relativamente bajo y que, según catálogos del producto, ofrece una buena distribución de agua gracias a su uniformidad y eficiencia, su implementación en la producción agrícola podría ser una solución adecuada. Promover el uso de este método en nuestro entorno agrícola, no solo ayudaría a mitigar los efectos negativos de las sequías, sino que también optimizaría el uso de los recursos hídricos disponibles, lo que lo convierte en una gran alternativa frente a los desafíos actuales.

La sencillez de su material que lo compone, lo hace fácil de manipular y usar. Las partes dañadas luego de un arduo uso intensivo puede ser reemplazado fácilmente gracias a su costo económico para un mejor funcionamiento de este sistema de riego. El beneficio que brindaría a nuestros productores en el uso eficiente del agua para un riego adecuado donde se disponga una fuente de agua de 10 a 20 m³ de agua.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Realizar la evaluación técnica de cintas de aspersión en la estación Experimental de Kallutaca.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar las principales características hidráulicas en el uso de las cintas de aspersión mediante la medición de caudal, presión de trabajo y alcance de riego.
- Analizar los principales parámetros técnicos de riego con el uso de cintas de aspersión, específicamente el coeficiente de uniformidad y la eficiencia de aplicación, en diferentes tiempos de aplicación.
- Analizar los costos de instalación del sistema de cintas de aspersión en comparación de otros sistemas de riego en una determinada superficie.

1.5. Hipótesis

- Los principales parámetros técnicos evaluados, no presentan diferencias significativas con el uso de cintas de aspersión Golden Spray en diferentes tiempos de aplicación.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. 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.

2.1.1. Riego agrícola

Según Adena (2009), menciona que riego agrícola es el uso eficiente y racional de agua que emplea el agricultor como un método de riego en su parcela de producción, donde se define la tecnología de riego a utilizar en cada situación (combinación específica de suelo, cultivo y clima). De acuerdo a Gurovich (1999), el agricultor debe tener en cuenta la derivación de cuestionantes de riego agrícola, comprender conceptos básicos sobre la tecnología de riego que va aplicar, que están ligados a ciertas cuestionantes fundamentales. Donde la respuesta concreta, oportuna y planificada a las cuestionantes, evitará la pérdida de agua, el lavado de nutrientes, bajos rendimientos de los cultivos y pérdidas económicas en la unidad de producción.

2.1.2. Riego

Según León (2001), el riego es la aplicación artificial de agua al suelo con el fin de suplir las necesidades de humedad necesaria para el desarrollo normal de las plantas. Comúnmente es aceptado que regar es proveer agua al suelo cuando naturalmente esta es insuficiente, es decir, el riego complementa parcial o totalmente la lluvia u otras formas de aporte natural de este recurso.

Zapata (2020), citado por Vergara (2024), señala que, desde un punto de vista agronómico, el riego se define como la operación consistente de aportar agua a una planta, con una finalidad de aumentar su producción mediante la orientación correcta

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 (Chapana, 1996).

2.1.2.1. Emisor de riego

Según Tarjuelo (1999), los emisores pueden ser tuberías perforadas, pulverizadoras, cañones, 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.

Según señalado por Hoogendam (2007), citado por Chávez en (2011), considera que los sistemas de riego tecnificado se emplean diversos tipos de emisores, como goteros, microaspersores, microjets y aspersores. La efectividad de su funcionamiento está determinada por la calidad de la red de tuberías y la presión de trabajo.

2.2. Sistemas de riego

Según Adena (2009), citado por Guarachi (2013), señala que el objetivo esencial de los sistemas de riego es poner a disposición de los cultivos el agua suficiente y necesario para cubrir las necesidades, de tal forma que complementemos con las precipitaciones pluviales. Cuando el agua se distribuye en una parcela con cultivo, existen dificultades que generan pérdidas e impiden que el agua se reparta de manera uniforme. Ante esto es importante solventar estas dificultades cuando el agua es un recurso de escasez creciente.

2.3. Método de riego

Tarjuelo (1999), citado por Poma (2014), indica que es común referirse al riego en la parcela utilizando dos términos, métodos de riego y sistemas de riego; a veces, como sinónimos. 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 equipamientos y técnicas que proporcionan esa aplicación siguiendo un método dado.

2.4. 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 microrriego, es comprendido, el riego por goteo, por difusores o borboteadores (“bubblers”), por tubos perforados o porosos, la micro-aspersión y el riego sub-superficial por tubos perforados y tubos porosos.
- **Riego por aspersión**, con sistemas estáticos y disposiciones en cuadrícula, fijos o móviles, con sistemas móviles de cañón o ala sobre carro tirada por enrollador o por cable, y 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 y Wyss (2007), citado por Guarachi (2013). Afirio 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.

2.5. Método de riego localizado

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 (Castañón, 2000 citado por Allen, 2017).

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 contantes o porosas 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).

La Universidad de 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. Método de riego por aspersión

El riego por aspersión es una lluvia artificial que se produce al pulverizar y distribuir el agua que descarga desde las tuberías y conductos a presión. El agua es asperjada al exterior de la atmosfera por emisores que pueden consistir en boquillas de desagüe dispuestas en un mecanismo aspersor que establece el último elemento del sistema de reparto. Conviene que el reparto de agua sobre la superficie del suelo sea uniforme y que no haya daños estructurales a causa del impacto de gotas o por encharcamiento. Cada gota desprendida debe infiltrarse en el punto del suelo donde caiga, donde no debe presentar escorrentía ni mucho menos erosión (Losada, 2005 citado por Chávez. 2011).

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).

2.6.1. Ventajas de 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:

- **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.
- Se puede utilizar en una gran variedad de suelos, incluso en aquellos muy permeables que exigen riegos frecuentes y poco copiosos.
- 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.

- **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.
- El riego por aspersión se puede utilizar de un modo eficaz en la lucha contra las heladas.

2.7. Clasificación de los sistemas de riego por aspersión

El riego por aspersión se adapta a condiciones de trabajo diversos, en relación con suelos, clima, cultivos, mano de obra, tecnología y recursos económicos disponibles. El sistema de riego por aspersión según la Figura 1 su movilidad puede ser: fijos, semifijos y móviles (Losada, 2005).

De acuerdo a Tarjuelo (1999), los sistemas de aspersión convencionales se dividen en:

- **Sistemas Fijos:** Conformados por tuberías y aspersores que cubren completamente el área de riego. Pueden ser permanentes o transportables, siendo ideales para deportes, jardines, viveros y cultivos ornamentales.
- **Sistemas Semifijos:** Tienen una estación de bombeo y una red principal fija. Los ramales de riego son móviles, permitiendo varias posturas sin cambiar la tubería de sitio. La mecanización puede variar, desde manual hasta completamente mecanizado.
- **Sistemas Móviles:** Toda la red de distribución puede desplazarse, incluso el grupo de elevación. La resistencia mecánica de los materiales es crucial en estos casos.

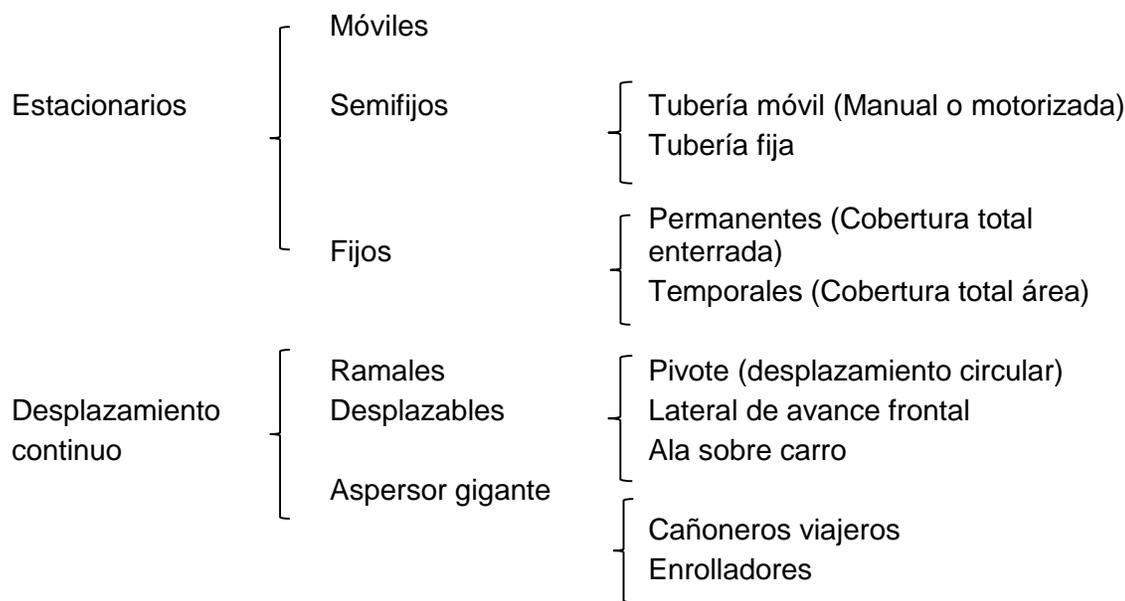


Figura 1. Clasificación de riego por aspersión (Tarjuelo, 1999)

El objetivo de los sistemas de riego es poner a disposición a los cultivos, el agua necesaria para que cubran sus necesidades, complementando la recibida en forma de precipitaciones naturales. Cuando se distribuye agua por una parcela de cultivo, existen dificultades que ocasionan pérdidas e impiden que el agua se reparta de forma homogénea. Es importante solventar estas dificultades, pero lo es aún mayor cuando el agua es un recurso de escasez creciente Adena (2009), citado por Guarachi (2013).

2.7.1. Componentes de riego por aspersión

Según Pereira (2004), destaca que 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 conduce el agua desde la bomba a las tuberías secundarias, y de éstas a los ramales. En la mayoría de los casos, la tubería principal es fija, instalada sobre el suelo o, más generalmente, enterrada. En otros casos es

desplazable, pudiendo ser trasladada de parcela a parcela. Las tuberías fijas pueden ser de acero galvanizado, de fibrocemento o de plástico de alta densidad. Las tuberías móviles son de aluminio ligero o de plástico, para que sean fácilmente transportables de un lugar a otro.

- **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.

2.7.1.1. Características de riego por aspersión

Según 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 (Iagua, 2024).
- **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 (GrupoHidráulica, 2022).
- **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 (Iagua, 2024)

- **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 (Iagua, 2024).
- **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 (Iagua, 2024).
- **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.

2.7.1.2. Método de riego de las Cintas de aspersión

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 (López, 2005).

Las cintas de aspersión, representan un pseudo tubo de riego por aspersión creado por SUMITOMO CHEMICAL CO., LTD. en Japón. Está fabricado con films de LLDPE altamente duraderos y resistentes a presiones. Utilizando un equipo generador de rayos láser, se perforan micro orificios a lo largo del tubo, y los bordes de ambas caras se unen mediante un sellado térmico especial (López, 2005).

2.7.1.3. Características de las cintas de aspersión

Dentro de las características de las cintas se tiene (León, 2001):

- La irrigación tipo llovizna 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 trasladarlo y guardarlo por ellos mismos.
- Es superior a todo sistema de riego por aspersión de baja presión (0.1 – 1.0 kg/cm²), por lo cual resulta el de más bajo costo operativo (Cuadro 1).

Por lo anteriormente mencionado el riego por Cintas por Aspersión (Figura 2), es una de las formas de riego por aspersión más modernas, eficientes y económicas que se puede utilizar para realizar riego por aspersión (León, 2001).

Cuadro 1. Características de una cinta de aspersión Golden Spray

Producto	Banda (m)	Tipo de sección	Entrada (Pug)	Espesor de la pared (mm)	Presión de trabajo (bar)	Caudal por metro de cinta (l/h)	Long. Max. Recomendada (m)	Longitud de rollo (m)
WaterFly	6		1"1/2	0.20	0.7	60	80	100
								200
GoldenSpray D1	6		1"1/2	0.20	0.6	80	80	100
								200
GoldenSpray D2	8		1"1/2	0.20	0.8	80	80	100
								200
GoldenSpray	10		1"1/2	0.30	1	100	100	100

Fuente: Golden Spray (2023)



Figura 2. Cintas de aspersión (Golden Spray, 2023)

- **Características relevantes para riego por aspersión**

Guarachi (2013), señala que las características más relevantes de método de aspersión los 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.

La Universidad de 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 – CARILLANCA (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-CARILLANCA (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 Ángeles (s.f.), mencionado por Poma (2014), Indica que el diseño agronómico debe entenderse como un planteamiento general del sistema de riego con condicionantes del medio (fuente de abastecimiento de agua, suelo, cultivo, clima, parcela), con la finalidad primordial de determinar parámetros de riego (lamina de riego, intervalo de riego, tiempo de riego) avalando que la instalación sea capaz de suministrar una eficiencia de aplicación

óptima, las necesidades netas de riego del cultivo durante el periodo de máximo consumo, con base al tipo de cultivo y a los parámetros del clima y del suelo, consiguiendo, mojar el volumen de suelo suficiente para su desarrollo adecuado y un efectivo control de sales.

Para Fuentes (1998), mencionado por Peñafiel (2020), el diseño agronómico tiene por finalidad, garantizar que la instalación sea capaz de suministrar la cantidad suficiente de agua, con un control efectivo de las sales y una buena eficiencia en la aplicación del agua. Se desarrolla en dos fases:

- a) Cálculo de las necesidades de agua del cultivo
- b) Determinación de los parámetros de riego: dosis, frecuencia e intervalo entre riegos caudal necesario, duración del riego, número de aspersores y disposición de los mismos

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.

INIA-CARILLANCA (2001), 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 (ET_o) por el coeficiente de cultivo (K_c) (SIAR, 1999). Al respecto la (ET_c) se puede expresar como:

$$ET_c = ET_o * K_c \quad (2)$$

Donde:

ET_c = evapotranspiración de cultivo (mm/días)

ET_o = evapotranspiración de referencia (mm/días)

K_c = coeficiente de cultivo (adimensional)

- **Lámina de agua a reponer**

La 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-CARILLANCA, 2001). Para cuantificar la lámina de reposición se utiliza la siguiente relación

$$H = \frac{(U_{cc} - U_{pmp})}{100} * \frac{D_{ap}}{D_w} * Pr * f \quad (3)$$

Dónde:

H = Lámina de agua de reposición (mm)

U_{cc} = Contenido gravimétrico de agua del suelo a capacidad de campo

U_{pmp} = Contenido gravimétrico de agua del suelo a punto de marchitez permanente

D_a = Densidad aparente (g/cm³)

D_w = Densidad real (g/cm³)

Prof. = Profundidad radicular (mm)

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

- **Frecuencia de riego**

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

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

Donde FR es la frecuencia de riego en días, H es la lámina de agua a reponer en mm y ETc 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

$$Hc = FR * ETc \quad (5)$$

Donde Hc, 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 (Ea), del método de riego empleado en el sistema de irrigación, se tendrá la siguiente expresión:

$$Hbc = \frac{Hc}{Ea} \quad (6)$$

onde Hbc 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 Hc será igual a Hbc.

- **Velocidad de infiltración básica**

INTA (2009), indica que la velocidad de infiltración básica es la que determina que la cantidad agua aplicable a un suelo en un tiempo determinado, sin que se produzcan encharcamientos o escurrimientos superficiales. De tal modo que las características del suelo a cultivar determinaran los volúmenes de agua que se debe aplicar por unidad de superficie y de tiempo. Donde esto es importante ya que la intensidad de riego (Pluviometría) es mayor a la velocidad de infiltración, se formarán láminas de agua en la superficie provocando encharcamiento, lo cual genera una difusión para enfermedades fúngicas y bacterianas.

Cuadro 2. Velocidad de infiltración básica de suelo de diferentes texturas

Tipo de suelo	Velocidad de infiltración
Arenoso	Más de 30 mm/hora
Franco arenoso	Entre 20 y 30 mm/hora
Franco	Entre 10 y 20 mm/hora
Franco arcilloso	Entre 5 y 10 mm/hora
Arcilloso	Menos de 5 mm/hora

Fuente: Adena (2009)

Tanto así, el manejo en riegos debe entenderse como una combinación óptima entre las necesidades hídricas del cultivo y/o las del suelo, tanto como medio de transporte como almacenamiento de agua y la aplicación de agua en la parcela, por esta razón es importante el conocimiento de lo que sucede al agua en el suelo es importante en una gestión de riego (Tarjuelo, 1999).

Según INIA-CARRILLANCA (2001), la Ecuación empleada para determinar la velocidad de infiltración básica (I_b), en horas o minutos, con los datos obtenidos en campo es la siguiente:

$$I_b = Kt * tb^n \quad (7)$$

Dónde:

K_i, n = Coeficientes empíricos de la función de infiltración ($-1 < n < 0$)

t_b = Tiempo básico, ($t_b = -10n$ en horas) y ($t_b = -600n$ en minutos)

- **Tiempo de riego**

Universidad de Sevilla (2008), indica que la duración del riego o tiempo de riego (T_r) en cada postura, es calculada tomando en cuenta la lámina o dosis total de agua a reponer (H_{bc}) y la velocidad de infiltración básica obtenida en el terreno a implementar el riego (I_b), mediante la siguiente fórmula:

$$T_r = \frac{H_{bc}}{i_b} \quad (8)$$

- **Caudal unitario**

Serrano (2011) Citado por Guarachi (2013), indica que el caudal unitario estará expresado en l/s ha, por tanto, la lámina bruta corregida (Hbc) debe multiplicarse por unidad de área (ha) para convertirse en volumen a emplearse en el tiempo de riego calculado (Tr). El caudal unitario puede ser determinado mediante la siguiente fórmula:

$$e^x = \frac{Voi}{t} = \frac{A * Hbc}{Tr} \quad (9)$$

2.8.2. Diseño hidráulico

Según Moya (1994), citado por Poma (2014), el diseño hidráulico comprende todos los cálculos de los diferentes componentes de la instalación, para que se adapten a las condiciones de presión y caudal disponibles, de forma que a los emisores llegue el agua a la presión nominal y caudal nominal de los mismos, buscando la solución más económica dentro de unas calidades garantizadas.

La hidráulica de un sistema de riego por aspersión es un poco diferente de los problemas normalmente encontrados en la hidráulica convencional, puesto que en tanto que en la línea principal realizamos el diseño normal en los laterales el flujo de agua presenta múltiples salidas que son los aspersores (Chipana 2003), citado por Peñafiel (2020).

2.9. Parámetros de evaluación

Servicio de Asesoramiento al Regante (2010), citado por Guarachi (2013), para describir el comportamiento de las cintas 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.

Tarjuelo *et al.*, (2005), citado por Cisneros *et al.*, (2019), 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 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. Uniformidad de riego (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.) señala 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), citado por Guarachi (2013), señala 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 óptimas (Servicio de Asesoramiento al 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, (Portal Frutícola y RIS Iberia, 2016).

De acuerdo a Tarjuelo (1999), señala 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 3.

Cuadro 3. Valor de la uniformidad de distribución (UD)

VALOR DE LA UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCIÓN	CALIFICACIÓN
Mayor de 85 %	EXCELENTE
De 80 a 85 %	BUENA
De 70 a 80 %	ACEPTABLE
Menor de 70 %	INACEPTABLE

Fuente: Servicio de Asesoramiento al 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.

El mismo autor señala que en el proceso de riego, las pérdidas ocurren en diferentes momentos, pudiendo clasificarse en los siguientes grupos:

-Pérdidas de transporte: son las que ocurren en las conducciones, desde el punto de suministro hasta la parcela de riego. Aquí se incluyen desde las fugas en tuberías y canales hasta la evaporación en el caso de las conducciones abiertas.

-Pérdidas de aplicación: engloba a todas las que tienen su origen en la instalación dentro de la parcela de riego. Cabe mencionar tanto las fugas de tuberías como la evaporación que, bajo condiciones de viento y altas temperaturas, tiene lugar en el chorro de los emisores, en las hojas mojadas del cultivo o en la lámina superficial de agua.

-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 4.

Cuadro 4. Eficiencia de aplicación según el método de riego

METODO DE RIEGO	EFICIENCIA
SURCOS RECTOS	55 - 70
SURCOS EN CONTORNO	50 - 55
CORRUGACIÓN	50 - 70
ASPERSION, clima seco y cálido	60
ASPERSION, clima moderado	70
ASPERSION, clima frío y húmedo	80

Fuente: Servicio de asesoramiento al Regante (2010)

2.10. Parámetros físicos – químicos

La calidad de agua para riego ha sido objeto de mucho estudio a lo largo del tiempo, donde busca definir parámetros físicos y químicos para calificar sus características y establecer medidas de calidad para uso que este destinado (Guarachi, 2013).

El análisis de agua es crucial para determinar los parámetros y adecuados para diversos usos, incluyendo el uso humano, industrial y ambiental (Guarachi, 2013).

- **Temperatura**

La temperatura es un parámetro fundamental que afecta la calidad y el uso dado, donde mayormente influye es en la fauna acuática viviente dentro de ella, la calidad de agua para el consumo humano y en el rendimiento de sistemas que generan energía a través de hidroeléctricas. Asimismo, la medición de la temperatura es esencial para la gestión de inundaciones, presas y embalses y para la determinación de la contaminación (Agualibre, 2023).

- **pH**

El pH mide el potencial de hidrogenoides (H^+), dando a indicar el grado de acidez o alcalinidad del agua (Ambientalys, s.f.).

- **ORP (Potencial de Oxido Reducción)**

Este parámetro conocido como potencial de reducción de óxido, mide la capacidad de una solución donde ganar o pierde electrones que se expresa en minivoltios (mV) (HANNA Instruments s.f.). También se conoce como un parámetro útil para controlar los procesos de desinfección y saneamiento del agua (Microlab, s.f.).

- **Conductividad eléctrica**

Según Global Seafood (2024), la conductividad eléctrica en el agua proporciona una evaluación de la concentración total de iones disueltos en el agua donde es una propiedad muy importante frecuente medida en los sistemas acuícolas.

La conductividad eléctrica mide la capacidad de conducción eléctrica. Donde este parámetro es fundamental para la hallar la claridad del agua y su adecuación para consumo humano, animales y otros usos (Analitiks, s.f)

- **Turbidez**

La turbidez señala la cantidad de partículas que se encuentran suspendidas en el agua que pueden hacer notar la oscuridad en el agua. Este parámetro es fundamental para

determinar la claridad del agua y su adecuación principalmente para el consumo humano y sus demás usos (HigieneAmbiental, 2018).

- **Oxígeno disuelto**

Según Comunidad Andina (2005), el oxígeno disuelto se considera como la cantidad efectiva de oxígeno gaseoso (O_2) en el agua, expresado en términos de volumen de agua (miligramos de Oxígeno por litro) o de su proporción de saturación en el agua (%).

El oxígeno disuelto mide la cantidad de oxígeno que está presente en el agua, que es esencial para los organismos vivos que viven en el agua. Donde los niveles adecuados de oxígeno disuelto son importantes para mantener un ecosistema estable, saludable y también para procesos de tratamientos de agua (Analitiks, s.f.).

- **Sólidos totales**

El concepto de TDS es una medida de la porción de material disuelto en el agua, donde puede contener carbonato, cloruro, sulfato fosfato, nitrato, calcio, magnesio sodio iones orgánicos y otros iones (Fluence, 2024).

Los sólidos totales en suspensión es una medida que se toma de la cantidad de partículas sólidas presentes en el agua. Dicho parámetro se utiliza para evaluar la calidad de agua y en el tratamiento de aguas residuales (Analitiks, s.f.)

- **Salinidad**

La sanidad es un indicador de la concentración de sales disueltas en el agua. Donde este parámetro es muy importante para determinar su adecuación del agua para el consumo de los humanos, la agricultura y otros usos industriales, a su vez están relacionadas con la conductividad eléctrica porque la cantidad de iones disueltos aumentan los valores de ambas (California State Water Resources Control Board, 2024).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización

3.1.1. Ubicación Geográfica



Figura 3. Ubicación geográfica (Earth, 2023)

El presente estudio de investigación se realizó en la Estación Experimental de Kallutaca perteneciente a la Universidad Pública de El Alto (Figura 3), que se encuentra en la Provincia Los Andes, Segunda Sección del Municipio de Laja, al Oeste del departamento de La Paz. La estación se ubica $16^{\circ}31'28''$ de latitud Sur, $68^{\circ}18'32''$ de Longitud Oeste, a una altitud de 3901 msnm distante a 18km de la ciudad de El Alto (Earth, 2023).

3.1.2. Características Edafoclimáticas

3.1.2.1. Clima

Las condiciones climáticas del Centro Experimental de Kallutaca, corresponde a la clasificación del altiplano, seco y frío. La incidencia de helada se presenta en los meses de mayo hasta agosto, con una temperatura promedio anual de 7.1°C , con masas de aire frío provenientes del Norte, que causan olas de frío principalmente en verano e invierno, a una velocidad de viento de 9.7 km/hr, con una precipitación pluvial que alcanzan a 613.1 mm por año, por los meses de septiembre hasta abril (SENAMHI, 2008).

3.1.2.2. Suelo

Según Carita (2014), citado por Mamani (2022), indica que los suelos predominantes en el Centro Experimental son de tipo franco arcilloso limoso y franco arcillosos, no es muy tolerante a la compactación y presenta resquebrajamiento en las épocas secas e inundación en época lluviosa con un declive de 2-5%, la condición física es arable, los suelos son poco profundos de 10 a 45 cm, la capa arable presenta una retención del agua moderada. El pH del agua es ligeramente de acida a neutro 6.0 a 6.7 y el pH del suelo es ligeramente acida 6.1, y el contenido de la materia orgánica varía de 0.05 a 3.07%.

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: Chilligualesgramadales conformados por: Chilligua (*Festuca dolichophylla*), Festuca alta (*Festuca arundinacea*), Layu Layu (*Trifolium amabile*), *Erodium cicutarium* (Reloj reloj), *Lepidium bipinnatifidum* (Janu kara), *Capsella bursa-pastoris* (Bolsa de pastor), *Bromus catharticus* (Cebadilla), *Brassica rapa* (Mostaza), *Setaria verticilla* (Cola de zorro), *Pennisetum clandestinum* (Chiji) y *Bidens andicola* (Muni muni); Pasturas conformados por: Alfalfa (*Medicago sativa*), Pasto ovillo (*Dactylis glomerata*), Pasto llorón (*Eragrostis curvula*); también especies cultivadas como la Avena (*Avena sativa*), Cebada (*Hordium sativum*), Triticale (*X. Triticosecale*) (Moñocopa, 2012).

3.1.2.4. Fauna

La zona de estudio presenta una diversidad de especies animales domésticos como ser: Bovinos, Ovinos, Camélidos y Caprinos, también se pueden encontrar especies salvajes como: Liebres, Aves y Roedores entre otros (Moñocopa, 2012).

3.2. Materiales

Los materiales que se utilizaron en la investigación fueron:

3.2.1. Equipos de campo y accesorios

- Motobomba de succión de 2 x 2 pulg., 4,5 HP
- Accesorios de succión de 2 pulg.
- Politubo E-40 1 1/2 pulgada
- Accesorios de acople PVC
- Cintas de aspersión Golden Spray de 1" 1/4
- Caja de Teflón

3.2.2. Materiales para evaluación

- Manómetros con glicerina de 6 bares
- Datos de la Estación Climática Automática
- Pluviómetros
- Probetas de 250, 500 y 1000 ml
- Balde graduado de 20 litros de capacidad
- Cronómetros
- Cilindros infiltrómetros
- Cintas métricas y flexo
- Herramientas de trabajo (palas, picotas, rastrillos, estaca)
- Indumentaria de protección (overol, botas, sombrero)
- Cuaderno de campo
- Cámara fotográfica (Celular)

3.2.3. De gabinete

- Bolígrafos
- Lápiz
- Goma
- Calculadora
- Papel bond de 75 gramos
- Planillas de registro y un tablero
- Flash memory
- Laptop

3.3. Metodología

La presente investigación se llevó a cabo entre septiembre a noviembre del 2023, en diferentes fases, las cuales se detallan a continuación:

3.3.1. Fase de instalación

3.3.1.1. Preparación del terreno

Para la preparación de terreno, se utilizaron las herramientas prestadas del lugar (Galpón de herramientas), para realizar el acondicionamiento se realizó una limpieza y nivelación donde se llegará a instalar el sistema de riego por las cintas de aspersión, con un área a cielo abierto (280 m²) para facilitar la toma de datos para la evaluación y eficiencia de las cintas de aspersión.

3.3.1.2. Instalación del sistema de riego

Para la instalación del sistema de riego se empleó una tubería (politubo) 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 tiene por objeto aspirar el agua desde la fuente de agua e impulsarla a la red de tuberías. Dado que para el funcionamiento de las cintas 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 (5 m x 4 m x 2 m de profundidad), llegando a tener un volumen de 40 m³.

- **Instalación de la tubería principal y accesorios de acople.** Las tuberías de un sistema de riego por aspersión permiten conducir el agua a presión desde la unidad de bombeo hasta las cintas de aspersión.

Para la instalación de la tubería principal, se empleó una tubería (politubo) de 1" 1/2, con una longitud de aproximadamente 30 m. el cual se llegó a situar en la superficie del suelo, enganchados con material tipo gancho de hierro hacia al suelo.

Los ramales o laterales de riego llevan insertos durante su trayecto las cintas 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 los laterales que vienen siendo las cintas de aspersión descrito en la Figura 4, se realizaron diferentes pruebas con las cintas de aspersión, para determinar el área mojado de cada cinta a una presión de 1.2 bares, por lo tanto, el riego empleado en el presente estudio, es decir el espaciamiento de las cintas dentro de la tubería principal. Por otro lado, a la vez se instalaron los diferentes equipos para la evaluación de los principales parámetros de evaluación, como los 4 manómetros

con glicerina, tanto al inicio de la tubería principal, y al inicio de cada lateral y las cintas, con el objetivo de medir la presión generada durante la evaluación de cada cinta de aspersión.



Figura 4. Instalación de collarines en la tubería principal

3.3.2. Fase de evaluación

3.3.2.1. Acondicionamiento y control de la instalación

Para la instalación del sistema de riego se realizó una inspección de los componentes del sistema, desde tuberías, juntas, elementos de control entre otros. También se controlaron fugas en las juntas de los tubos y otros elementos de conexión, como se puede observar en la Figura 5.



Figura 5. Acondicionamiento del sistema de riego

3.3.2.2. Determinación de la Velocidad de infiltración básica (Ib)

Una vez realizada la instalación, más el acondicionamiento y verificación de la red de tuberías para el riego, se procedió a la determinación de las tasas o velocidades de infiltración en el área de evaluación, para su respectiva comparación con la precipitación artificial generada por las cintas de aspersión. En este estudio la velocidad de infiltración básica se determinó mediante el método de doble cilindro, siendo las dimensiones de dicho instrumento: diámetro del cilindro interno = 20 cm; diámetro del cilindro externo = 40 cm; y con una altura de 20 cm, como se puede observar en la Figura 6.



Figura 6. Prueba de infiltración, por el método de doble cilindro

Posteriormente una vez obtenido los datos de infiltración en campo, se procedió a calcular la velocidad de infiltración básica, con la Ecuación (7), señalado anteriormente.

3.3.2.3. Análisis físico del suelo

- **Textura del suelo**

Una vez preparado el terreno para la implementación del sistema de riego y su respectiva evaluación, se procedió a la determinación de la textura del suelo guiándonos en la Figura 7, el cual es determinado mediante el método de “Probeta de sedimentos suspendidos” llegando a determinar la principal textura del suelo.

Cuyo método consiste en determinar la altura de las partículas en un determinado volumen de suelo muestreado en una probeta de 250 ml o ya sea en un frasco de vidrio en forma de cilindro.

Y los pasos para conseguirlo son:

- Recopilación de muestras de suelo en la zona experimental en una probeta de 250 ml a una profundidad de 25 cm

- Agitamos y removemos por 1 minuto
- Dejamos reposar por 24 horas para que se vayan sedimentando por estratos de arena, limo y arcilla
- Una vez pasado el tiempo medimos los estratos de arcilla, arena y limo con una regla metálica, mediante una conversión de “ml a mm” obtuvimos porcentajes de cada uno.
- Llevamos los resultados al triangulo de texturas para determinar su textura
- Interpretamos los resultados

Los resultados de textura nos ayudaran a determinar la capacidad de retención del agua, drenaje y aireación, lo cual será crucial para la hora de aplicación riego en el terreno.

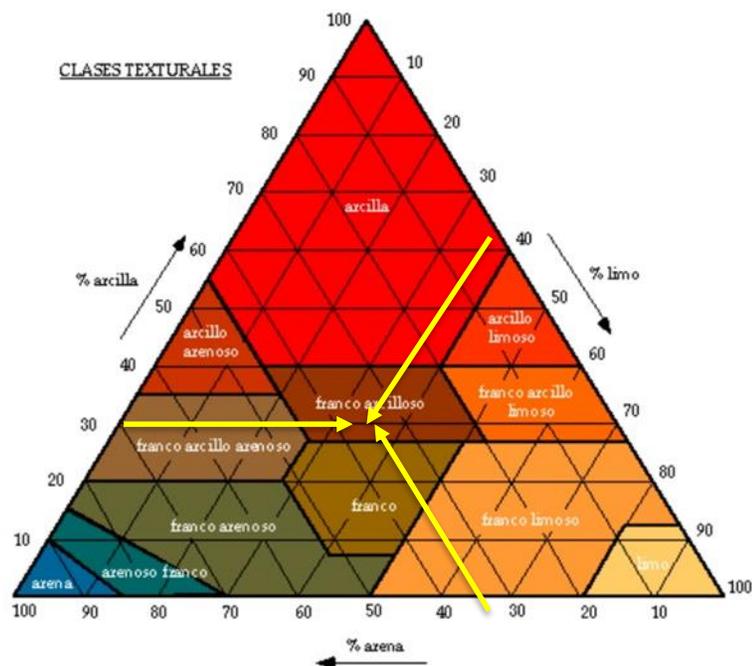


Figura 7. Triángulo textural (USDA, 1997)

- **Análisis de densidad aparente**

La densidad aparente (DA), generalmente es conocido como la masa de suelo seco en un determinado volumen (Sólidos + poros), donde su valor es relacionado con la porosidad existente en dicho volumen.

Una vez realizado la aplicación de riego en el suelo de la evaluación, se procedió a sacar un análisis de la densidad aparente del suelo el cual se caracteriza por la condición de la estructura del suelo y un indicador de la compactación de sí mismo. Dicho término “densidad aparente” es relacionado directamente con la composición mecánica, el contenido de materia orgánica, contenido de fragmentos de rocas y otras estructuras del suelo.

Esta medida de la densidad aparente es muy importante, donde indicara la cantidad de masa del suelo por unidad de volumen total, incluyendo los poros y partículas sólidas y los pasos para conseguirlo fueron:

- Recopilación de muestras en cilindros de acero de 5 cm de altura y un radio de 2,35 cm, en el área experimental
- Preparación de muestras para ser llevadas al laboratorio
- Determinación del Peso en balanza (en gramos) y medición del volumen del cilindro (área del cilindro x altura)
- Determinación de peso de muestra mojada del suelo de cada cilindro
- Preparado de muestras para llevarlo al horno por 24h (16°C a 20°C)
- Peso de la muestra seca del suelo
- Determinación de la densidad aparente en gabinete

3.3.2.4. Análisis de calidad de agua

El análisis de agua es fundamental para el destino donde se vaya utilizar este líquido vital, como el riego en la agricultura, ya que nos da a conocer las características físicas – químicas que se aplica al suelo productivo y también nos indicara si tales parámetros no dañan el material del que está hecho los sistemas de riego.

La evaluación sobre la calidad del agua utilizada para riego, se la realizó en el sitio utilizando el equipo “Multiparamétrico” de la Carrera de Ingeniería Agronómica (Universidad Pública de El Alto) para analizar los siguientes parámetros: temperatura, pH, ORP, conductividad eléctrica, turbidez, oxígeno disuelto, solidos totales disueltos y alcalinidad.

3.3.2.5. Determinación de características hidráulicas

Realizada la inspección de los componentes del sistema de irrigación, se procedió a determinar las características hidráulicas de cada cinta instalado, los cuales se encontraban bajo factores y tratamientos en estudio. Entre las principales características hidráulicas determinadas se tiene:

- Presión (bar)
- Caudal (l/min) (l/h)
- Alcance de riego (m)

3.3.2.6. Análisis de los principales parámetros técnicos

Para describir el comportamiento de las cintas de aspersión en riego, se realizó un análisis de los principales parámetros, tanto de la uniformidad y eficiencia de aplicación proporcionado por las cintas, 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 (cintas de aspersión Golden Spray), fueron distribuidas en función a un Diseño Completamente al Azar, con 3 tratamientos y 2 repeticiones. Llegando a trabajar de esta manera con un total de 6 cintas de aspersión instalados 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 con covariable, donde el diseño se aplicara para los parámetros técnicos (Ochoa, 2016).

Por lo que el modelo lineal aditivo es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \hat{\beta}(x_{ij} - \bar{x})\epsilon_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = Una observación

μ = Media poblacional

α_i = Efecto del i-ésimo tratamiento

$\hat{\beta}$ = 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

3.3.4. Formulación de tratamientos

Tratamiento T-1= Tiempo de riego de 2h

Tratamiento T-2 = Tiempo de riego de 1h

Tratamiento T-3= Tiempo de riego de 0,5h

3.3.5. Variables de respuesta

3.3.5.1. Características hidráulicas

3.3.5.1.1. 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 determinará en bares, mediante manómetros con glicerina de 4 a 6 bares de capacidad, los cuales serán 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 cintas de aspersion (pluviometría).

3.3.5.1.2. Caudal (Q)

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:

$$Q = \frac{v}{t} \quad (10)$$

La determinación de caudal de las cintas de aspersion fue mediante el método volumétrico en l/min, para lo cual se implementó tuberías de drenaje PVC con la intención de captar toda el agua emitido y recolectado en un contenedor.

3.3.5.1.3. 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 cinta, 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.

Cabe mencionar que la medida del alcance de riego se midió en un horario sin presencia de vientos, por ende, compararemos con el catálogo si el alcance es verdadero a una determinada presión de trabajo.

3.3.5.2. Parámetros técnicos

3.3.5.2.1. 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 cintas de aspersión de 10 m (Longitud de las cintas) 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:

$$Cu = 100 \times \left[1 - \frac{\sum(Hi - H)}{\sum Hi} \right] \quad (11)$$

Dónde:

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

H= Media de los volúmenes recogidos en cada pluviómetro, expresado en “ml”.

3.3.5.2.2. 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 cintas por aspersión, se llegó a calcular la eficiencia general de aplicación “Ea” conforme a lo siguiente:

$$Ea = \frac{\text{Lamina promedio recibida en el cuarto inferior (CI)}}{\text{Lamina promedio aplicada}} * 100 \quad (12)$$

Siendo:

-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.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Características edafoclimáticas

Para dar a conocer los resultados obtenidos en campo durante las evaluaciones, primeramente, es importante señalar tanto características del suelo como del clima en el área de evaluación, ya que estos llegan a influir de gran manera en el comportamiento del sistema de riego por aspersión.

4.1.1. Infiltración de agua en el suelo (V.I.B.)

Los resultados obtenidos mediante la prueba de velocidad de infiltración básica (V.I.B.) mediante el método de doble cilindro descrito en la Figura 8 y 9, la tasa de infiltración constante obtenida en campo fue de 5.23 mm/h descrito en el Anexo 2 y 3, lo que llegaría indicar que cada milímetro representa un 1 litro de agua recibida en un metro cuadrado en una hora. El valor de la tasa de infiltración limita el ritmo de aplicación de agua al terreno para que no haya escorrentía superficial. En las Figuras 8 y 9, se señalan los gráficos de velocidad de infiltración en cm/h, y lámina infiltrada en cm, donde la velocidad o tasa de infiltración muestra una variación de 33.08 a 0.52 cm/hr en un tiempo acumulado de 179 min, en cuanto a la lámina infiltrada (Z Inf) encontramos valores de 1.7 a 8.75 cm en un tiempo de 179 min.

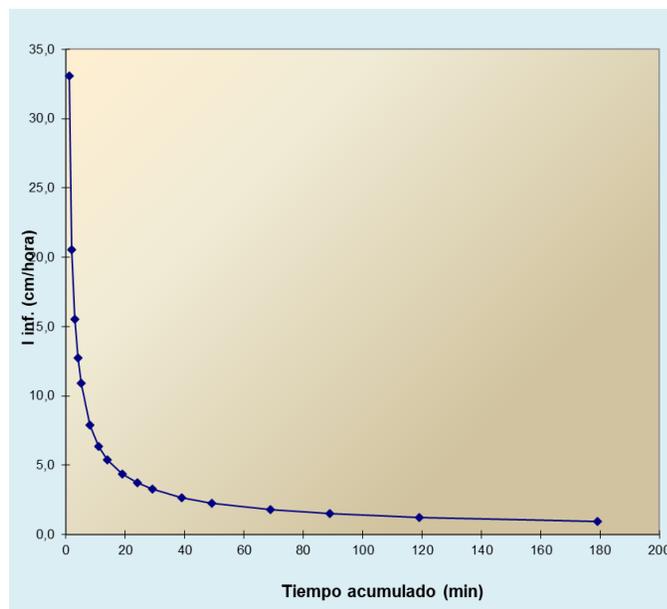


Figura 8. Curva de velocidad de infiltración (cm/h), obtenida en el área de ensayo

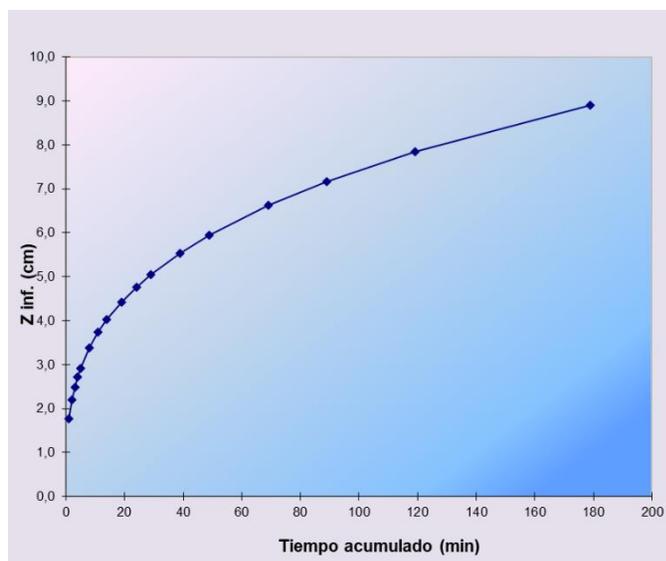


Figura 9. Curva de lámina infiltrada (cm), obtenida en el área de ensayo

Por tanto, para evitar el escurrimiento superficial cuando se riega por aspersión, la intensidad de la lluvia artificial que apliquen las cintas de aspersión (pluviometría de la cinta), debe ser siempre menor que la velocidad de infiltración estabilizada

Según los parámetros propuestos por Adena (2009), de varios tipos de suelos (Cuadro 2), se encuentra entre 5 a 10 mm/h, a esto se puede asumir que durante la prueba se contaba con las siguientes características: densidad aparente de 1,138 g/cm³, una textura franco arcillosa, la cantidad de arcilla es de 33%, limo 36% y arena 31% descrito en el Cuadro 5 y 6, donde la infiltración es moderada y la compactación es media, la topografía es llana que es un área producción con un valor considerable en contenido de arcilla y limo.

Giubergia (2011), hace mención en su trabajo de investigación la tasa de infiltración de agua en el suelo no mostro diferencias entre sus pruebas realizadas en sitios cercanos. Huat *et al.*, (2006) da entender que la fuerza de gravedad actúa de forma descendente durante la infiltración de agua sobre el suelo.

4.1.2. Resultados de análisis físico del suelo

- **Textura**

Los resultados de análisis físico del suelo sobre la textura se determinaron en Estación Experimental de Kallutaca, mediante el método de la “probeta” donde los valores están en la siguiente Ecuación (13), las partículas en reposo de los estratos medidos, el cual se detalla en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Resultados obtenidos de la textura del suelo

Arcilla (mm)	Limo (mm)	Arena (mm)	Altura total de los sedimentos (mm)
3,312	3,623	3,111	10

$$x = \frac{\text{Altura del sedimento de la partícula en mm}}{\text{Altura total de sedimentos}} * 100 \quad (13)$$

Cuadro 6. Valores de la textura del suelo

Arcilla %	Limo%	Arena%	Textura
33,12	36,23	31,11	Franco arcillosa

El Cuadro 6, nos da entender que la textura del suelo muestreado es de mayor contenido de limo, por tanto, mediante la proporción hallada de partículas de arcilla, limo y arena en porcentaje confirmamos que es de una textura franco arcillosa. Se procedió a ejemplificar cada proporción en el triángulo de texturas.

Donde el resultado se encuentra en la textura hallada, propuesto por un estudio realizado en la Estación Experimental de Kallutaca, permitiendo su clasificación a la misma como, franco arcilloso (Mamani, 2022).

- **Densidad aparente**

El análisis de densidad aparente del suelo fue determinado mediante el método del “cilindro metálico” en cual fue realizado en laboratorio de la Carrera Ingeniería Agronómica llegando a obtener los siguientes resultados, descrito en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Análisis de densidad aparente del suelo, correspondientes a resultados que fueron analizados en el laboratorio

Grupo	Cilindro		π	Volumen $V_t = \pi r^2$ * h (cc)	Mss g	$Da = \frac{M_{ss}}{V_t}$ $\frac{gr}{cm^3}$
	Altura (cm)	Radio (cm)				
1	5	2,35	3,1416	86,75	87,17	1,00
2	5	2,35	3,1416	86,75	98,95	1,14
3	5	2,35	3,1416	86,75	91,85	1,06
4	5	2,35	3,1416	86,75	109,82	1,27
5	5	2,35	3,1416	86,75	105,48	1,22
					X=	1,138

Se procede a verificar que la densidad aparente de la zona de evaluación es de 1,138 g/cm³, por tanto, es un valor de densidad media (aceptable) según los estándares, ya que indica que el suelo no está demasiado compacto ni suelto, lo que indicaría que es apto para el crecimiento de las plantas y apto para la retención de agua. Donde los valores de una densidad baja (<1,2 g/cm³) son suelos más sueltos con mayor retención de agua y baja retención de nutrientes y valores de una densidad alta (> a 1 g/cm³) es un indicador de suelos compactos de baja retención de agua perjudicial para las plantas (USDA, 1997).

Según los datos propuestos por un estudio realizado en la Estación Experimental de Kallutaca por Guarachi (2013), señala que la densidad de ese año era 1,4 g/cm³, después de una década desde este hallazgo, el suelo parece no reportar cambios significativos sobre el estado físico y grado de compactación del suelo cultivable.

4.1.3. Análisis de 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 (pozo de 5 x 4 m y 2m de profundidad) descrito en el Cuadro 8.

Cuadro 8. características físico-químicas del agua para riego

Lugar: Kallutaca	Fecha:	15/11/2023
Parámetros	Resultados	Unidades
Temperatura	16,2	°C
pH	8,30	pH
ORP	179,5	ORPmV
Conductividad eléctrica	0,2635	mS/cm
Turbidez	29,6	NTU
Oxígeno disuelto	9,44	mg/L OD
Oxígeno disuelto en %	96,125	% OD
Sólidos totales disueltos	0,143	g/L TDS
Salinidad	0,0105	%

Los resultados obtenidos del análisis de agua, donde el pH medido fue de 8,30, indica que el agua es ligeramente alcalina, donde el resultado se encuentra dentro del rango normal (6,5 – 8,4), propuesto por un estudio realizado en la Estación Experimental de Choquenaira en La Paz, permitiendo su clasificación a la misma como, rango aceptable (Callisaya y Castillo, 2018).

Los resultados obtenidos del ORP (Potencial de Reducción Oxidación) fue 179 mV (milivoltios) este parámetro indicaría la capacidad de una solución para ganar o perder electrones y la supervivencia o muerte de los microorganismos, donde consideramos su valor por debajo de lo preestablecido para el consumo humano y nos da entender que hay una pérdida de electrones y que organismos como bacterias y virus están latentes en el agua representando un peligro. Un ORP de 650 mV adecuado para el consumo de agua potable, ya que asegura la desactivación de microorganismos (AgriNews, 2019).

La conductividad eléctrica expresada en dS m⁻¹ donde el valor es 0,2635 mS/cm², está dentro del rango usual permitido de agua para riego 0 – 3, propuesto por un estudio realizado en el Estación Experimental de Choquenaira – La Paz, permitiendo su clasificación a la misma como moderada (Callisaya y Castillo, 2018).

Cabe señalar que la turbidez (NTU) en el agua es una característica óptima, que en general, permite describir la claridad y no el tono oscuro. Es importante no confundir la turbidez con el color, sino que está relacionado más con pérdida de claridad por el efecto de partículas en suspensión y material coloidal.

Analizando los resultados obtenidos en la prueba podemos ver una media de 29,6 NTU que es bastante turbio para la aplicación de riego por aspersión. La turbidez del agua puede afectar la eficiencia de riego y provocar obstrucciones si el agua contiene un alto nivel de sólidos en suspensión esto puede reducir el suministro de agua hacia las plantas y perjudicar su desarrollo (Buitrago y Iagua, 2023)

No hay un valor único considerado como ideal para la turbidez del agua. La idoneidad del agua para riego depende de varios factores, incluyendo al tipo de cultivo, el sistema de riego utilizado y las condiciones específicas del entorno agrícola (HigieneAmbiental, 2018).

La turbidez del agua para consumo humano no debe superar en ningún caso las 5 NTU y estar por debajo de 1 NTU, Organización Mundial de la Salud (OMS, 1999).

Los valores del oxígeno disuelto (OD) mide la cantidad de oxígeno disponible en el agua, con un valor obtenido de 9,44 mg/L que esta fuera del rango aceptable, donde el valor apto para Oxígeno Disuelto para riego agrícola es variable, sin embargo en general, se considera un rango de 3 – 4 mg/L de OD recomendado para un cultivo hortícola y ornamental. Este nivel de OD es fundamental para evitar asfixia radicular y así garantizar un crecimiento óptimo de las plantas durante el riego agrícola (SOB Distribuidores, 2017).

Los sólidos totales (TDS) están comprendidos principalmente por sales inorgánicas entre las mencionable como calcio, magnesio, potasio, sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos también puede presentar pequeñas cantidades de materia orgánica presentes en el agua.

Analizando los resultados obtenidos durante la prueba fue de 0,143 g/L TDS, Según HACH, (2024) menciona que para el valor de sólidos totales disueltos en el agua para riego agrícola se adecua por debajo de 200mg/L.

Según el Reglamento NB 512, del Compendio Normativo sobre Calidad de Agua para Consumo Humano (2018), recomienda como valor máximo 1000 mg/L lo que es igual 1g/L valores mayores podrían influir en la palatabilidad del agua,

Los valores de salinidad en el agua de riego se expresaron en porcentaje donde el valor fue de 0.0105% donde la salinidad presente en la fuente de agua indicaría que es baja debido que es < a 1%, el rango adecuado también lo podemos determinar según la conductividad eléctrica (CE) en dS/m, mencionado anteriormente donde fue de 2,2635 mS/cm convertido a 0,002264 dS/m que llegaría a indicar que el valor está por debajo de los parámetros de riesgo. Según estudios de la FAO mencionado por Universidad Internacional de Riego, (2017) se considera que el agua es de buena calidad para riego cuando la salinidad está

por debajo de 0,7 dS/m valores superiores representan un riesgo para las plantas y cuando rebasa los 3 dS/m es riego para los cultivos es elevado.

4.1.4. 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), indica que dentro de los principales factores que influyen en las pérdidas de agua por evaporación por el viento se puede señalar a la humedad del ambiente, la temperatura de aire y agua, la velocidad de viento y otras características, por ende, las frecuencias de riego, están directamente relacionadas con las condiciones climáticas, Tanto así como ejemplo a temperaturas altas y humedad relativa baja provocan una mayor demanda de agua por los cultivos, lo que se traduce en la necesidad de disminuir 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 el mes de septiembre, 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 del mes de septiembre fueron procesados y analizados donde se detallan bajo el Cuadro 9.

Cuadro 9. El comportamiento de la temperatura en los días evaluados

Mes (septiembre)	Temp. Media (°C)	Temp. Máxima (°C)	Temp. Mínima (°C)
2/09/23	9.6	17.9	0.6
11/09/23	8.3	19.4	-4.1
12/09/23	9.5	18.8	-1,1
16/09/23	8.6	18.8	-1.3
20/09/23	9.2	18.1	1.2
25/09/23	10.3	21.0	-0.4

Los valores de temperatura, pueden ser analizadas de mejor manera en el Anexo5, donde se puede ver que la temperatura del ambiente cambia constantemente a medida que transcurre las horas cuyos valores fueron claves a la hora de aplicar riego por aspersión.

- **Velocidad del viento**

Los resultados de velocidad de viento del mes de septiembre fueron procesados y analizados donde se detallan bajo el siguiente Cuadro 10. 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.

Cuadro 10. El comportamiento de la velocidad de viento (m/s) en los días evaluados

Fecha de evaluación	Hora de evaluación	Velocidad del viento
Fecha	(am o pm)	(m/s)
2/9/2023	13:00 a 14:00	1.6
11/9/2023	13:30 a 15:30	0.7
12/9/2023	11:00 a 12:00	1.1
16/9/2023	11:35 a 12:35	1.3
20/9/2023	6:00 a 7:00	0
25/9/2023	11:30 a 12:00	0.8

4.2. Características hidráulicas de una cinta de aspersión Golden Spray

Cada emisor que esta perforado en la cinta de aspersión Golden Spray 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 cinta de aspersión Golden Spray depende de la presión de trabajo ejercida de la bomba, el número emisores perforados y el diámetro de la cinta. En

general, el caudal se elevará según la presión de trabajo y/o el diámetro de la cinta. Es por esto que el fabricante dispone de catálogos que presentan las características de funcionamiento disponibles en el mercado, por otro lado, el Cuadro 11 muestra los valores obtenidos de caudal vs la presión ejercida.

Cuadro 11. Caudal teórico emitido por una cinta de aspersión (l/s) y (l/h) según la presión de trabajo

Presión (Bar)	Caudal (l/s)	Caudal (l/h)
0,5	0,15	528,96
0,6	0,18	633,39
0,7	0,20	737,83
0,8	0,23	842,26
0,9	0,26	946,70
1	0,29	1051,13
1,2	0,35	1260

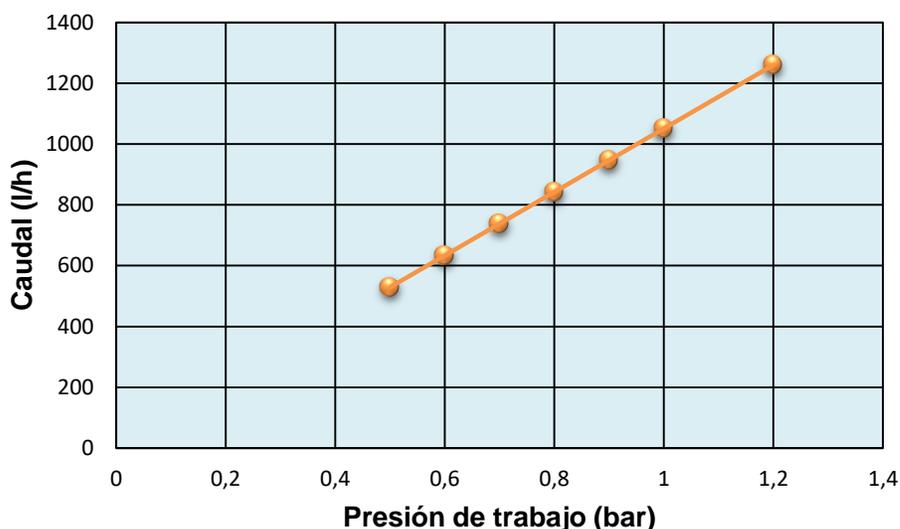


Figura 10. Curva caudal versus presión (Q vs P), obtenido en campo mediante el método volumétrico para la cinta de aspersión

En la Figura 10, se presentan los resultados de la evaluación hidráulica de gasto vs presión de una muestra de 10 m de cinta, donde se puede apreciar que para una presión mínima de 0.5 bares, de la cinta entrega un Caudal de 598.96 l/h (0.15 l/s) y para una presión máxima de 1.2 bares, llega a entregar un caudal de 1260 l/h (0.35 l/s). Por otro lado, la curva (Q vs P), de igual manera puede ser determinada, mediante la Ecuación hidráulica [10], empleando los valores de caudal a determinadas presiones.

En la determinación hidráulica, se emplearon cintas de aspersión Golden Spray de 1" y 1/4 de diámetro donde se ven sus especificaciones de catálogo en el Cuadro 1, a una distancia de 4 metros de cinta a cinta en la tubería principal, cuyo diseño fue sometido a una presión de trabajo, para determinar la resistencia de la cinta (caudal de la cinta).

En el presente estudio se determinó que el caudal versus presión de las cintas Golden Spray de 1" y 1/4 (pulg.) a una presión de 1.2 bares es de 1260 l/h (0.35 l/s). Estos resultados contrastan con los obtenidos por López (2005), quien reporto un caudal de 2052 l/h (0.57 l/s) a una presión inferior de 0,3 bares (3.00 m.c.a.) para cintas de aspersión de 2" (pulg.), es necesario señalar que estos datos no presentan los alcances de riego los cuales justifican la presión y el caudal emitido, lo cual imposibilitan de alguna manera ver si las presiones eran ideales para ese sistema.

En contraste en nuestro estudio donde se trabajó con cintas de aspersión de 1" y 1/4 (pulg.), donde se obtiene un caudal menor (1260 l/h) incluso con la presión de trabajo más alta (1.2 bar). Este comportamiento se alinea con la Ecuación de continuidad, donde el aumento de la sección del área transversal de las tuberías permite un mayor flujo de agua a las cintas de aspersión. La variación de las condiciones experimentales y métodos de medición son la clave para llegar a determinar valores reales, las diferencias en la metodología pueden explicar, las discrepancias observadas en los resultados propuestos por López (2005).

Según hallazgos de Alanoca (2005), presenta una investigación, donde trabajo con las cintas de aspersión (Sumisansui de 2 pulg.) con una presión de trabajo de 0,25 bares (2,25 m.c.a) donde obtuvo un caudal de 2052 l/h (1,3 l/s) con una longitud de 50 metros de cinta entre 4 metros de distancia, donde afirma que uso 6 laterales de cintas en funcionamiento. Donde esta discrepancia sobre la presión de trabajo ejercida versus el caudal podría deberse errores metodológicos diferentes en la recopilación de datos en el estudio o a diferencias de la calibración en los instrumentos de medición.

Según Guarachi (2013), indica que el caudal expulsado en el método de riego por aspersión, aumenta a mayor presión de trabajo, sin embargo, puede variar por el modelo y la marca que se instaló en el sistema.

4.2.2. Alcance de riego (Ar)

El alcance mojado de una cinta de aspersión Golden Spray, 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 cintas 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 cintas de aspersión de 4 metros de cinta a cinta, 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 12. Alcance de riego (m), teórico con efecto del viento y sin el efecto del viento a una determinada presión de funcionamiento

ALCANCE DE RIEGO				
Hora de medición (am y pm)	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Alcance de riego (m)	Presión de trabajo (bar)
07:00	SV	0.0	6	1.2
12:00	ENE	0.8	6.5	1.2
14:00	NE	1.6	6.9	1.2
12:00	ENE	1.1	7	1.2
12:35	S	1.3	7.5	1.2
15:30	SSE	0.7	7.70	1.2

En el Cuadro 12, se presentan los valores obtenidos de la variable de alcance de riego (m) en la parcela evaluada, donde podemos observar el alcance de riego que tuvo bajo las inclemencias climáticas en la hora que se evaluó con una presión de trabajo de 1,2 bar, cabe mencionar que el alcance de riego llega a ser determinado a la presión de trabajo ejercida. La lectura más resaltante en el alcance de riego que se midió en un horario sin la presencia de vientos con un valor uniforme de 6 m hacia los laterales de la cinta, por lo tanto, concluimos que en las demás lecturas medidas en diferentes horarios, el arrastre por viento (m/s) es inminente a la hora de determinar y/o verificar dicho alcance.

Según Guarachi (2013), señala que a mayor presión de trabajo ejercida genera un mayor alcance mojado, también considera que la influencia y la velocidad del viento es una condición mala que afecta a la hora de medir el alcance.

Cuadro 13. Relación de alcance de riego teórico

Presión (Bar)	Alcance de riego (m)
0,5	2,8
0,6	3,3
0,7	3,7
0,8	4,2
0,9	4,6
1	5,1
1,2	6

En el Cuadro 13, llegamos a interpretar la relación de alcance de riego bajo la presión ejercida de la bomba de 0,5 bar a 1,2 bar, donde dichas lecturas serán determinantes a la hora de medir parámetros de uniformidad y eficiencia. La presión es una variable muy importante a la hora de determinar el alcance de riego, ya que el alcance llega a ser dependiente de la presión ejercida. Además, se verifico el alcance de riego teórico del catálogo a una determinada presión de trabajo recomendada del fabricante, donde indican que a 1 bar de presión genera un alcance de 6m, donde en el Cuadro ya mencionado anteriormente podemos ver que para obtener dicho alcance de riego mojado de 6 m se debe trabajar a una presión de 1,2 bar y que el alcance que recomienda el fabricante solo genera un alcance de 5,1 m a una presión de 1 bar verificado en este estudio.

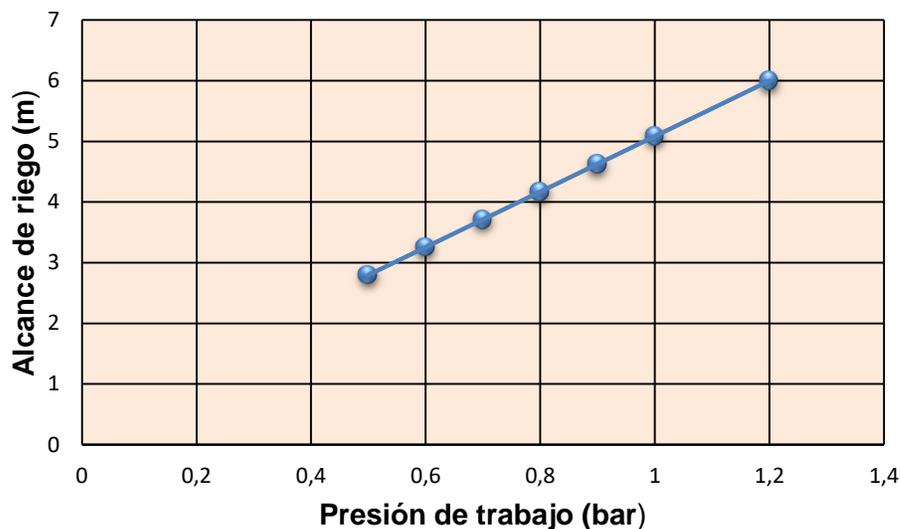


Figura 11. Curva de alcance de riego media de la cinta aspersión para un alcance de riego obtenido en relación a la presión de funcionamiento (Bar)

La Figura 11, se presenta la curva de alcance de riego teórico a una determinada presión de funcionamiento de las cintas de aspersión Golden Spray, donde se puede apreciar que a una presión mínima de 0,5 bar, las cintas de aspersión genera un alcance hacia sus laterales de 2,8 m, para 0,6 bar un alcance de 3,3 m, a 0,7 bar un alcance de 3,7 m, a 0,8 bar un alcance de 4,2 m, a 0,9 bar un alcance 4,6 m, a 1 bar un alcance de 5,1 m y para una presión máxima 1,2 bar un alcance de 6 m.

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 cintas por aspersión sobre su área mojada, es decir la altura de la lámina de agua media recibida en el terreno experimental de 40 m² en un tiempo determinado fue determinado mediante la Ecuación (1), de pluviometría descrita anteriormente.

INIA-CARILLANCA (2001) mencionado por Guarachi (2013), señalan que la pluviometría es el parámetro que más frecuentemente se utiliza para definir la intensidad de lluvia proporcionada por las cintas de aspersión hacia la parcela experimental. Una vez, obtenido

los resultados de medición de caudal (l/h), como el alcance de riego emitidos y expresados anteriormente en las tablas dentro de lo que son las características hidráulicas de las cintas de aspersión Golden Spray, se procedió a obtener los diferentes valores de pluviometría.

Por lo tanto, en el Cuadro 14, se indica los diferentes valores de la pluviometría media de una cinta expresado en mm/h, dichos valores son obtenidos a una presión de funcionamiento (bar) y además valores de alcance aplicado de riego teórico (m), el caudal desfogado en (l/h), siendo importante recalcar que tanto los resultados de caudal como alcance de riego aplicado llegan a ser prácticamente dependientes de la presión de trabajo o funcionamiento.

Cuadro 14. Pluviometría media de una cinta (mm/h), para un alcance de riego teórico, a una determinada presión de funcionamiento y caudal emitido

Presión (Bar)	Pluviometría media de una cinta (mm/h)
0,5	13,22
0,6	15,83
0,7	18,45
0,8	21,06
0,9	23,67
1	26,28
1,2	31,50

La curva de la pluviometría media de una cinta (mm/h), para un alcance de riego teórico (m), a determinadas presiones de funcionamiento y caudal desfogado, donde se puede observar que para una presión mínima de funcionamiento de 0.5 bar y valores de caudal y alcance de riego generados a la misma presión mencionados anteriormente, la cinta Golden Spray emite una pluviometría media de 13,22 mm/h y para una presión de funcionamiento de 1.2 bar, la cinta llega a emitir una pluviometría media de 31,5 mm/h.

Según INIA-CARILLANCA (2001) citado 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 cintas 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 cintas a una adecuada presión de trabajo, donde en una disposición o marco rectangular entre cintas y velocidades del viento menores a los 2 m/s. lo cual llega a ser recomendable para una buena uniformidad, la separación entre las cintas y ramales de riego debe ser el 50% del alcance de riego mojado obtenido.

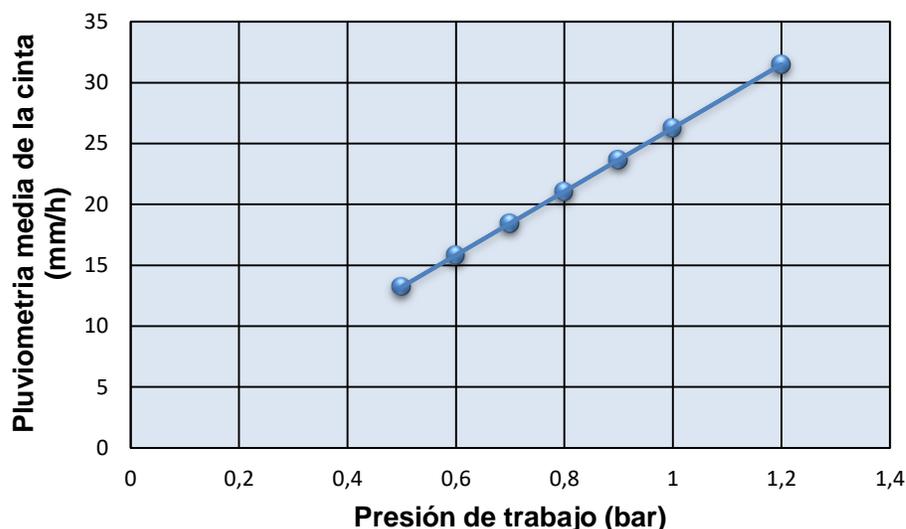


Figura 12. Curva de pluviometría media de la cinta aspersión para un alcance de riego obtenido en relación a la presión de funcionamiento (Bar)

Con los valores de la Figura 12, podemos ver la cantidad de agua ofertarle al suelo según la presión de trabajo ejercida, recordando que en nuestra prueba de Infiltración (V.I.B.) recibe (Retiene) una pluviometría de 5,23 mm/h, por tanto, se puede determinar que a la presión de trabajo ejercida de 1,2 bares en las evaluaciones, con una pluviometría 31,5mm/h que es seis veces más de lo que el suelo pueda retener y por tanto ocasionaría una lámina sobresaliente sobre el suelo donde provocaría encharcamiento y escorrentía superficial que se puede ver en el Anexo 27.

Según La Universidad de Sevilla (2008), señala que este parámetro se utiliza con más frecuencia para predecir la intensidad de lluvia artificial aplicada (mm/h), donde se debe considerar un marco de riego para que la aplicación sea homogénea en todo sentido.

Según datos propuestos por Guarachi (2013), la pluviometría o precipitación artificial en su evaluación técnica de aspersores caseros de 0,3 a 2 bar, la uso para calcular cuánto de

lámina aplicada que recibía sus pluviómetros en el área de evaluación, de acuerdo al caudal versus la presión que emitía sus aspersores, donde registro una precipitación aplicada de 4.896 mm/h a una presión de 1.2 bar en un marco de riego cuadrangular.

Cabe señalar en el presente estudio solo se realizó la pluviometría o precipitación con un traslape entre 2 cintas de aspersión a una distancia de 4 m para cada área de evaluación (40 m^2), llegando a obtener una pluviometría o precipitación de 31,5 mm/h con un caudal de 1260 l/h a una presión de 1,2 bar. Las diferencias entre sistemas de riego pueden explicar, al menos en parte, las discrepancias observadas en los resultados.

4.3. Principales parámetros de evaluación

La elección de una cinta, comprende la determinación de la presión nominal de trabajo a aplicar y de la pluviometría media, es por esto que los fabricantes deben brindar, para cada tipo de cinta y para todas las presiones de trabajo, los valores de la pluviometría y de los coeficientes de uniformidad que corresponden a las diferentes distancias de uso. A lo cual, la pluviometría media brindada por las cintas de aspersión a diferentes distancias, fueron detallados anteriormente, conjuntamente con las características hidráulicas de la cinta, pero 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 cintas 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 cintas por aspersión Golden Spray, 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 interpretación de los resultados obtenidos, Cuadro 15, se los 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), puede llegar a ser

afectada en algún grado, durante las evaluaciones en el campo experimental por otra variable de respuesta (velocidad del viento). Por esta razón se debe comprobar esta situación, 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 15. Análisis de covarianza (ANCOVA) para determinar el coeficiente de uniformidad (CU), influenciado por el viento en 3 tratamientos de las cintas Golden Spray

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F	SIG.	Coef.
Tiempo	2	20,36	10,18	0,47	0,6391	NS	
Viento	1	217,48	217,48	10,12	0,0130	Sig.	-8,63
Error	8	171,90	21,49				
Total	11	449,67					
Promedio (cm)							
CV (%) =6,80							

En el Cuadro 15, se observa el ANCOVA, obtenido mediante el Análisis de Varianza con Covariable. Examinado los resultados apreciamos que no se tienen diferencias entre los tiempos aplicados (tratamientos) en cuanto a la variable dependiente el Coeficiente de uniformidad (CU%) ya que $Pr > 0.05$.

Por otro lado, el valor de p de 0,0130 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 -8,63 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 (CU %) haciendo que disminuya por el arrastre que genera en la parcela experimental, ya que el valor de p es menor que 0,05. El efecto de los tiempos (tratamientos) indica que no se encontraron diferencias significativas en cuanto a la uniformidad entre los diferentes tiempos aplicados.

Por tanto, con esto comprobamos que en este estudio la influencia del viento (m/s) sobre la evaluación del riego por aspersión en cintas Golden Spray, es de gran importancia para

obtener mayores y/o mejores resultados, ya que como se mencionó anteriormente, este es otro factor que influye negativamente sobre la uniformidad del riego (CU%).

El coeficiente de variación es 6,80 %, donde nos establece la confiabilidad de los datos estudiados y/o evaluados, nos permite cuantificar en términos porcentuales la variabilidad de las unidades experimentales, frente a los tiempos de aplicación (tratamiento), por lo tanto, aceptamos la hipótesis planteada desde un principio de la investigación que menciona que los principales parámetros técnicos, no presentan diferencias significativas con el uso de cintas de aspersión Golden Spray en diferentes tiempos de aplicación.

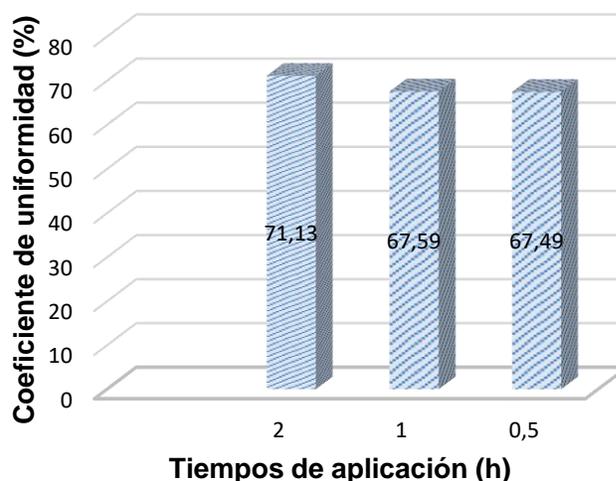


Figura 13. Coeficiente de uniformidad (%) para tiempos de aplicación

La variación del viento influyo en las diferentes evaluaciones realizadas en este estudio, lo que dificulto obtener un promedio significativo de la Coeficiente de uniformidad (CU) para cada tratamiento. Dado que el viento se convierte en una variable que modifica la variable principal (CU), se recurrió al Análisis de Covarianza para obtener la media ajustada del Coeficiente de Uniformidad en cada uno de los tres tratamientos lo cual fue posible utilizando las expresiones presentadas.

La Figura 13, la prueba de Duncan ($\alpha = 5\%$), proporciona una representación visual clara de las medias del coeficiente de uniformidad (CU%) para los diferentes tiempos aplicados (2h, 1h y 0,5h) con el uso de las cintas Golden Spray, se puede ver a simple vista la ausencia de diferencias significativas entre los tiempos aplicados, esto se refleja en la súper posición de las barras de medias con los siguientes valores $T2(1h) = 71,13\%$, $T1(2h) = 67,59\%$ y $T3(0,5h) = 67,49\%$. Esto refuerza la conclusión de que, aunque las diferencias aparentes en las medias de tiempo no son estadísticamente significativas.

Según Keller y Bliesner, (2000) los datos obtenidos de una serie de pruebas para un $C_u > 70\%$ es considerada una distribución normal y razonablemente simétrica en torno a la media.

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 óptimo las velocidades inferiores a 1 m/s.

Faci y Bercero (1991), señalan que el viento viene definido por dos magnitudes: la dirección donde sopla y su velocidad. Donde está sometido a perturbaciones producidas por los obstáculos que tiene que atravesar y por el rozamiento por el suelo.

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).

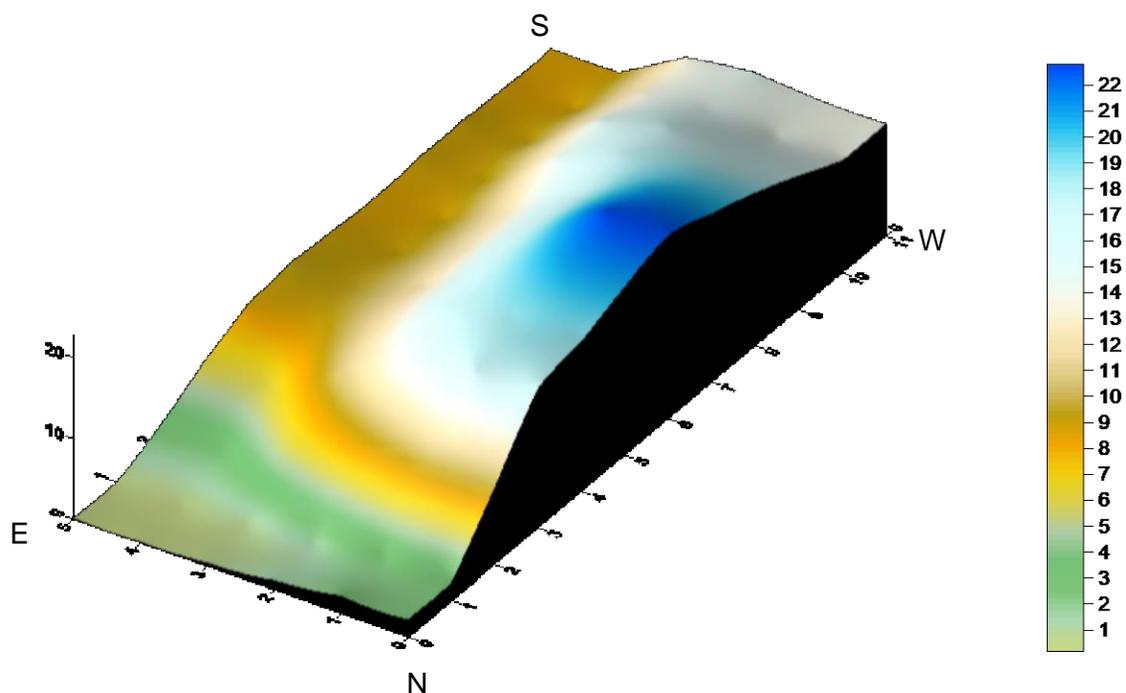


Figura 14. Representación tridimensional de la pluviometría (mm), de 1 m x 1m, resultante del solapamiento 2 cintas de aspersión Golden Spray, en una distancia de 4 metros de cinta a cinta, obteniendo un Coeficiente de uniformidad (CU) de 61%, a una velocidad del viento de 1.6 m/s en un tiempo de aplicación de 1 hora

En la Figura 14, observamos los datos obtenidos mediante la pluviometría en la primera evaluación, graficado tridimensionalmente mediante el simulador (SURFER), donde nos permite apreciar la uniformidad de riego (1h) donde se aplican la lámina de agua en el área de evaluación. La uniformidad (CU%) de riego que se representa es del 61% dentro de la parcela regada en un área de 40 m², con la implementación de dos líneas de cintas de aspersión. El valor de 61% de uniformidad, indica que el 61 % de la parcela llegó a recibir una lámina de riego ideal para la producción, por otro lado, el 39%, da referencia a la superficie que presenta láminas de riego en exceso o déficit, debido principalmente al arrastre provocado por el viento o por la evaporación producto de la radiación solar.

Considerando los efectos del viento, es importante señalar que el registro de este durante la evaluación indica un arrastre con dirección al noreste (NE) con una velocidad de 1,6 m/s. Se considera que a mayor velocidad del viento la uniformidad reduce y a menor efecto del viento la uniformidad se incrementa. Con respecto a la presión de funcionamiento, el cual es fundamental para la distribución de la lluvia artificial en la parcela. Durante la evaluación se registró una presión de trabajo de 1.2 bares, en un tiempo de riego de 1 hora.

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, esto lo podemos observar en la siguiente Figura 15.

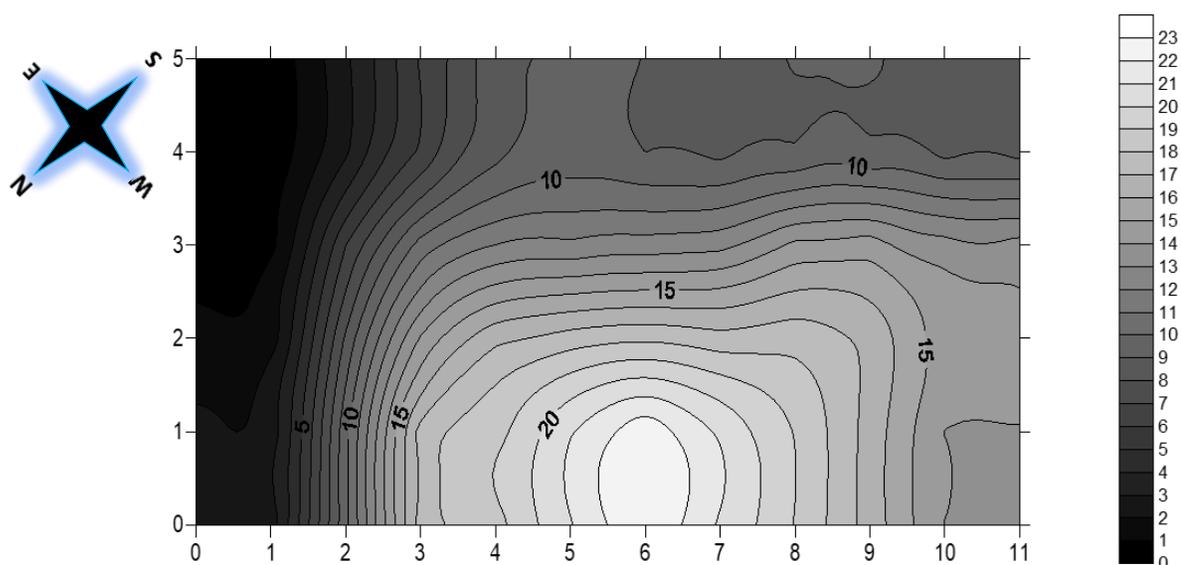


Figura 15. Visualización del área evaluada, de 1 m x 1 m, señalando las zonas con mayor y menor altura de agua aplicada (mm), obteniendo un CU de 61%, a una velocidad del viento de 1.6 m/s en un tiempo de aplicación de 1 hora

En la Figura 15, se puede contemplar las curvas de nivel del área evaluada, conjuntamente con una escala de color (negro), donde las zonas con una tonalidad más clara señalan puntos con mayor lámina de agua aplicada ideal (mm), presentándose con mayor incidencia, en la zona media de norte (N) y oeste (W) del área evaluada entre dos cintas por aspersión Golden Spray, debido al solapamiento entre ellos y por otro lado las tonalidades oscuras de la escala, señalan puntos con un menor grado o déficit de lámina de agua aplicada, que generalmente están ubicadas en la zona este (E) de la parcela experimental . Obteniéndose láminas de agua entre los 0 a 23 mm.

Para su mejor comprensión, los sectores donde las curvas de nivel estas más separadas, demuestra que se presenta una distribución de agua más uniforme, lugares donde las curvas de nivel están más ceñidas, implica que hay un cambio brusco sobre la lámina repartida en la superficie regada, llegando a disminuir la uniformidad de riego en toda la parcela evaluada. Es de esta manera que, en la evaluación de riego se registra un Coeficiente de Uniformidad del 61%, considerando este valor, conforme a lo descrito en el Cuadro 3 por el Servicio de Asesoramiento al Regante (2010) citado por Guarachi (2013), llega a clasificarse como una uniformidad inaceptable, donde se considera como una uniformidad buena a valores de 80 al 85%.

Según Pivote RKD, (2021) señala que el coeficiente de uniformidad de 60 al 70% es recomendable para ciertos cultivos. Este parámetro se utiliza para determinar la eficiencia del sistema en una distribución lo más posible homogénea de la lámina aplicada donde los valores de 60 a 70% indican que podrían llegar a ser aceptables en riego por aspersión, pero no son ideales, donde implica gastos extras. Sin embargo, un parámetro menor del

70% es un valor de alerta que aconseja no seguir operando para evitar gastos, donde se aconseja ver los factores que llegan a afectar al sistema de riego.

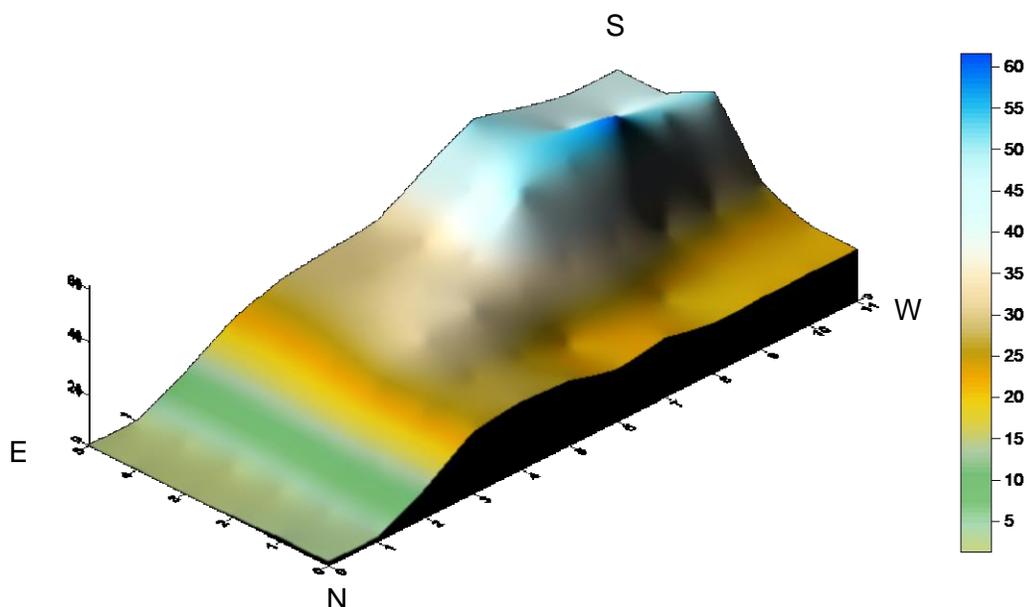


Figura 16. Representación tridimensional de la pluviometría (mm), de 1m x 1 m, resultante del solapamiento 2 cintas de aspersión, en una distancia de 4 metros de cinta a cinta, obteniendo un CU de 60 %, a una velocidad del viento de 1,6 m/s en un tiempo de aplicación de 1 hora

En la Figura 16, analizamos los datos obtenidos mediante la pluviometría en la segunda evaluación, graficado tridimensionalmente mediante el simulador (SURFER), donde nos permite observar la uniformidad de riego (1h), donde se aplica la lámina de agua en el área de evaluación. La uniformidad (CU%) de riego que representa es del 60% dentro de la parcela regada en un área de 40 m², con la puesta en funcionamiento de dos líneas de cintas de aspersión. Cuyo valor de es 60% de uniformidad, indica que el 60 % de la parcela llegó a recibir una lámina de riego ideal para la producción, por otro lado, el 40%, da alusión a la superficie que presenta láminas de riego en exceso o déficit, principalmente al arrastre provocado por el viento o por la evaporación producto de la radiación solar.

Denotando los efectos del viento, es importante señalar que el registro de este durante la evaluación indica un arrastre con dirección al noreste (NE) con una velocidad de 1,6 m/s. Se considera que a mayor velocidad del viento la uniformidad reduce y a menor efecto del viento la uniformidad se aumenta. Con respecto a la presión de funcionamiento, durante la evaluación se registró una presión de trabajo de 1.2 bares, en un tiempo de riego de 1 hora.

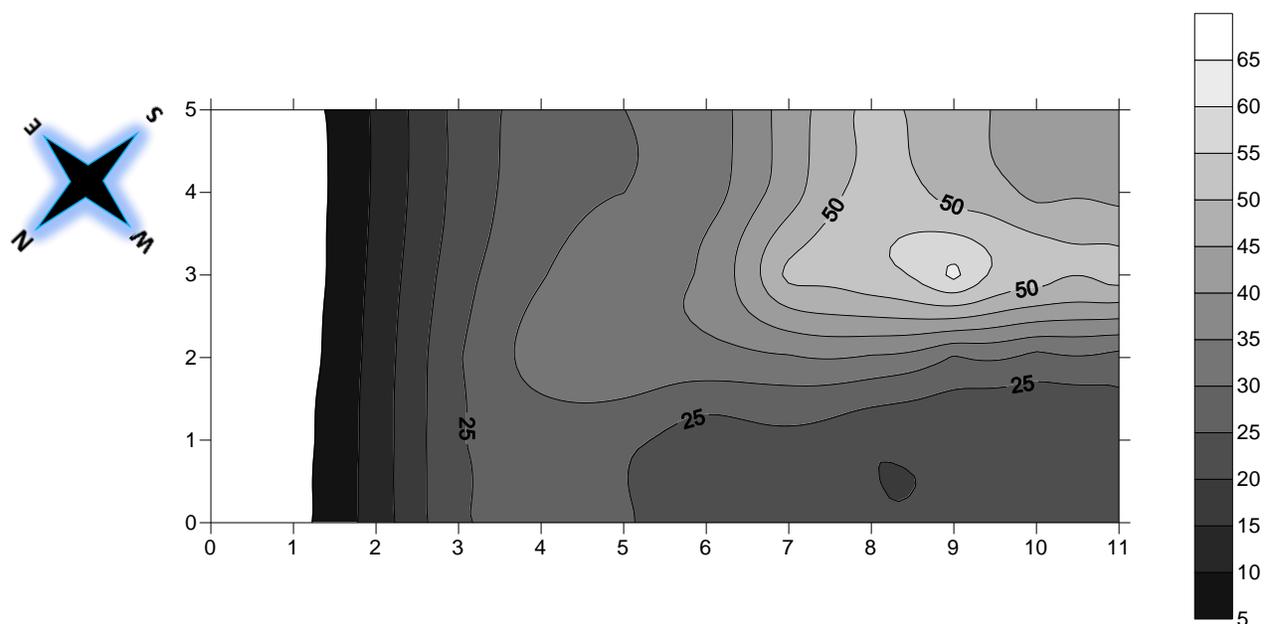


Figura 17. Visualización del área evaluada, de 1 m x 1 m, señalando las zonas con mayor y menor altura de agua aplicada (mm), obteniendo un CU de 60%, a una velocidad del viento de 1,6 m/s en un tiempo de aplicación de 1 hora

En la Figura 17, podemos notar la visualización de curvas de nivel del área evaluada, conjuntamente con una escala de color (negro), donde los sectores con una tonalidad más clara señalan puntos con mayor lámina de agua aplicada ideal (mm), presentándose con mayor incidencia, en la parte de sur del área evaluada entre dos cintas por aspersión Golden Spray, debido solapamiento entre ellos y por otro lado las tonalidades oscuras de la escala, señalan puntos con un menor grado o déficit de lámina de agua aplicada, que generalmente están situadas en la zona este (E), norte (N) y oeste (W) de la parcela experimental, alcanzando láminas de agua entre los 5 a 65 mm de espesor.

Para su mejor discernimiento, los sectores donde las curvas de nivel estas más separadas, revela que se presenta una distribución de agua más uniforme, lugares donde las curvas de nivel están más ceñidas, implica que hay un cambio brusco sobre la lámina repartida en la superficie regada, llegando a disminuir la uniformidad de riego en toda la parcela evaluada. Es de esta manera que, en la evaluación de riego se registra un Coeficiente de Uniformidad del 60%, considerando este valor de acuerdo a lo descrito en el Cuadro 3 por el Servicio de Asesoramiento al Regante (2010) citado por Guarachi (2013), llega a clasificarse como una uniformidad inaceptable, donde se considera como una uniformidad buena a valores de 80 al 85%.

Tarjuelo (2005), citado por Cisneros *et al.* (2019), establece que una clasificación de calidad de riego a partir del coeficiente de Uniformidad, donde plantea que porcentajes (CU%) menores a 85% está mal regada la parcela. Atendiendo a este criterio se considera a la parcela como mal regada fuera del rango de aceptación (CU%=60 < 85).

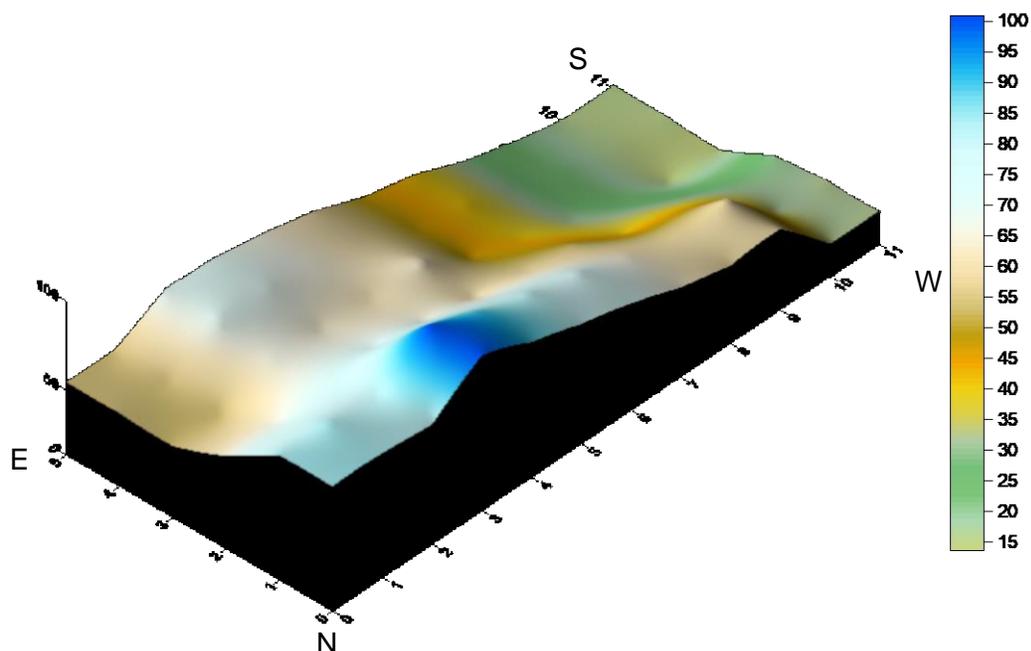


Figura 18. Representación tridimensional de la pluviometría (mm), de 1 m x 1 m, resultante del solapamiento 2 cintas de aspersión, en una distancia de 4 metros de cinta a cinta, obteniendo un CU de 70%, a una velocidad del viento de 0.7 m/s en un tiempo aplicado de 2 horas

En la Figura 18, observamos los datos obtenidos mediante la pluviometría en la tercera evaluación, graficado tridimensionalmente mediante el simulador (SURFER), donde nos permite distinguir la uniformidad de riego, donde se aplicaron la lámina de agua en el área de evaluación. La uniformidad (CU%) de riego que representa es del 70% dentro de la parcela regada en un área de 40 m², con la implementación de dos líneas de cintas de aspersión. El valor obtenido de 70% de uniformidad, indica que el 70 % de la parcela llegó a recibir una lámina de riego ideal para la producción, por lo tanto, el 30%, da referencia a la superficie que presenta láminas de riego ya sea en exceso o déficit, debido principalmente al arrastre provocado por el viento o por la evaporación producto de la radiación solar.

Considerando los efectos del viento, es importante señalar que el registro durante la evaluación indica un arrastre con dirección al sur sureste (SSE) con una velocidad de 0.7

m/s. Se considera que a mayor velocidad del viento la uniformidad disminuye y a menor efecto del viento la uniformidad se incrementa notablemente.

Con respecto a la presión de funcionamiento ejercido, durante la evaluación se registró una presión de trabajo de 1.2 bares, en un tiempo de riego de 2 horas.

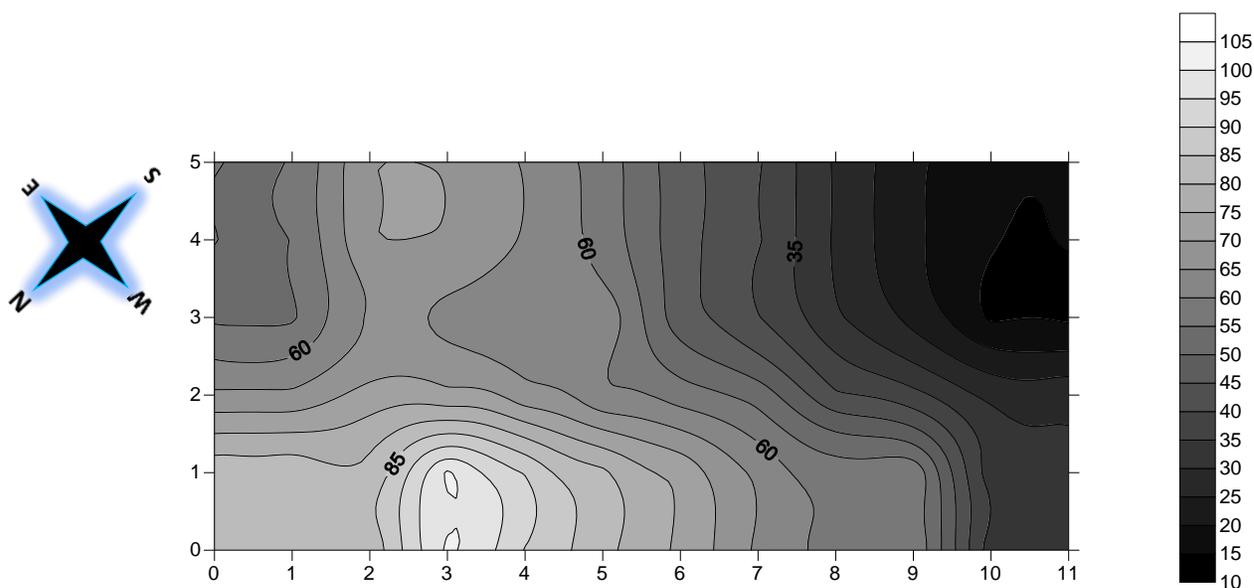


Figura 19. Visualización del área evaluada, de 1 m x 1 m, señalando las zonas con mayor y menor altura de agua aplicada (mm), obteniendo un CU de 70%, a una velocidad del viento de 0.7 m/s en un tiempo de aplicación de 2 horas

En la Figura 19, se puede observar la visualización de curvas de nivel de la superficie evaluada, simultáneamente con una escala de color (negro), donde las regiones con una tonalidad más clara señalan puntos con mayor lámina de agua aplicada ideal (mm), presentándose con mayor incidencia, en la zona norte (N) y este (E), del área evaluada entre dos cintas por aspersión Golden Spray, debido al solapamiento entre ellas y por otro lado, las tonalidades oscuras de la escala, apuntan puntos con un menor grado o déficit de lámina de agua aplicada, que generalmente están situadas en la zona sur (S) y oeste (W) de la parcela experimental. Obteniéndose láminas de agua entre los 10 a 105 mm de espesor.

Para su mejor entendimiento, las secciones donde las curvas de nivel estas más separadas, demuestra que se presenta una distribución de agua más uniforme, sitios donde las curvas de nivel están más ceñidas, implica que hay un cambio brusco sobre la lámina repartida en la superficie regada, llegando a disminuir la uniformidad de riego en toda la parcela evaluada. Es de esta manera que, en la evaluación de riego se registra un Coeficiente de Uniformidad del 70%, considerando este valor, conforme a lo descripción propuesta en el Cuadro 3 por el Servicio de Asesoramiento al Regante (2010) citado por Guarachi (2013), llega a clasificarse como una uniformidad aceptable, pero donde realmente se considera como una uniformidad buena a los valores mayores de 80 al 85%.

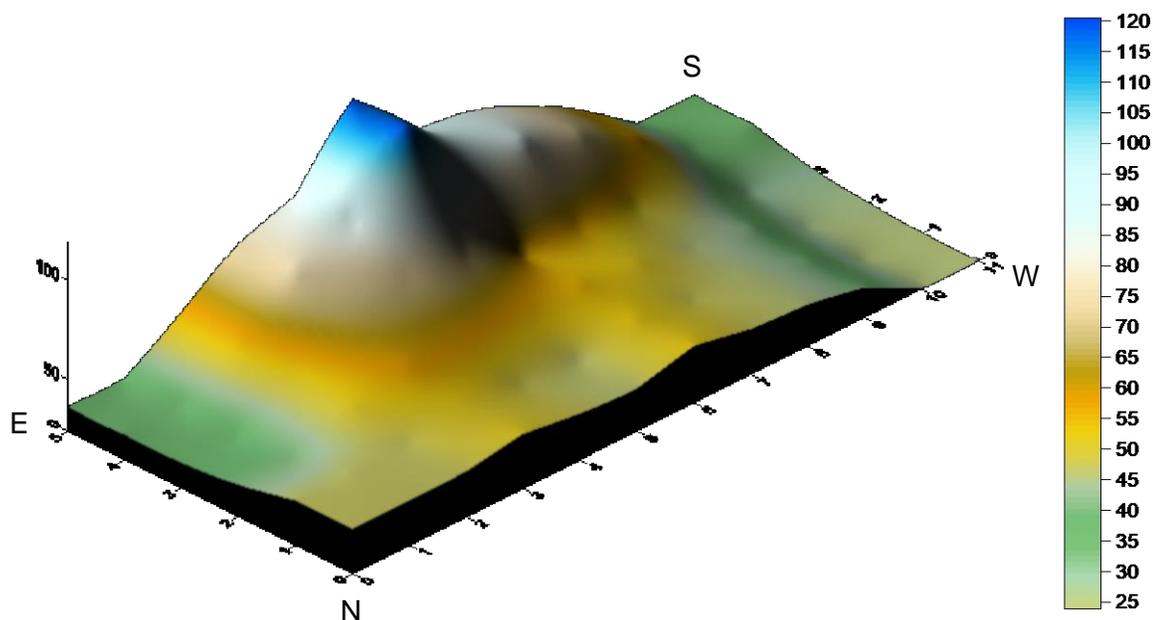


Figura 20. Representación tridimensional de la pluviometría (mm), de 1 m x 1 m, resultante del solapamiento 2 cintas de aspersión, en una distancia de 4 metros de cinta a cinta, obteniendo un CU de 76%, a una velocidad del viento de 0.7 m/s en un tiempo de aplicación de 2 horas

En la Figura 20, examinamos los datos obtenidos mediante la pluviometría en la cuarta evaluación, graficado tridimensionalmente mediante el simulador (SURFER), donde nos permite apreciar la uniformidad de riego, en que se aplicaron la lámina de agua en el área de evaluación. La uniformidad (CU%) de riego que se representa es del 76% dentro de la parcela regada en un área de 40 m², con la implementación de dos líneas de cintas de aspersión. Cuyo valor de 76% de uniformidad, indica que el 76 % de la parcela llegó a recibir una lámina de riego ideal para la producción, por otro lado, el 24% restante, da referencia a la superficie que presenta láminas de riego en exceso o déficit, debido principalmente al arrastre provocado por el viento y por la evaporación producto de la radiación solar.

Considerando los efectos del viento, es importante señalar que el registro de este durante la evaluación indica un arrastre con dirección al sur sureste (SSE) con una velocidad de 0.7 m/s. Se considera que a mayor velocidad del viento la uniformidad baja sus valores y a menor efecto del viento la uniformidad se incrementa sus valores. Con respecto a la presión de funcionamiento, durante la evaluación se registró una presión de trabajo de 1.2 bares, en un tiempo de riego de 2 horas.

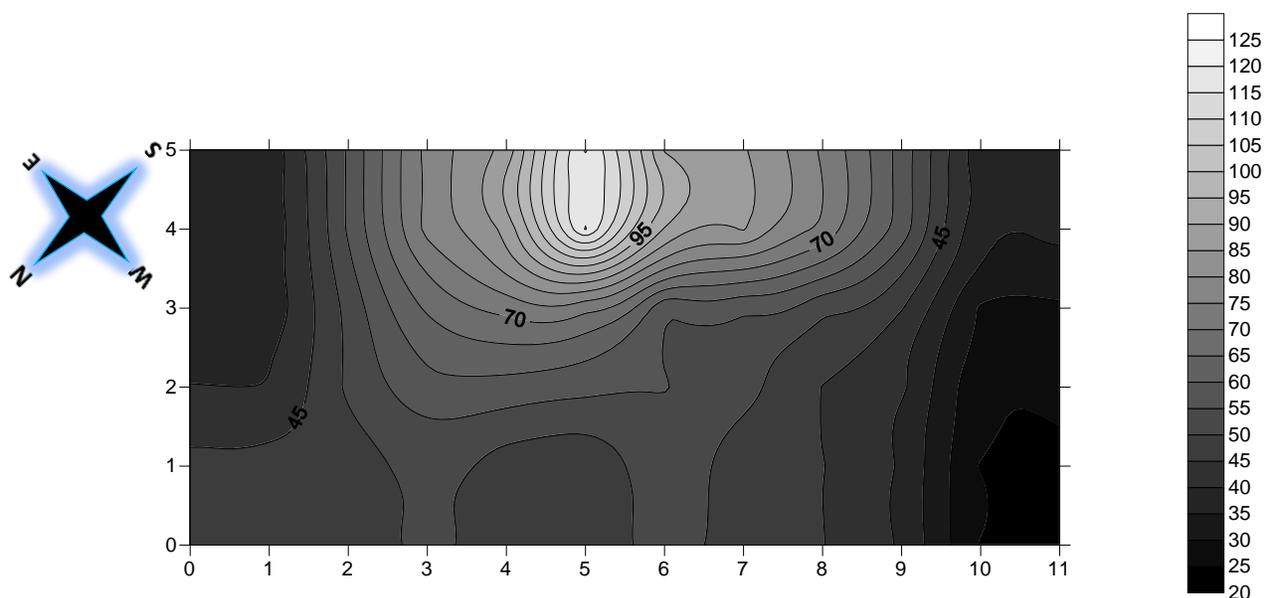


Figura 21. Visualización del área evaluada, de 1 m x 1 m, señalando las zonas con mayor y menor altura de agua aplicada (mm), obteniendo un CU de 76%, a una velocidad del viento de 0.7 m/s en un tiempo de aplicación de 2 horas

En la Figura 21, puede notar la visualización de curvas de nivel del área evaluada, conjuntamente con una escala de color (negro), donde los lugares con una tonalidad más clara señalan puntos con mayor lámina de agua aplicada ideal (mm), presentándose con mayor incidencia, en la parte de lateral media de la zona este (E) y sur (S) del área evaluada entre dos cintas por aspersión Golden Spray, debido solapamiento entre ellos y por otro lado las tonalidades oscuras de la escala, indican puntos con un menor grado o déficit de lámina de agua aplicada, que están ubicadas en la zona este (E), norte (N), sur (S) y oeste(W) de la parcela experimental . Obteniéndose láminas de agua entre los 20 a 125 mm de espesor.

Para su mejor interpretación, los sectores donde las curvas de nivel estas más separadas, demuestra que se presenta una distribución de agua más uniforme, lugares donde las curvas de nivel están más ceñidas, implica que hay un cambio brusco sobre la lámina repartida en la superficie regada, llegando a disminuir la uniformidad de riego en toda la parcela evaluada. Es de esta manera que, en la evaluación de riego se registra un Coeficiente de Uniformidad del 76%, considerando este valor, conforme a lo descrito en el Cuadro 3 por el Servicio de Asesoramiento al Regante (2010) citado por Guarachi (2013), llega a clasificarse como una uniformidad aceptable, donde se considera como una uniformidad buena a valores mayores de 80 al 85%. Según Keller y Bliesner, (2000) los datos obtenidos de una serie de pruebas para un $Cu > 70\%$ es considerada una distribución normal y razonablemente simétrica en torno a la media.

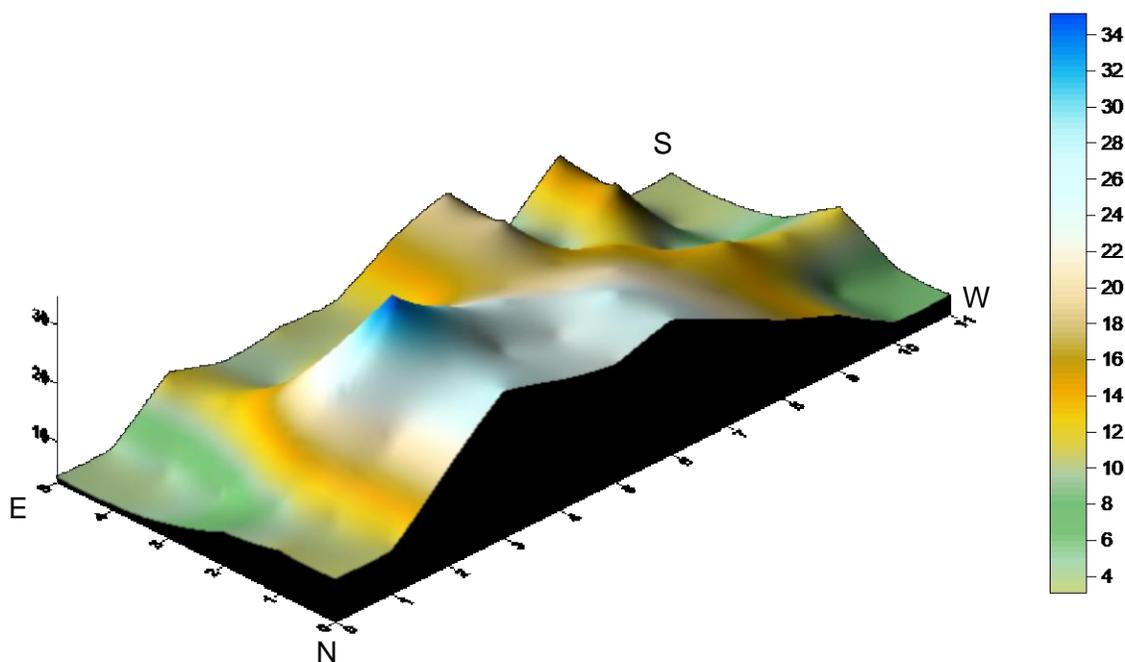


Figura 22. Representación tridimensional de la pluviometría (mm), de 1 m x 1 m, resultante del solapamiento 2 cintas de aspersión, en una distancia de 4 metros de cinta a cinta, obteniendo un CU de 64%, a una velocidad del viento de 1.1 m/s en un tiempo de aplicación de 1 hora

En la Figura 22, notamos los datos obtenidos mediante la pluviometría en la quinta evaluación, graficado tridimensionalmente mediante el simulador (SURFER), donde nos permite apreciar y estimar la uniformidad de riego, donde se aplicaron la lámina de agua en el área de evaluación. La uniformidad (CU%) de riego que se representa es del 64% dentro de la parcela regada en un área de 40 m², con la implementación de dos líneas de cintas de aspersión. Donde el valor de 64% de uniformidad, señala que el 64 % de la parcela llegó

a recibir una lámina de riego ideal para la producción, por otro lado, el 36% sobrante, da referencia a la superficie que presenta láminas de riego en exceso o déficit, debido principalmente al arrastre provocado por el viento y por la evaporación producto de la radiación solar.

Considerando los efectos del viento, es importante señalar que el registro de este durante la evaluación indica un arrastre con dirección al este - noreste (ENE) con una velocidad de 1,1 m/s. Se considera que a mayor velocidad del viento la uniformidad reduce notablemente y a menor efecto del viento la uniformidad se incrementa sus valores.

Con respecto a la presión de funcionamiento, durante la evaluación se registró una presión de trabajo de 1.2 bares, en un tiempo de riego de 1 hora.

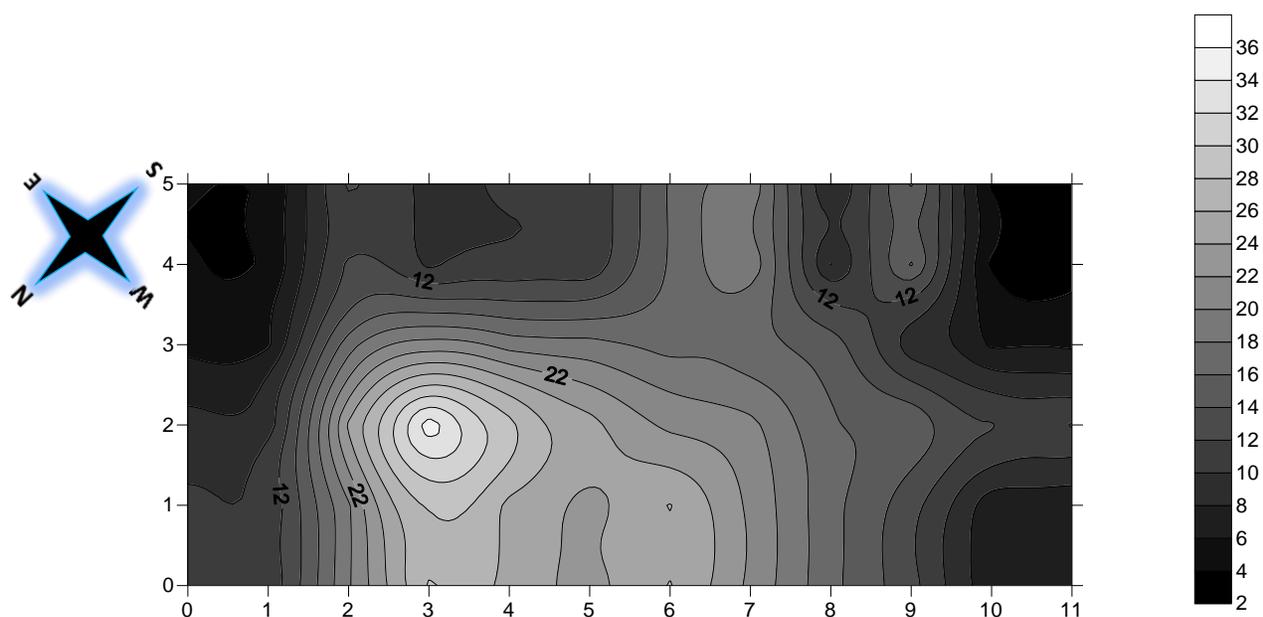


Figura 23. Visualización del área evaluada, de 1 m x 1 m, señalando las zonas con mayor y menor altura de agua aplicada (mm), obteniendo un CU de 64%, a una velocidad del viento de 1.1 m/s en un tiempo de aplicación de 1 hora

En la Figura 23, podemos contemplar una visualización de curvas de nivel del área evaluada, conjuntamente con una escala de color (negro), donde los sitios con una tonalidad más clara señalan puntos con mayor lámina de agua aplicada ideal (mm), presentándose con mayor incidencia, en la zona media baja norte (N) y con el sur (S) del área evaluada entre dos cintas por aspersión Golden Spray, debido solapamiento entre ellos y por otro lado las tonalidades oscuras de la escala, señalan puntos con un menor grado o déficit de lámina de agua aplicada, que generalmente están ubicadas en la zona

este (E), sur (S) y oeste(W) de la parcela experimental. Obteniéndose láminas de agua entre los 2 a 36 mm de espesor.

Para su mejor entendimiento, las zonas donde las curvas de nivel estas más separadas entre si, demuestra que se presenta una distribución de agua más uniforme, por tanto, lugares donde las curvas de nivel están más ceñidas, implica que hay un cambio brusco sobre la lámina repartida en la superficie regada, llegando a disminuir la uniformidad de riego en toda la parcela evaluada. Es de esta manera que, en la evaluación de riego se registra un Coeficiente de Uniformidad del 64%, considerando este valor, conforme a lo descrito en el Cuadro 3 por el Servicio de Asesoramiento al Regante (2010) citado por Guarachi (2013), llega a clasificarse como una uniformidad inaceptable para riego, donde se considera como una uniformidad buena a valores de 80 al 85%. En evaluaciones de campo realizadas por Rodríguez et al. (2012), citado por IAgric (2019), pudo comprobar que a medida en la que aumenta la velocidad de viento el alcance efectivo disminuye recíprocamente lo que trae consigo una mala distribución de agua en la parcela.

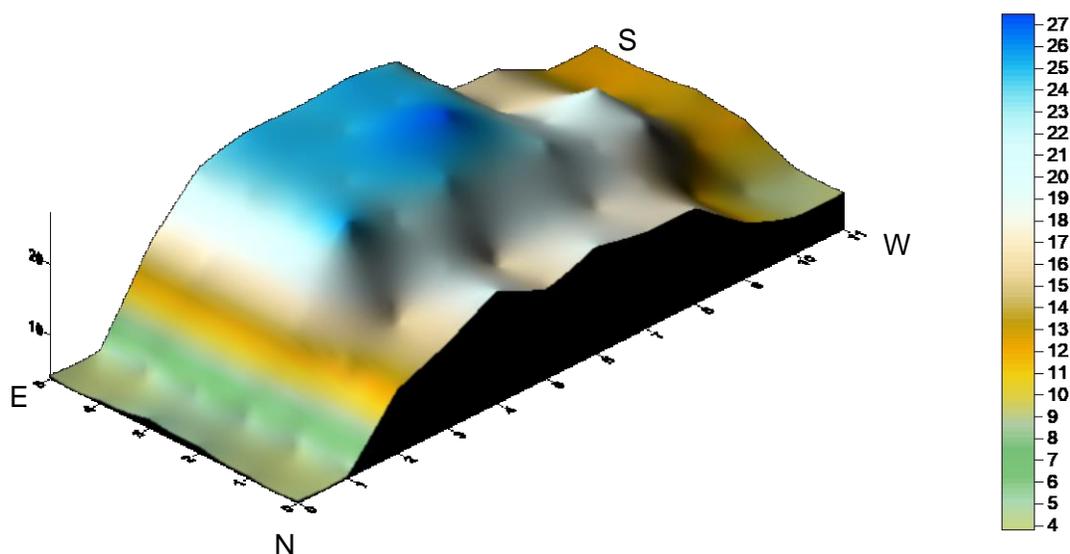


Figura 24. Representación tridimensional de la pluviometría (mm), de 1 m x 1 m, resultante del solapamiento 2 cintas de aspersión, en una distancia de 4 metros de cinta a cinta, obteniendo un CU de 71%, a una velocidad del viento de 1.1 m/s, en un tiempo de aplicación de 1 hora

En la Figura 24, percibimos los datos obtenidos mediante la pluviometría en la sexta evaluación, graficado tridimensionalmente mediante el simulador (SURFER), donde nos permite apreciar la uniformidad de riego donde se aplicaron la lámina de agua en el área de evaluación. La uniformidad (CU%) de riego que se representa es del 71% dentro de la parcela regada en un área de 40 m², con la implementación de dos líneas de cintas de

aspersión. Cuyo valor de 71% de uniformidad, indica que el 71 % de la parcela llegó a recibir una lámina de riego ideal para la producción, por otro lado, el 29% restante, da referencia a la superficie que presenta láminas de riego en exceso o pérdidas, debido principalmente al arrastre provocado por el viento o por la evaporación producto de la radiación solar.

Considerando los efectos del viento, es importante indicar que el registro de este evento durante la evaluación indica un arrastre con dirección al este noreste (ENE) con una velocidad de 1,1 m/s. Considerando que a mayor velocidad del viento la uniformidad reduce y a menor efecto del viento la uniformidad se incrementa en sus valores. Con respecto a la presión de funcionamiento, durante la evaluación se registró una presión de trabajo de 1.2 bares, en un tiempo de riego de 1 hora.

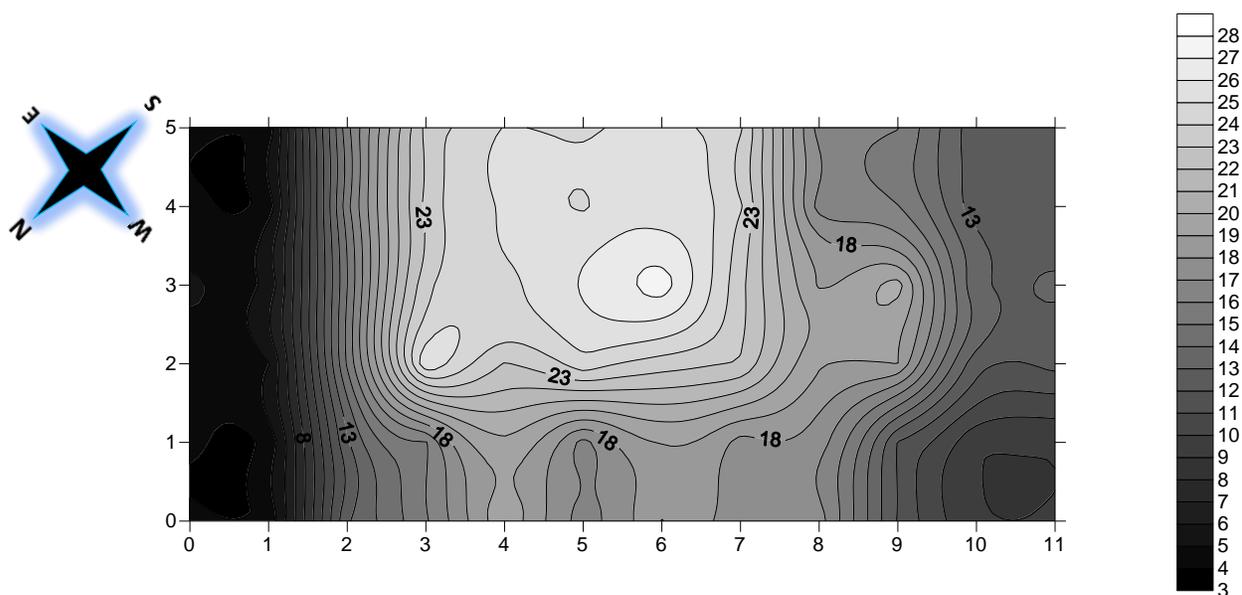


Figura 25. Visualización del área evaluada, de 1 m x 1m, señalando las zonas con mayor y menor altura de agua aplicada (mm), obteniendo un CU de 71%, a una velocidad del viento de 1.1 m/s en un tiempo de aplicación de 1 hora

En la Figura 25, podemos observar la visualización de curvas de nivel del área evaluada, conjuntamente con una escala de color (negro), donde las zonas con una tonalidad más clara indican puntos con mayor lámina de agua aplicada ideal (mm), presentándose con mayor incidencia, en la parte de central de la superficie evaluada entre dos cintas por aspersión Golden Spray, debido solapamiento entre ellos y por otro lado las tonalidades oscuras de la escala, señalan puntos con un menor grado o déficit de lámina de agua aplicada, que generalmente están ubicadas en la , norte (N) y este (E) con más tonalidad oscuro de la parcela experimental . Obteniéndose láminas de agua entre los 3 a 28 mm.

Para su mejor discernimiento, los lugares donde las curvas de nivel estas más separadas entre si, demuestra que se presenta una distribución de agua más uniforme y equitativo, lugares donde las curvas de nivel están más ceñidas u angostas, implica que hay un cambio brusco sobre la lámina repartida en la superficie regada, llegando a disminuir la uniformidad de riego en toda la parcela evaluada. En tal manera que, en la evaluación de riego se registra un Coeficiente de Uniformidad del 71%, considerando este valor, conforme a lo descrito en el Cuadro 3 por el Servicio de Asesoramiento al Regante (2010) citado por Guarachi (2013), llega a clasificarse como una uniformidad aceptable, donde se considera como una uniformidad buena a valores mayores de 80 al 85%.

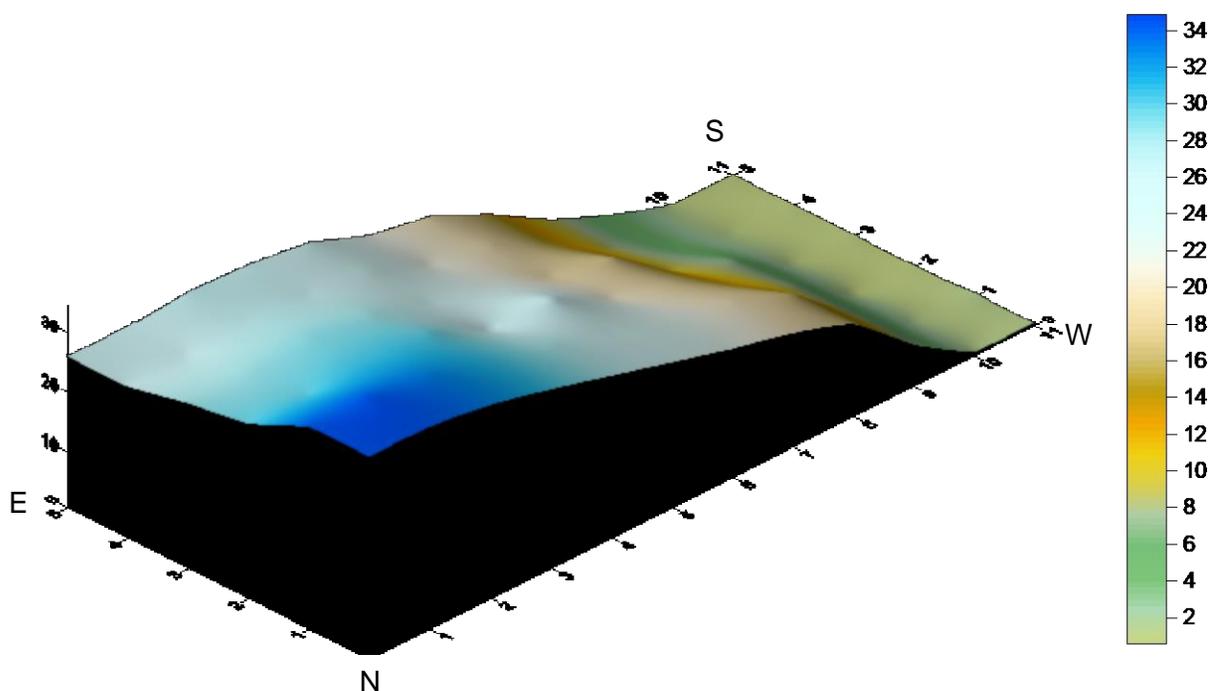


Figura 26. Representación tridimensional de la pluviometría (mm), de 1 m x 1 m, resultante del solapamiento 2 cintas de aspersión, en una distancia de 4 metros de cinta a cinta, obteniendo un CU de 57%, a una velocidad del viento de 1.3 m/s en un tiempo de aplicación de 1 hora

En la Figura 26, vemos los datos obtenidos mediante la pluviometría en la séptima evaluación, graficado tridimensionalmente mediante el simulador (SURFER), donde nos permite explicar la uniformidad de riego, en donde se aplicó la lámina de agua en el área de evaluación. La uniformidad (CU%) de riego que se representa es del 57% dentro de la parcela regada en un área de 40 m², con la implementación de dos líneas de cintas de aspersión. El valor de 57% de uniformidad, indica que el 57 % de la parcela llegó a recibir una lámina de riego ideal para la producción, por otro lado, el 43% restante, da referencia

a la superficie que presenta láminas de riego en exceso o déficit, debido principalmente al arrastre provocado por el viento o por la evaporación producto de la radiación solar.

Considerando los efectos del viento, es importante señalar que el registro de este durante la evaluación, indica un arrastre con dirección al sur (S) con una velocidad de 1,3 m/s. Se considera que a mayor velocidad del viento la uniformidad reduce y a menor efecto del viento la uniformidad se incrementa. Con respecto a la presión de funcionamiento, durante la evaluación se registró una presión de trabajo de 1.2 bares, en un tiempo de riego de 1 hora.

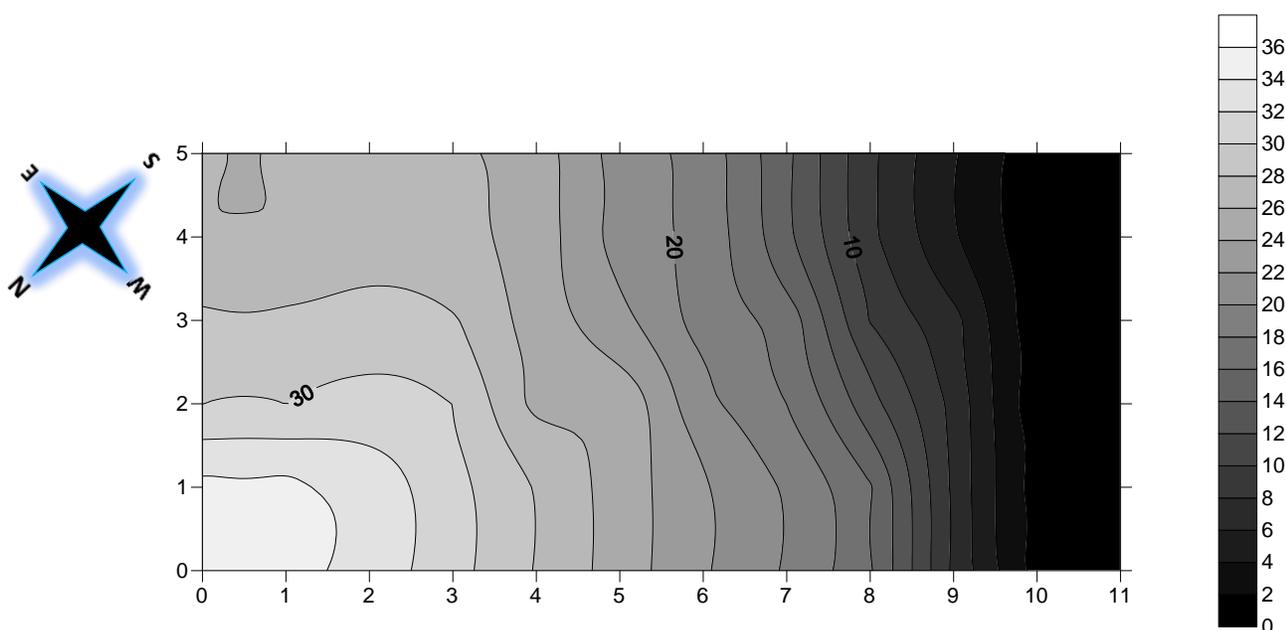


Figura 27. Visualización del área evaluada, de 1 m x 1 m, señalando las zonas con mayor y menor altura de agua aplicada (mm), obteniendo un CU de 57%, a una velocidad del viento de 1.3 m/s en un tiempo de aplicación de 1 hora

En la Figura 27, observamos la visualización de curvas de nivel de la superficie evaluada, conjuntamente con una escala de color (negro), donde las zonas con una tonalidad más clara señalan puntos con mayor lámina de agua aplicada ideal (mm), presentándose con mayor incidencia, en la sector norte (N), del área evaluada entre dos cintas por aspersión Golden Spray, debido solapamiento entre ellos y por otro lado las tonalidades oscuras de la escala, señalan puntos con un menor grado o déficit de lámina de agua aplicada, que generalmente están ubicadas en la sector, sur (S) y oeste(W) de la parcela experimental. Obteniéndose láminas de agua entre los 0 a 36 mm de espesor.

Para un mejor entendimiento, los sectores donde las curvas de nivel estas más separadas, demuestra que se presenta una distribución de agua más uniforme, sitios donde las curvas

de nivel están más ceñidas o cerradas, implica que hay un cambio brusco sobre la lámina repartida en la superficie regada, llegando a disminuir la uniformidad de riego en toda la parcela evaluada. Es de esta manera que, en la evaluación de riego se registra un Coeficiente de Uniformidad del 57%, considerando este valor, conforme a lo descrito en el Cuadro 3 por el Servicio de Asesoramiento al Regante (2010) citado por Guarachi (2013), llega a clasificarse como una uniformidad inaceptable, donde los valores considerados como una uniformidad buena a valores de 80 al 85%. Según Faci y Bercero (1991) y Stambouli *et al.* (2014), citado por IAgriC (2019), indican que el viento es la variable climática que mayor peso tiene en los resultados de coeficiente de uniformidad y de distribución.

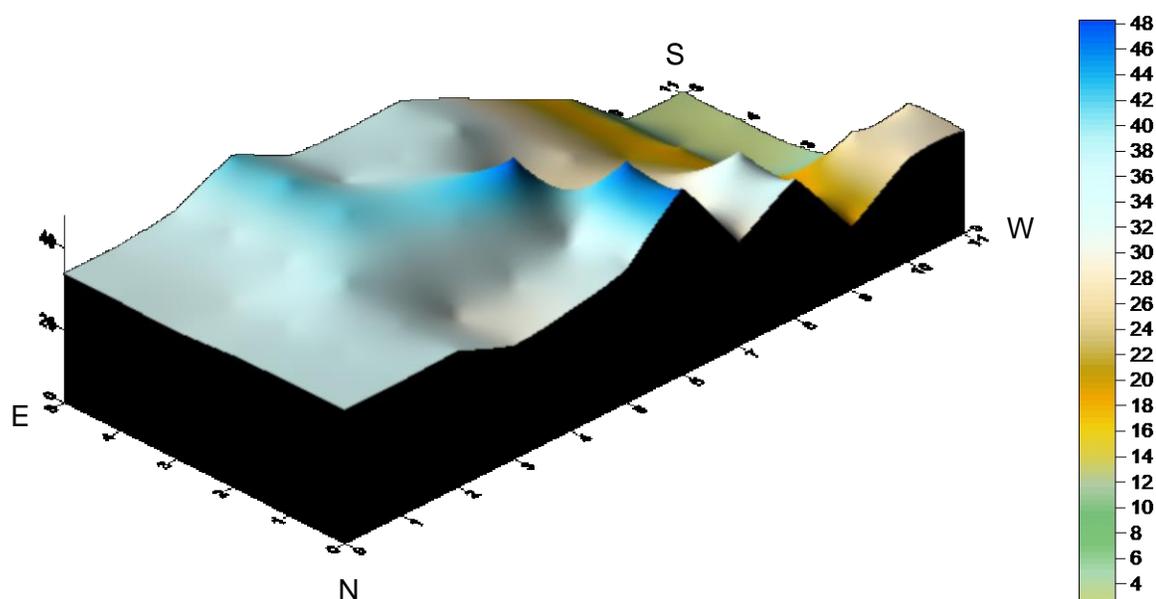


Figura 28. Representación tridimensional de la pluviometría (mm), de 1 m x 1 m, resultante del solapamiento 2 cintas de aspersión, en una distancia de 4 metros de cinta a cinta, obteniendo un CU de 72%, a una velocidad del viento de 1.3 m/s en un tiempo de aplicación de 1 hora

En la Figura 28, observamos los datos obtenidos mediante la pluviometría en la octava evaluación, graficado tridimensionalmente mediante el simulador (SURFER), donde nos permite apreciar la uniformidad de riego, donde se aplican la lámina de agua en el área de evaluación. La uniformidad (CU%) de riego que se representa es del 72% dentro de la parcela regada en un área de 40 m², con la implementación de dos líneas de cintas de aspersión. El valor de 72% de uniformidad, indica que el 72 % de la parcela llegó a recibir una lámina de riego ideal para la producción, por otro lado, el 28% sobrante, da un indicio

a la superficie que presenta láminas de riego en exceso o déficit, debido principalmente al arrastre provocado por el viento o por la evaporación producto de la radiación solar.

Considerando las consecuencias del viento, es importante apuntar que el registro de este durante la evaluación indica un arrastre con dirección al sur (S) con una velocidad de 1,3 m/s. Se considera que a mayor velocidad del viento la uniformidad disminuye y a menor efecto del viento la uniformidad se incrementa. Con respecto a la presión de funcionamiento, durante la evaluación se registró una presión de trabajo de 1.2 bares, en un tiempo de riego de 1 hora.

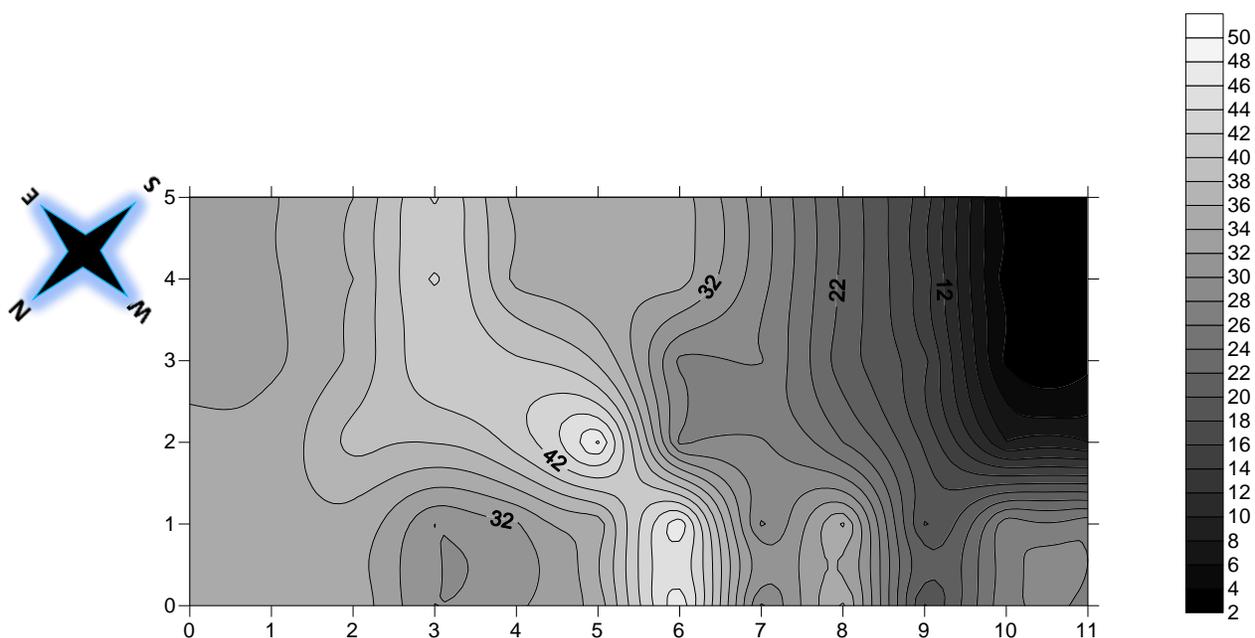


Figura 29. Visualización del área evaluada, de 1 m x 1 m, señalando las zonas con mayor y menor altura de agua aplicada (mm), obteniendo un CU de 72%, a una velocidad del viento de 1.3 m/s en un tiempo de aplicación de 1 hora

En la Figura 29, podemos notar la visualización de curvas de nivel del área evaluada, conjuntamente con una escala de color (negro), donde las zonas con una tonalidad más clara señalan puntos con mayor lámina de agua aplicada ideal (mm), exhibiéndose con mayor incidencia, en la parte central y entre el sector norte (N), este (E), del área evaluada entre dos cintas por aspersión Golden Spray, debido solapamiento entre ellos y por otro lado las tonalidades oscuras de la escala, señalan puntos con un menor grado o déficit de lámina de agua aplicada, que generalmente están ubicadas en la zona sur (S), de la parcela experimental. Obteniéndose láminas de agua entre los 2 a 50 mm de espesor.

Para su mejor comprensión, los sectores donde las curvas de nivel estas más separadas, señalan que se presenta una distribución de agua más uniforme, lugares donde las curvas de nivel están más ceñidas, implica que hay una alteración brusca sobre la lámina repartida en la superficie regada, llegando a disminuir la uniformidad de riego en toda la parcela evaluada. Es de esta manera que, en la evaluación de riego se registra un Coeficiente de Uniformidad del 72%, considerando este valor, conforme a lo descrito en e Cuadro 3 por el Servicio de Asesoramiento al Regante (2010) citado por Guarachi (2013), llega a clasificarse como una uniformidad aceptable, donde los valores considerados como una uniformidad buena a valores de 80 al 85%. Según Díaz y Herrera (2019), señala que es necesario considerar las pérdidas de agua del sistema de riego debido a los efectos ya sea del diseño, arrastre, evaporación. que pueda que influyan al momento de la operación de un sistema de riego.

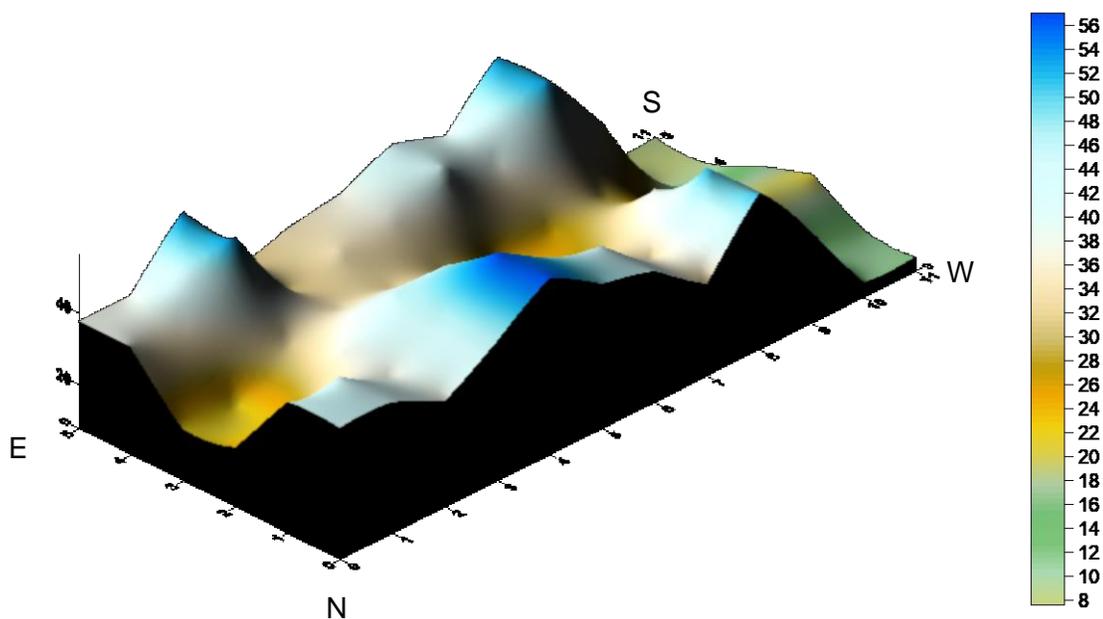


Figura 30. Representación tridimensional de la pluviometría (mm), de 1 m x 1 m, resultante del solapamiento 2 cintas de aspersión, en una distancia de 4 metros de cinta a cinta, obteniendo un CU de 73%, a una velocidad del viento de 0 m/s en un tiempo de aplicación de 1 hora

En la Figura 30, notamos los datos obtenidos mediante la pluviometría en la novena evaluación, graficado tridimensionalmente mediante el simulador (SURFER), donde nos permite distinguir la uniformidad de riego donde se aplica la lámina de agua en el área de evaluación. La uniformidad (CU%) de riego que se representa es del 73% dentro de la parcela regada en un área de 40 m², con la implementación de dos líneas de cintas de

aspersión. El valor de 73% de uniformidad, indica que el 73 % de la parcela llegó a recibir una lámina de riego ideal para la producción, por otro lado, el 27%, da referencia al área que presenta láminas de riego en exceso o carencia. Considerando que no hubo efectos del viento, es importante indicar que el registro de este durante la evaluación fue 0 m/s. Se considera que a menor influencia de velocidad del viento la uniformidad incrementa. Con respecto a la presión de funcionamiento, durante la evaluación se registró una presión de trabajo de 1.2 bares, con un tiempo de riego de 1 hora.

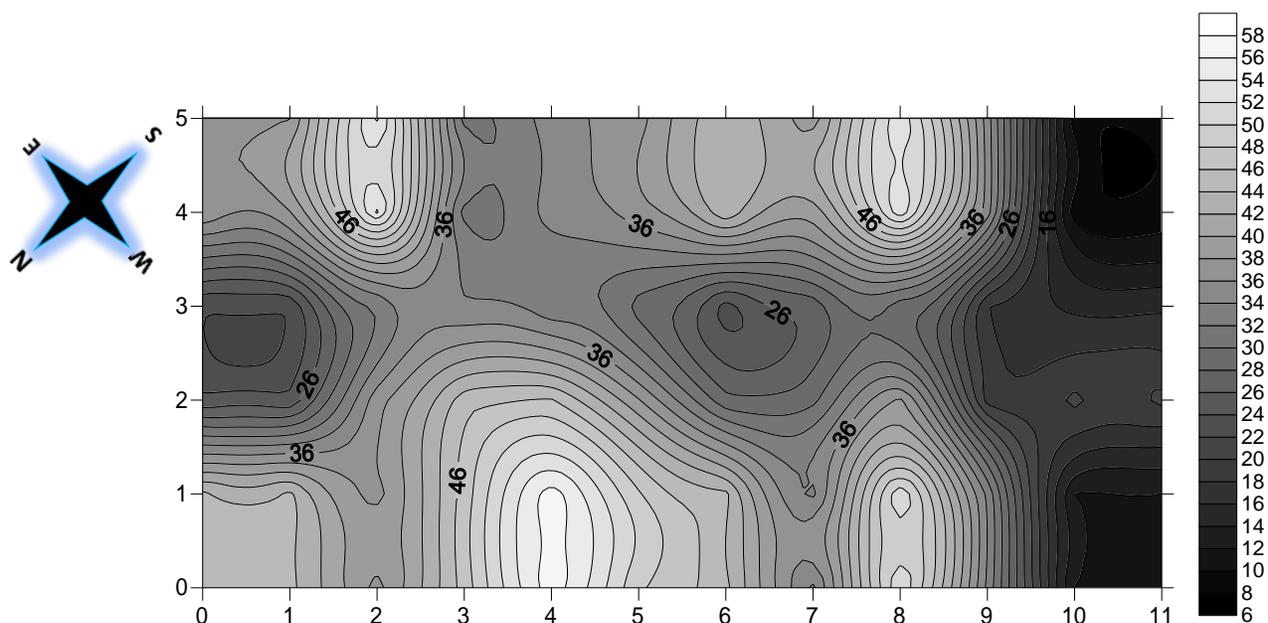


Figura 31. Visualización del área evaluada, de 1 m x 1m, señalando las zonas con mayor y menor altura de agua aplicada (mm), obteniendo un CU de 73%, a una velocidad del viento de 0 m/s en un tiempo de aplicación de 1 hora

En la Figura 31, podemos distinguir la visualización de curvas de nivel del área evaluada, conjuntamente con una escala de color (negro), donde las zonas con una tonalidad más clara señalan puntos con mayor lámina de agua aplicada ideal (mm), presentándose con mayor incidencia, en el sector sureste (SE) y noroeste (NW) del área evaluada entre dos cintas por aspersión Golden Spray, debido solapamiento entre ellos y por otro lado las tonalidades oscuras de la escala, señalan puntos con un menor grado o déficit de lámina de agua aplicada, que generalmente están ubicadas en la zona, sur (S) y oeste (W) de la parcela experimental. Obteniéndose láminas de agua entre los 6 a 58 mm de espesor.

Para su mejor entendimiento, los sectores donde las curvas de nivel estas más separadas, manifiesta que se presenta una distribución de agua más uniforme, lugares donde las curvas de nivel están más ceñidas, implica que hay un cambio brusco sobre la lámina

repartida en la superficie regada, llegando a disminuir la uniformidad de riego en toda la parcela evaluada. Es de esta manera que, en la evaluación de riego se registra un Coeficiente de Uniformidad del 73%, considerando este valor, conforme a lo descrito en el Cuadro 3 por el Servicio de Asesoramiento al Regante (2010) citado por Guarachi (2013), llega a clasificarse como una uniformidad aceptable, donde valores considerados como una uniformidad buena a valores de 80 al 85%.

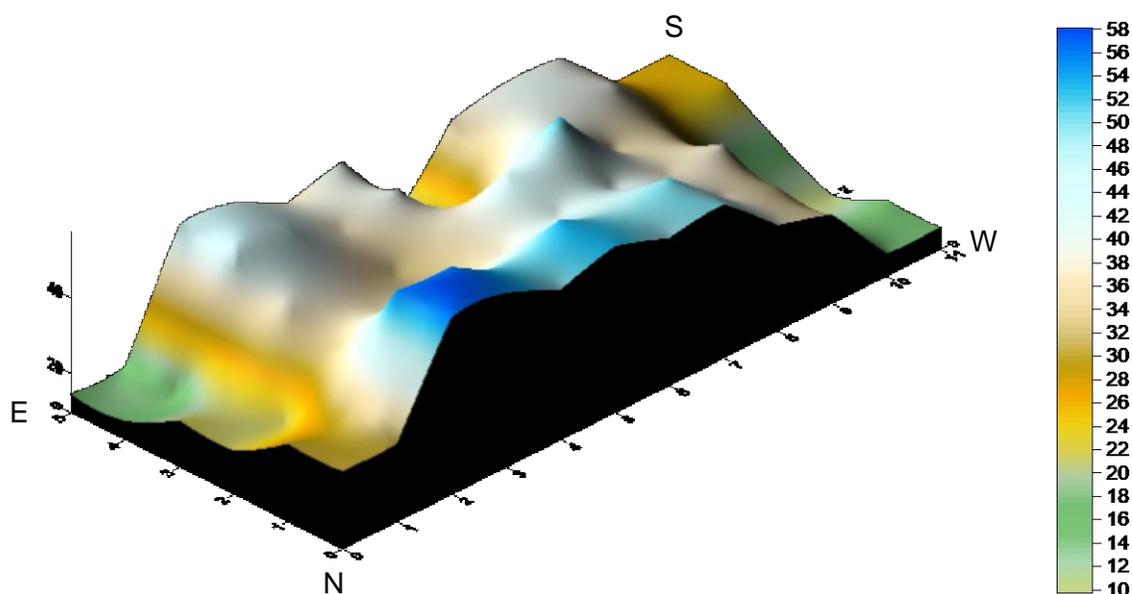


Figura 32. Representación tridimensional de la pluviometría (mm), de 1 m x 1 m, resultante del solapamiento 2 cintas de aspersión, en una distancia de 4 metros de cinta a cinta, obteniendo un CU de 77%, a una velocidad del viento de 0 m/s en un tiempo de aplicación de 1 h

En la Figura 32, contemplamos los datos adquiridos mediante la pluviometría en la décima evaluación, graficado tridimensionalmente mediante el simulador (SURFER), donde nos permite apreciar la uniformidad de riego, donde se aplica la lámina de agua en el área de evaluación. La uniformidad (CU%) de riego que se representa es del 77% dentro de la parcela regada en un área de 40 m², con la implementación de dos líneas de cintas de aspersión. Donde el valor de 77% de uniformidad, señala que el 77 % de la parcela llegó a obtener una lámina de riego ideal para la producción, por otro lado, el 23%, da alusión a la superficie que presenta láminas de riego en exceso y/o déficit.

Considerando no hubo efectos del viento, es importante recalcar que el registro de este durante la evaluación fue 0 m/s. Se considera que a menor efecto del viento la uniformidad

tiene que incrementarse. Con respecto a la presión de funcionamiento, durante la evaluación se registró una presión de trabajo de 1.2 bares, en un tiempo de riego de 1 hora.

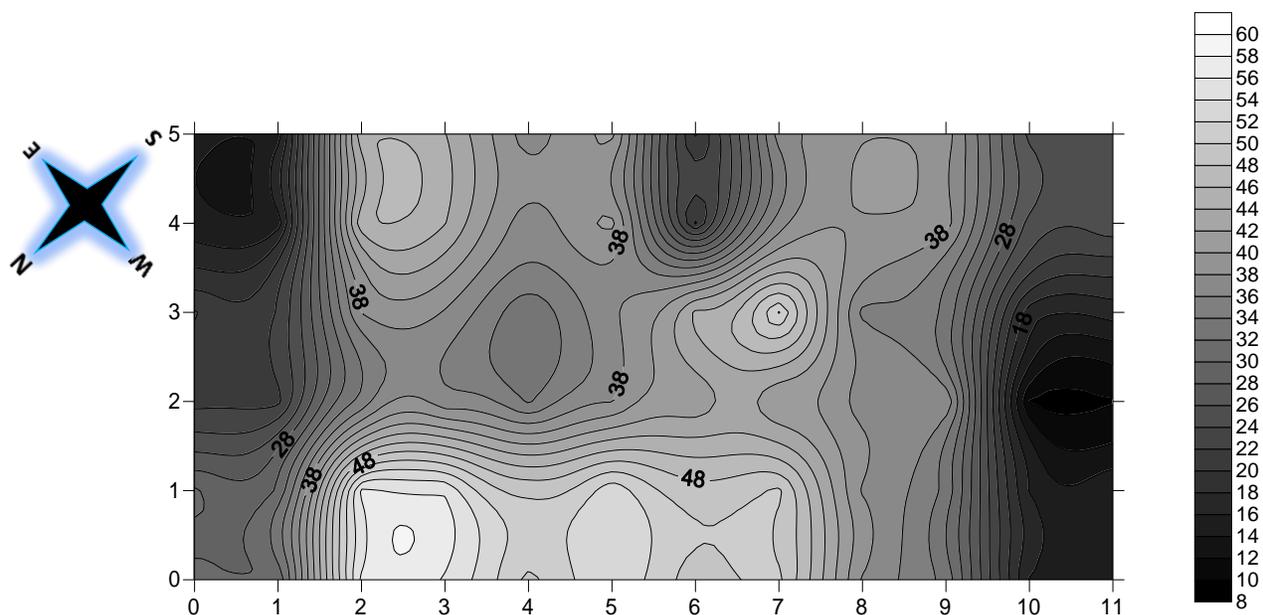


Figura 33. Visualización del área evaluada, de 1 m x 1 m, señalando las zonas con mayor y menor altura de agua aplicada (mm), obteniendo un CU de 77%, a una velocidad del viento de 0 m/s en un tiempo de aplicación de 1 hora

En la Figura 33, se puede percibir la visualización de curvas de nivel del área evaluada, conjuntamente con una escala de color (negro), donde las zonas con una tonalidad más clara muestran puntos con mayor lámina de agua aplicada ideal (mm), presentándose con mayor incidencia, en la parte de lateral inferior noroeste (NW) del área evaluada entre dos cintas por aspersión Golden Spray, debido solapamiento entre ellos y por otro lado las tonalidades oscuras de la escala, señalan puntos con un menor grado o déficit de lámina de agua aplicada, que generalmente están situadas en la zona este (E), y suroeste (SW) de la parcela experimental. Obteniéndose láminas de agua entre los 8 a 60 mm de espesor.

Para su mejor comprensión, los sectores donde las curvas de nivel estas más separadas, demuestra que se presenta una distribución de agua más uniforme, lugares donde las curvas de nivel están más ceñidas, implica que hay un cambio brusco sobre la lámina repartida en la superficie regada, llegando a disminuir la uniformidad de riego en toda la parcela evaluada. Es de esta manera que, en la evaluación de riego se registra un Coeficiente de Uniformidad del 77%, considerando este valor, conforme a lo descrito en el Cuadro 3 por el Servicio de Asesoramiento al Regante (2010) citado por Guarachi (2013),

llega a clasificarse como una uniformidad aceptable, donde valores considerados como una uniformidad buena a valores de 80 al 85%.

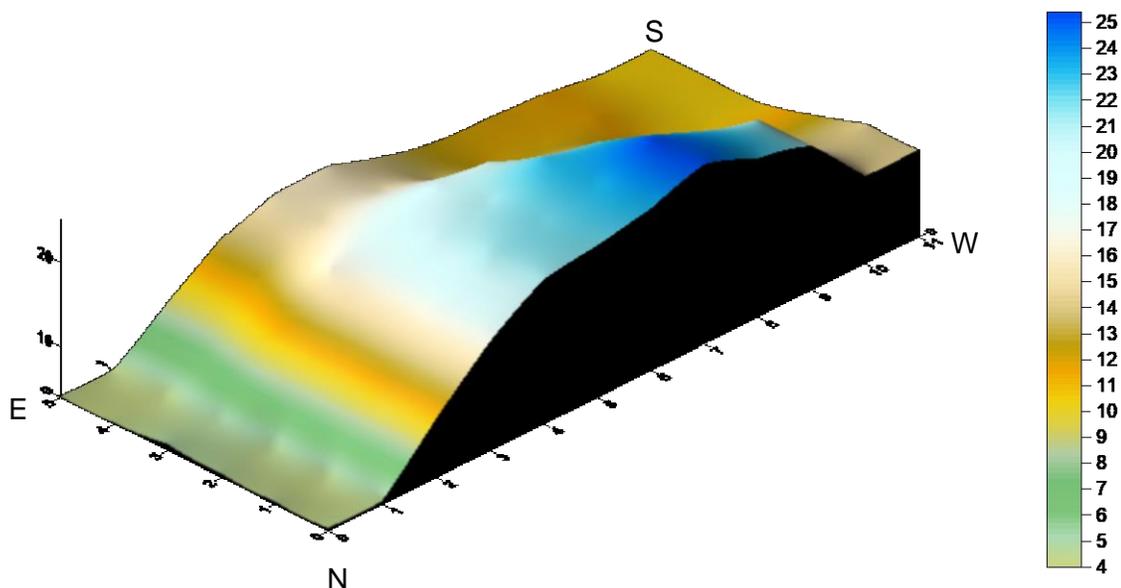


Figura 34. Representación tridimensional de la pluviometría (mm), de 1 m x 1 m, resultante del solapamiento 2 cintas de aspersión, en una distancia de 4 metros de cinta a cinta, obteniendo un CU de 69%, a una velocidad del viento de 0.8 m/s en tiempo de aplicación de 0,5 horas

En la Figura 34, se observan los datos obtenidos mediante la pluviometría en la onceava evaluación, graficados tridimensionalmente mediante el simulador (SURFER), donde nos permite apreciar la uniformidad de riego, donde aplicamos la lámina de agua en el área de evaluación. La uniformidad (CU%) de riego que se representa es del 69% dentro de la parcela regada en un área de 40 m², con la implementación de dos líneas de cintas de aspersión. El valor de 69% de uniformidad, indica que el 69 % de la parcela llegó a recibir una lámina de riego ideal para la producción, por otro lado, el 31%, da referencia a la superficie que presenta láminas de riego en exceso o déficit, debido principalmente al arrastre provocado por el viento o por la evaporación producto de la radiación solar. Considerando las consecuencias del viento, es importante señalar que el registro de este durante la evaluación indica un arrastre con dirección al este noreste (ENE) con una velocidad de 0,8 m/s. Se considera que a mayor velocidad del viento la uniformidad reduce y a menor efecto del viento la uniformidad aumenta. Con respecto a la presión de funcionamiento, durante la evaluación se registró una presión de trabajo de 1.2 bares, con un tiempo de riego de 0.5 horas.

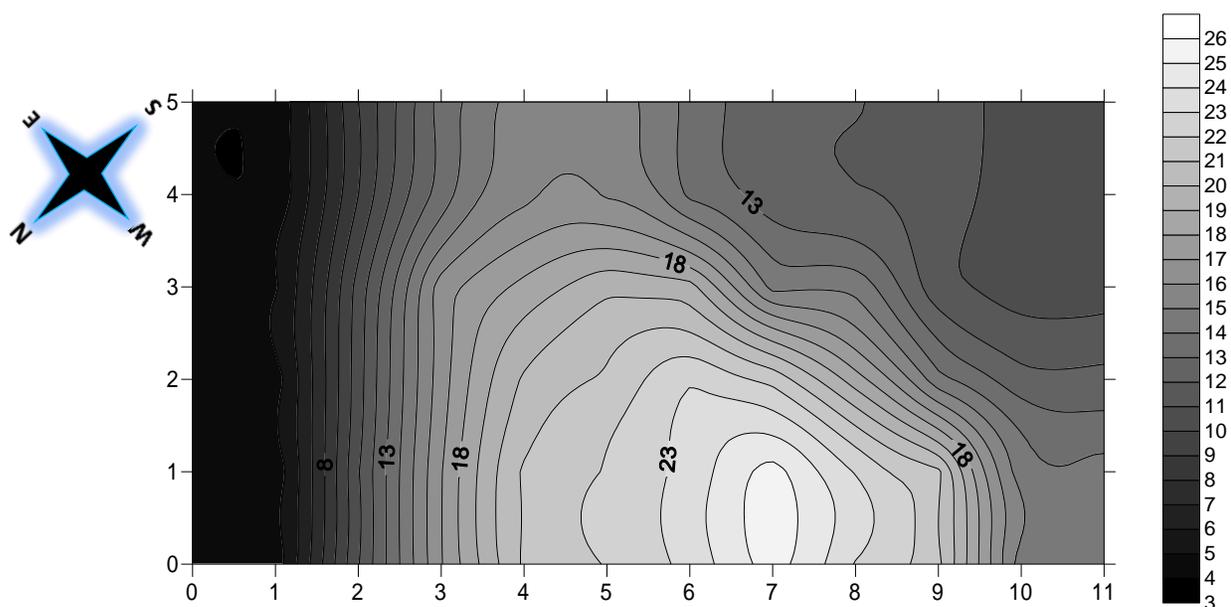


Figura 35. Visualización del área evaluada, de 1 m x 1 m, señalando las zonas con mayor y menor altura de agua aplicada (mm), obteniendo un CU de 69%, a una velocidad del viento de 0.8 m/s en un tiempo de aplicación de 0,5 horas

En la Figura 35, puede ver la visualización de curvas de nivel del área evaluada, conjuntamente con una escala de color (negro), donde las zonas con una tonalidad más clara señalan puntos con mayor lámina de agua aplicada ideal (mm), presentándose con mayor incidencia, en la zona noroeste (NW) de lateral del área evaluada entre dos cintas por aspersión Golden Spray, debido solapamiento entre ellos y por otro lado las tonalidades oscuras de la escala, señalan puntos con un menor grado o déficit de lámina de agua aplicada, que generalmente están ubicadas en la zona este (E), y norte (N) de la parcela experimental. Obteniéndose láminas de agua entre los 3 a 26 mm de espesor.

Para su mejor comprensión, los sectores donde las curvas de nivel estas más distantes, demuestra que se presenta una distribución de agua más uniforme, lugares donde las curvas de nivel están más ceñidas o juntas, implica que hay un cambio brusco sobre la lámina repartida en la superficie regada, llegando a disminuir la uniformidad de riego en toda la parcela evaluada. Es de esta manera que, en la evaluación de riego se registra un Coeficiente de Uniformidad del 69%, considerando este valor, conforme a lo descrito en el Cuadro 3 por el Servicio de Asesoramiento al Regante (2010) citado por Guarachi (2013), llega a clasificarse como una uniformidad inaceptable, donde consideramos como una uniformidad buena a valores de 80 al 85%.

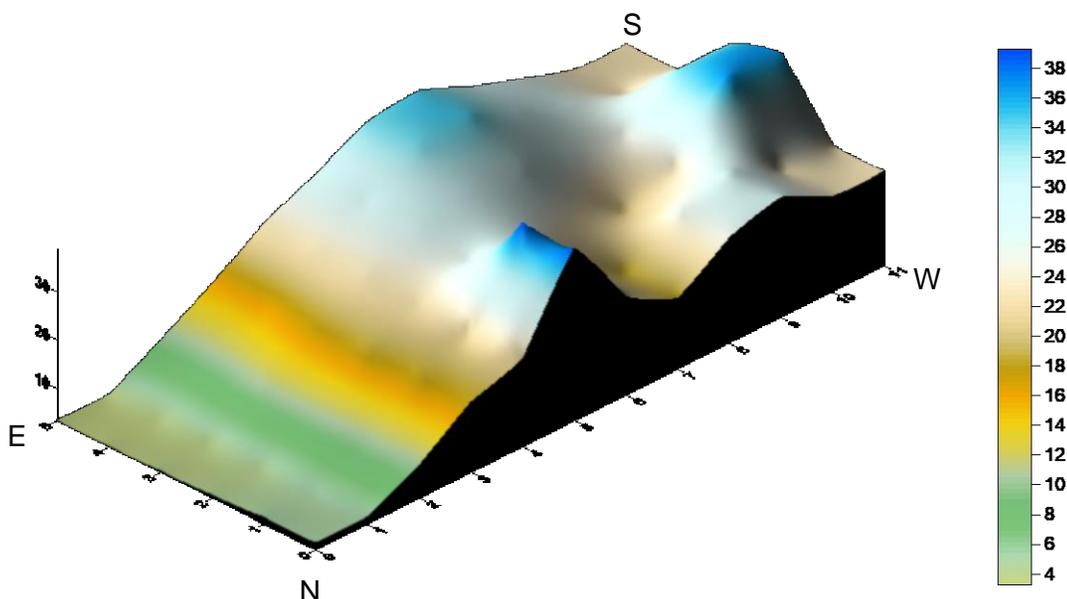


Figura 36. Representación tridimensional de la pluviometría (mm), de 1 m x 1 m, resultante del solapamiento 2 cintas de aspersión, en una distancia de 4 metros de cinta a cinta, obteniendo un CU de 68%, a una velocidad del viento de 0.8 m/s en un tiempo de aplicación de 0,5 horas

En la Figura 36, vemos los datos obtenidos mediante la pluviometría en la doceava evaluación, graficado tridimensionalmente mediante el simulador (SURFER), donde nos permite apreciar la uniformidad de riego (0.5h) donde se aplican la lámina de agua en el área de evaluación. La uniformidad (CU%) de riego que se representa es del 68% dentro de la parcela regada en un área de 40 m², con la implementación de dos líneas de cintas de aspersión. El valor de 68% de uniformidad, indica que el 68 % de la parcela llegó a recibir una lámina de riego ideal para la producción, por otro lado, el 32%, da referencia a la superficie que presenta láminas de riego en exceso o déficit, debido principalmente al arrastre provocado por el viento o por la evaporación producto de la radiación solar.

Considerando los efectos del viento, es importante señalar que el registro de este durante la evaluación indica un arrastre con dirección al este noreste (ENE) con una velocidad de 0,8 m/s. Se considera que a mayor velocidad del viento la uniformidad reduce y a menor efecto del viento la uniformidad se incrementa. Con respecto a la presión de funcionamiento, durante la evaluación se registró una presión de trabajo de 1.2 bares, con un tiempo de riego de 0.5 horas.

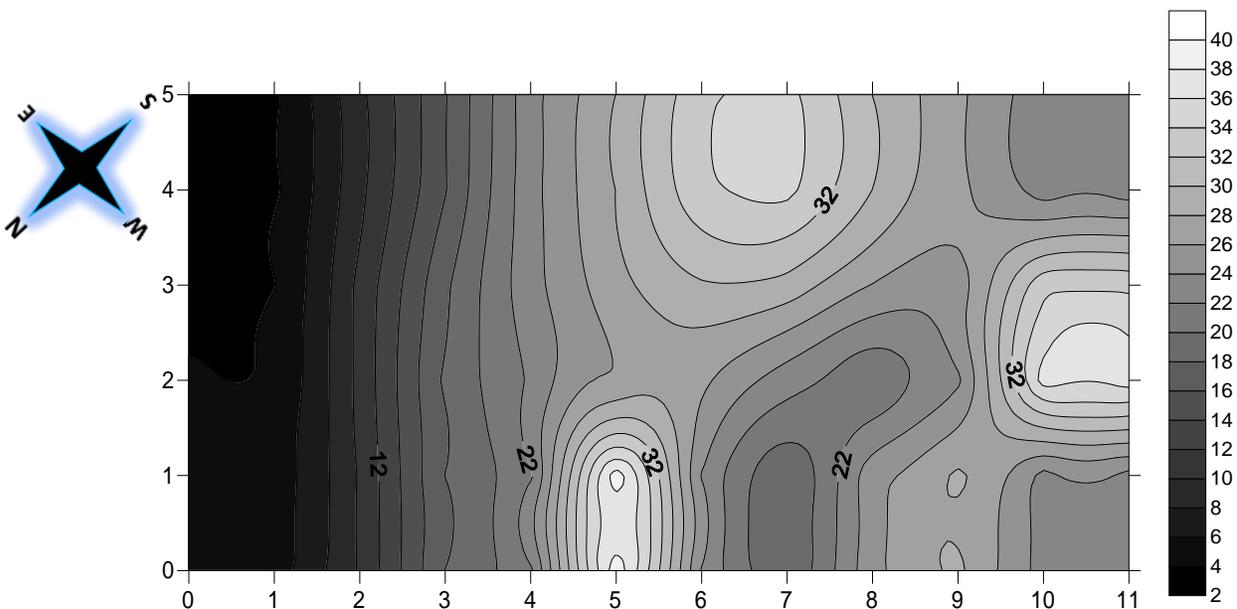


Figura 37. Visualización del área evaluada, de 1 m x 1 m, señalando las zonas con mayor y menor altura de agua aplicada (mm), obteniendo un CU de 68%, a una velocidad del viento de 0.8 m/s en un tiempo de aplicación de 0,5 horas

En la Figura 37, se puede observar la visualización de curvas de nivel del área evaluada, conjuntamente con una escala de color (negro), donde las zonas con una tonalidad más clara señalan puntos con mayor lámina de agua aplicada ideal (mm), presentándose con mayor incidencia, en el sector noroeste (NW) lateral de abajo, suroeste (SW) lateral de arriba y por último el sector sureste (SE) del área evaluada entre dos cintas por aspersión Golden Spray, debido solapamiento entre ellos y por otro lado las tonalidades oscuras de la escala, señalan puntos con un menor grado o déficit de lámina de agua aplicada, que generalmente están ubicadas en la zona este (E), norte (N) con mayor tonalidad de la parcela experimental. Obteniéndose láminas de agua entre los 2 a 40 mm.

Para su mejor comprensión, los sectores donde las curvas de nivel estas más separadas, demuestra que se presenta una distribución de agua más uniforme, lugares donde las curvas de nivel están más ceñidas, implica que hay un cambio brusco sobre la lámina repartida en la superficie regada, llegando a disminuir la uniformidad de riego en toda la parcela evaluada. Es de esta manera que, en la evaluación de riego se registra un Coeficiente de Uniformidad del 68%, considerando este valor, conforme a lo descrito en el Cuadro 3 por el Servicio de Asesoramiento al Regante (2010) citado por Guarachi (2013), llega a clasificarse como una uniformidad inaceptable, donde se considera como una uniformidad buena a valores de 80 al 85%. A dichos valores obtenidos de CU, expresando

en términos de valor numérico, la uniformidad existente en el área de riego, en todas las evaluaciones realizadas y señalados en el Anexo 8, bajo diferentes incidencias del viento.

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%.

Según Delgadillo *et. al*, (2011) indica que, por las condiciones de riego de las evaluaciones, podrían ser considerados razonables y/o lógicos, mostrando una experiencia de riego que experimentarían los agricultores, aunque muestren estar por debajo del umbral recomendado de otros autores.

INIA – CARILLANCA (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.

4.3.2. Eficiencia de aplicación (Ea)

Para mostrar la eficiencia de aplicación del riego es necesario describir los resultados de eficiencia, los cuales se basan en promedios de láminas de riego recibida y aplicada descrito en la Ecuación (12).

4.3.2.1. Interpretación de eficiencia de aplicación

Una vez determinado los parámetros que determinan la Eficiencia de Aplicación, es posible realizar el cálculo y obtener los valores de la Eficiencia de aplicación en los diferentes periodos de riego de la presente investigación, Anexo 13, ya que dicho parámetro es de gran importancia para determinar el destino del agua, que será aprovechado por las plantas.

Siendo así, para determinar si la Ea llega a ser influenciada de gran manera, o en algún grado por la incidencia de otro factor de gran importancia como es la velocidad del viento, al igual que en el parámetro de Coeficiente de Uniformidad (CU%), para comprobar esta situación se procedió a realizar un Análisis de Covarianza, considerando a la velocidad del viento como una covariable.

Cuadro 16. Análisis de varianza (ANOVA), para la Eficiencia de aplicación (Ea), influenciado por el tiempo de riego en los 3 tratamientos.

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F	SIG.	Coef.
Tiempo	2	123,0,6	61,53	0,87	0,4566	NS	
Viento	1	542,48	542,48	7,64	0,0246	Sig.	-13,63
Error	8	568,40	71,05				
Total	11	1376,25					

Promedio (cm)

CV (%) =18,03

En el Cuadro 16, se manifiesta el ANCOVA, obtenido mediante el Análisis de Covarianza. Analizando los resultados apreciamos que no se tienen diferencias entre los tiempos de aplicación (tratamientos) en la variable dependiente de Eficiencia de aplicación (Ea%) ($Pr > 0.05$).

El segundo aspecto, el valor de p es 0,0246 donde indica que la velocidad del viento tiene un efecto significativo sobre la variable dependiente, ya que $p < 0,05$. Además, el coeficiente negativo de la covariable sugiere que, a medida que la velocidad de viento (m/s) aumenta la variable dependiente (Ea) disminuye, en -13,63 unidades por cada unidad de aumento en la velocidad de viento.

Desde el punto de vista, concluimos que el efecto de la covariable (velocidad de viento) tiene un efecto significativo sobre la variable dependiente (eficiencia de aplicación Ea %) ya que el valor de p es menor que 0,05. El efecto de los tratamientos indica que no se encontraron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos aplicados.

En términos generales, con esto comprobamos que en este estudio la influencia del viento sobre la evaluación de riego por aspersión, es de gran importancia para obtener mayores y/o mejores resultados, ya que como se mencionó anteriormente, este es otro factor que influye negativamente sobre la Eficiencia de aplicación (Ea%).

El coeficiente de variación es 19,15 %, nos establece la confiabilidad de los datos estudiados, donde nos permite cuantificar en términos porcentuales la variabilidad de las

unidades experimentales, frente a la aplicación de diferentes tiempos de riego (tratamientos), por lo tanto, aceptamos la hipótesis planteada desde un inicio, que nos indica que los principales parámetros técnicos no presentan diferencias significativas con el uso de cintas de aspersión Golden Spray en diferentes tiempos de aplicación.

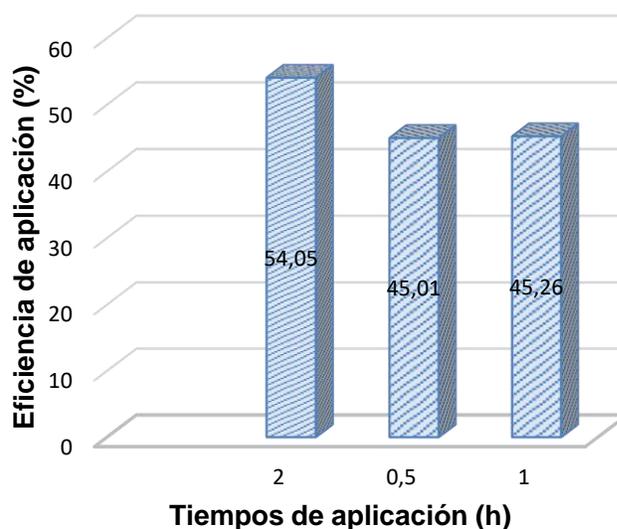


Figura 38. Eficiencia de aplicación (%) para los tiempos de riego

La variación del viento influyo en las diferentes evaluaciones realizadas en este estudio, lo que dificulto obtener un promedio significativo de la Eficiencia de aplicación (Ea) para cada tratamiento. Dado que el viento se convierte en una variable que modifica la variable principal (CU), se recurrió al Análisis de Covarianza para obtener la media ajustada de la Eficiencia de Aplicación en cada uno de los tres tratamientos lo cual fue posible utilizando las expresiones presentadas previamente.

La Figura 38, concede una representación visual clara de las medias de la eficiencia de aplicación (Ea%) para los diferentes tiempos de aplicación (T=2h, 1h y 0,5h) con las cintas Golden Spray, se puede verificar a vista simple la ausencia de diferencias significativas entre los tiempos aplicados (tratamientos) que se refleja en la súper posición de las barras de medias donde T1(2h) =54,05%, T3(0,5h) =45,41% y T2(1h) =45,26%. Esto fortalece la conclusión de que, aunque las diferencias aparentes en las medias de los tratamientos, no son estadísticamente significativas entre los tiempos aplicados. Donde a mayor tiempo de aplicación la eficiencia va aumentando conjuntamente ligado a la CU, pero se ve limitada por otros factores que refleja las pérdidas y/o déficits para cada tratamiento.

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.

Cuadro 17. Resultados obtenidos del parámetro de Eficiencia de aplicación (Ea %), para los 3 tratamientos, en sus diferentes evaluaciones, calculados mediante la Lamina promedio del CI (Cuarto intermedio) sobre lamina promedio aplicada *100

Hora de inicio de la evaluación	Evaluaciones	Tiempo	Eficiencia de aplicación	Velocidad de viento
(am o pm)	(No)	Horas	(Ea%)	(m/s)
13:00 pm	1	1	37	1,6
13:00 pm	2	1	34	1,6
13:30 pm	3	2	49	0,7
13:30 pm	4	2	65	0,7
11:00 am	5	1	44	1,1
11:00 am	6	1	50	1,1
11:35 am	7	1	25	1,3
11:35 am	8	1	49	1,3
6:00 am	9	1	56	0,0
6:00 am	10	1	58	0,0
11:30 am	11	0,5	53	0,8
11:30 am	12	0,5	41	0,8

Según el Cuadro 17, podemos contemplar los resultados obtenidos de todas las evaluaciones realizadas y los diferentes tiempos de riego aplicados, bajo la influencia de los factores edafoclimáticos. Desde el punto de vista, podemos examinar los resultados obtenidos de cada una de las evaluaciones en diferentes tiempos de aplicación y/o resaltar los parámetros con el mejor desempeño. Asimismo, dar a conocer las principales causas de dichos resultados obtenidos descritos en los Anexos 14, 15 y 16.

Prueba de ello, es ver como como la influencia de factores como suelo, factores climáticos tuvo que ver mucho en los resultados de eficiencia de aplicación (Ea) obtenida. Por ejemplo, la eficiencia de 1 h que se obtuvo en el horario de 6:00 a.m. con un valor de 56% y 58% sin la influencia de viento, da entender que no hubo arrastre y las pérdidas derivan de otros factores relacionados al sistema de riego y factores del suelo clima, de igual forma lo que nos da entender el 56% de Ea, es que cada 100 litros aplicados solo se aprovecha 56 litros y el 44% restante se considera pérdidas, al igual que el valor de 58% de Ea solo 58 litros son aprovechables de 100 litros aplicados y hay una pérdida del 42% que son a causa de factores ya mencionados anteriormente.

Sin embargo, en las demás evaluaciones de 1 h, como el de 13:00 p.m. con valores de 37% y 34% son las lecturas más bajas registradas de Ea con una influencia de viento de 1,6 m/s, las lecturas medidas de 44% y 50% registrados a las 11:00 a.m. da a asumir que la velocidad de viento de 1,1 m/s influye en la eficiencia aplicada en la superficie regada, por otra parte, las últimas evaluaciones de 1 h con lecturas medidas de 25% y 49% registrados desde las 11:35 a.m. bajo una influencia de viento de 1,3 m/s registrarían una Ea regular, mencionado anteriormente de que factores perjudiciales ya mencionados, nos indican que hay perdidas por arrastre de viento principalmente, luego derivan otros factores.

No hay que olvidar que, la eficiencia de aplicación está determinada al mayor tiempo de aplicación de riego, como podemos observar en las evaluaciones de 2 h en el horario de 13:30 p.m. bajo la influencia del suelo y el factor clima con un resultado de 49% y 65% bajo una influencia de viento de 0,7 m/s nos da a asumir que los resultados podrían ser mejores sin la influencia de los factores ya mencionados.

Por último, la eficiencia obtenida en 0,5 h con valores de 53% y 41% bajo la influencia de viento de 0,8 m/s en un horario de 11:30 a.m. nos indica que ese es el valor aprovechable de agua aplicada, que 53% solo se aprovecha 53 litros de cada 100 litros aplicados y de 41% solo se aprovecha 41 litros de cada 100 litros aplicados a la superficie regada. Por lo tanto, se registra que el déficit está relacionado con la pérdida por evapotranspiración, la acción del viento y la infiltración profunda en el suelo entre otros factores.

Según el Servicio de Asesoramiento del Regante (2010) el riego por aspersión llega a alcanzar valores de eficiencia de 60% para arriba, influenciado por el método de riego, clima y otros agentes (Cuadro 4).

Según MIDAGRI (s.f.) 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.

- **Comportamiento de CU y Ea una presión trabajo baja de 0,5 bar**

Posteriormente, de acuerdo a los resultados ya mencionados y/o obtenidos de las anteriores evaluaciones, se realizó una prueba de respaldo, donde se pretende verificar que a presiones más bajas de trabajo se obtienen mejores resultados.

Cuadro 18. Prueba de respaldo a una presión inferior

Hora	Evaluación	Tiempo (hr)	Medida CU%	Medida EA	Viento (m/s)
8:30 a.m. a 9:00 a.m.	1	0,5	73	54	0,3
8:30 a.m. a 9:00 a.m.	2	0,5	76	67	0,3

Según el Cuadro 18, merece la pena subrayar los resultados obtenidos, donde los parámetros técnicos obtenidos son relevantes en el tiempo de aplicación que se evaluó, tanto así, que esta prueba se realizó a una presión de 0,5 bar dando como resultado un valor 73% en coeficiente de uniformidad con un 54% de eficiencia de aplicación en la primer boque experimental, por tanto, en la segundo bloque experimental se obtuvo un valor de 76% en CU con un 67% de Ea, bajo una influencia mínima de viento de 0,3 m/s en un tiempo de 0,5 h de aplicación descrito en los Anexos 17 y 18, Por lo tanto, a mayor tiempo de aplicación los valores obtenidos de eficiencia son mayores al 60% descrito en el Cuadro 4 por el Servicio de Asesoramiento del regante (2010)

Según Agropinos, (2022) señala que la eficiencia teórica oscila en un 80% en riego por aspersión y 50% por riego tradicional por inundación, habrá varios factores que influirán para obtener mayor eficiencia como: clases de suelo, percolación profunda y el arrastre de viento entre otros.

4.4. Análisis de comparación de costos de instalación

En el presente estudio, el análisis comparativo está basado en la comparación de costos de implementación de diferentes métodos de riego por aspersión, empleando las cintas de aspersión y aspersores convencionales con características similares ofertados en el mercado. Por lo cual, para analizar esta comparación previamente es necesario realizar un presupuesto en base a un diseño para un área de riego de 280 m², con la finalidad de determinar los accesorios y materiales necesarios para su implementación conforme a cada método de riego.

Cuadro 19. Diferencia de costos (inversión inicial) para la implementación de un aspersor Mini-Wobbler y las cintas de aspersión Golden Spray, con los materiales primordiales, dentro del sistema de riego

Materiales de los sistemas de riego implementado para riego por aspersión en una determinada superficie				
Descripción	Unidad	Cantidad	P/U (Bs)	Subtotal (Bs)
Cintas Golden Spray y sus accesorios de acople para una superficie de 280 m ²	Global	60	10	600
TOTAL (Bs)				600
Descripción	Unidad	Cantidad	P/U (Bs)	Subtotal (Bs)
Aspersores Mini-Wobbler y sus accesorios de acople para una superficie de 280 m ²	Global	17	50	850
TOTAL (Bs)				850

En el Cuadro 19, 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 Mini-Wobbler para el riego parcelario de una superficie de 280 m², según precios obtenidos durante la gestión 2023, abarca un total de Bs 850. En contraste, el costo para la implementación de las cintas de aspersión Golden Spray asciende a Bs 600, cuyo precio en comparación al anterior, llega a ser menor.

Lo descrito, es debido principalmente al costo de cada tecnología, cintas de aspersión y los emisores convencionales con características similares, asumiendo que es mayor la cantidad de aspersores requeridos para un área de 280 m², por tanto, el costo de la inversión inicial llega a ser menor para la implementación de cintas de aspersión Golden Spray con una diferencia de precio de Bs 250 con respecto a los aspersores.

5. CONCLUSIONES

Según los objetivos planteados y los resultados obtenidos en el presente estudio, nos permite sustentar las siguientes conclusiones:

- Se determinó que la presión de trabajo ejercida de 1.2 bar, mediante la implementación de manómetros con glicerina de 6 bares en el sistema de riego, conforme el tiempo transcurría se registró presiones más bajas debido a pérdida de presión.
- En cuanto al alcance de riego (Ar) se determinó un alcance hasta de 6 metros a cada lado sin la presencia de viento y con una presión de trabajo 1.2 bar. Sin embargo, la presencia de viento provoca un arrastre en la dirección de su flujo.
- Concluimos que el caudal registrado por el método volumétrico en las cintas por aspersión fue 1260 l/h con una presión de trabajo de 1.2 bar.
- Con respecto al coeficiente de uniformidad (CU%), se pudo observar que no fue completamente uniforme en todas las evaluaciones, debido principalmente al arrastre que generó la presencia de vientos.
- Se determinó que la mejor uniformidad (CU%) registrada fue en un tiempo de aplicación de 1 hora (tratamiento 2) con un 77% sin la presencia de vientos.
- Con respecto a la eficiencia de aplicación (Ea%), se pudo observar que los valores obtenidos muestran una eficiencia regular a aceptable debido a factores como la presencia de vientos, factor suelo entre otros.
- Se determinó que el mejor dato registrado de eficiencia de aplicación hallada fue en un tiempo de aplicación de 2 horas (tratamiento 1) con un 65% efectividad con la presencia de vientos.
- Se concluye, que la implementación de cintas de aspersión es más económica para instalar debido a su manejo y movilidad en comparación a los sistemas convencionales.
- Concluimos que la hipótesis planteada es válida, ya que los principales parámetros técnicos no demostraron diferencias significativas con el uso de cintas de aspersión Golden Spray en diferentes tiempos.

6. RECOMENDACIONES

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

- Se recomienda su implementación de las cintas de aspersión Golden Spray, para su uso en el riego parcelario por ser un sistema movable manipulable y rentable.
- Se recomienda aplicar riego con las cintas de aspersión en horario de las 6:00 a.m. debido que no se registró la presencia de vientos.
- Se aconseja realizar mayores estudios e investigaciones referidos al uso de cintas de aspersión, trabajando principalmente en pruebas de campo con diferentes cultivos, preferentes a presiones más bajas de trabajo, con la finalidad de obtener una mejor uniformidad y eficiencia de riego.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Adena, 2009. Manual de buenas prácticas de riego. Ed Amaya Asiaín. Madrid, España. 32 p. https://awsassets.wwf.es/downloads/buenas_practicas_de_riego.pdf
- AgriNews, (s.f.) Análisis de parámetros de calidad de agua. agrinewweb. <https://www.aguinew.cl/parametros-new/> Consultado en 5 may. 2024
- Agropinos. 2022. Sistema de riego por aspersión: todo lo que debe saber. agropinosweb. <https://www.agropinos.com/blog/sistema-de-riego-por-aspersion> Consultado en 5 may. 2024
- AguaLibre, 2023. Análisis de parámetros de calidad de agua. agualibreweb. <https://www.agualibre.cl/la-importancia-de-la-medicion-del-nivel-y-temperatura-del-agua> Consultado en 5 may. 2024
- Alanoca, J. 2005. Producción de zanahoria (*Daucus carota* L.) bajo riego por cintas de aspersión, con tres niveles de humedad y dos niveles de fertilización. (COMUNIDAD MANTECANI, PROVINCIA ARROMA), Facultad de Agronomía. Tesis Ing. Agr. La Paz, Bolivia 125 p.
- Allen, J. 2017. Sistema de riego tecnificado en el cultivo de VID. (*Vitis vinifera* L.) Tesis Ing. Agr. Lima, Perú. Universidad Nacional la Molina Facultad de Agronomía 62 p. Consultado 12 feb. 2024.
- Ambientalys, s.f. Análisis de parámetros en aguas de consumo: el pH. ambientalysweb. <https://www.ambientalys.com/analisis-aguas-consumo-ph> Consultado en 5 may. 2024
- Analitiks, s.f. Análisis de parámetros de calidad de agua. Analitiksweb. <https://www.analitiks.cl/parametros-new/> Consultado en 5 may. 2024
- Buitrago, J. Iagua. 2023. Calidad del agua, ¿Cómo afecta a nuestro sistema de riego? iaguaweb. <https://www.iagua.es./blogs/jose-maria-buitrago-lopez/calidad-agua-como-afecta-nuestro-sistema-riego> Consultado en 5 may. 2024
- California State Water Resources Control Board, 2024. CE y salinidad, folleto informativo, ¿Qué es la salinidad? Waterboardsweb.

https://Waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/313Osp.pdf Consultado en 30 may. 2024

- Callisaya, J. Castillo, C. 2018. Aplicación de tres láminas de agua con riego por aspersión en el cultivo de alfalfa en la Estación Experimental de Choquenaira – La Paz. Tesis maestría para obrar el título de Master of science. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés. 152 p. Consultado el 30 mar. 2024
- Carita, E. 2014. Biotransformación de residuos de la hoja de coca (*Erythroxylum coca*) mediante vermicompostaje en el Centro Experimental de Kallutaca. Tesis Ing. Agr. LA Paz, Bolivia. Universidad Pública de El Alto. 80 p.
- Chávez, H, 2011. Comportamiento hidráulico del aspersor artesanal para la distribución optima del riego en regiones de valle. Facultad de Agronomía. Tesis Ing. Agr. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés. 107 p. Consultado el 27 dic. 2023. Disponible en:
file:///C:/Users/Global/Downloads/DOCUMENTOS%20TESIS%20TD-1647%20TESIS%20RIEGO%20EMISORES.pdf
- Chipana, R. 1996. Principios de Riego y Drenaje. Docente de la Facultad de Agronomía UMSA. La Paz, BO, IRTEC. 202 p.
- Cisneros, E. Venero, Y. Zenen, P. Gonzales, F. 2019. El viento y su influencia en los parámetros de calidad de riego. Revista Ingeniería Agrícola (IAgric) vol. 9, num4. Instituto de investigaciones de ingeniería agrícola. Consultado el 23 mar. 2024. Disponible en <https://www.redalyc.org/journal/5862/586262756004/html/>
- Comunidad Andina, 2005. Manual de estadísticas ambientales. CAN: Santa Cruz de la Sierra. 31-45 p.
- Delgadillo, O. Jiménez, J. Rojas, C. 2011. Evaluación de riego por aspersión en parcela. Apuntes metodológicos a partir de la práctica. Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua. Serie técnica. Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias, Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba, Bolivia. 61 p. Consultado en 24 mar. 2024.
- Díaz, V. Herrera M. 2019. Análisis de uniformidad de intensidad de aplicación del agua, del sistema de riego por aspersión, en la finca Experimental el Plantel, de la Universidad

Nacional Agraria (UNA, Managua, 2016 – 2017. 58 p. Consultado en 26 may. 2024.
Disponible en <https://repositorio.una.edu.ni/3897/>

Faci, J., Bercero, A. 1991. Efecto del viento en la uniformidad y en las pérdidas por evaporación y arrastre en el riego por aspersión. Invest. Agr.: Prod. Prot. Veg. 6 (2): 171-182 p.

Fluence, 2024. Sólidos Disueltos y Purificación del Agua, ¿Determinación de sólidos totales disueltos? Fluenceweb. <https://www.fluencecorp.com/es/purificacion-de-agua-y-solidos-disueltos/> Consultado en 18 may. 2024

Giubergia, J. 2011. Efectos de riego complementario sobre propiedades del suelo en sistemas de producción con siembra directa. Ing. Agr. Facultad de Ciencias Agropecuarias Universidad Nacional de Córdoba. Buenos Aires, Argentina. 1128 p. Consultado el 17 feb. 2024.

Global Seafood, 2024. Conductividad eléctrica del agua, ¿Qué es conductividad eléctrica? GlobalSeafood. <https://GlobalSeafood.org/advocate/conductividad-electrica-del-agua-parte.1/> Consultado en 29 may. 2024

Golden Spray, 2023. Ficha técnica 2 p. Consultado 30 sep. 2023.

Google Earth, 2023. Coordenadas geográficas de la Estación Experimental Kallutaca UPEA Google Earth. Consultado 4 jun. de 2023. Disponible en https://earth.google.com/web/search/SEDE+KALLUTACA/@-16.5248018,-68.3085386,3902.97518139a,1007.88817873d,35y,0h,45t,0r/data=CnkaTxJJCiUweDkxNWVkJZDRIMGI0YjkwODE6MHhjMjkzN2RjMmQzM2FmN2U2GcbhJ2IZhjDAIW4jrxix_E1HAKg5TRURFIEtBTExVVEFDQRgCIAEiJgokCYdVCpW-hDRAEYNVCpW-hDTAGfa5dD772ziAITvfxQB2FFPAKAI

GrupoHidráulica. 2022. Riego por aspersión clasificación, componentes, ventajas y características. GrupoHidraulicaweb. <https://www.grupohidraulica.com/noticias/2022/05/23/riego-por-aspersion> Consultado en 5 may. 2024

- Guarachi, G. 2013. Evaluación técnica de aspersores caseros de baja presión en la Estación Experimental de Kallutaca, Facultad de Agronomía. Tesis Ing. Agr. El Alto, Bolivia. Universidad Pública de El Alto. 162 p.
- Gurovich, L. 1999. Riego Superficial Tecnificado. 2da edición. Editorial Alfa omega, Chile. 433 p.
- HACH. 2024. ¿Qué son los sólidos totales en suspensión? HACHweb. <https://es.hach.com/parameters/solids> Consultado en 5 may. 2024
- HANNA Instruments, s.f. Importancia de la medida de ORP. (En línea). Consultado 16 mar. 2024. Disponible en: <https://www.hannacolombia.com/blog/27/importancia-lamedida-orp>
- HigieneAmbiental, 2018. ¿Que nos dice la turbidez sobre la calidad de agua? Higieneambientalweb. [https://higieneambiental.com/aire-agua-y-legionella/que-nos-dice-laturbidez-sobre-la-calidad-del-agua.potable#:text-A%20mayor%20turbiedad%2c%20mayor%20particulado,el%20organismo%20diana%20a%20eliminar](https://higieneambiental.com/aire-agua-y-legionella/que-nos-dice-laturbidez-sobre-la-calidad-del-agua.potable#:text=A%20mayor%20turbiedad%2c%20mayor%20particulado,el%20organismo%20diana%20a%20eliminar) Consultado en 5 may. 2024
- Huat, B.B.K. ALI, F.H.J. LOW, T.H. 2006. Waterinfiltrationcharacteristics of unsaturatedsolilslope and itseffectonsuction and stability. Geotechnical and Geological Engineering 24. 1306 p.
- Hurtado, L. 2010. Fundamentos del riego. Profesor principal del Departamento Académico de Suelos – UNALM. (En línea). Consultado 16 mar. 2012. Disponible en: http://agricola-unl.com/pdf/Fundamentos_Riego.pdf
- IAgric, 2019. El viento y su influencia en los parámetros de calidad de riego. Revista ingeniería agrícola. Vol. 9, núm. 4, e04,2019. Consultado 16 mar. 2024. Disponible en: <https://www.realyc.org/journal/5862/586262756004/html/>
- Iagua. 2024. Riego por aspersion: Características de riego por aspersion iaguaweb. <https://www.iagua.es/respuestas/como-funciona-riego-aspersion?amp> Consultado en 5 may. 2024

- INIA - CENTRO REGIONAL DE INVESTIGACIÓN CARILLANCA. 2001. Gobierno de Chile. Ministerio de Agricultura. Comisión Nacional de Riego. "Riego por aspersión". Chile. 48 p.
- Intagri. s.f. Importancia de la Evaluación de Eficiencia de los Sistemas de Riego por Goteo. intagriweb. <https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/importancia-de-la-evaluacion-de-la-eficiencia-de-los-sistemas-de-riego-#.text-Evaluar%20la%20%20del%20sistemas,expresu%20%20C3%A1ximo%20potencial%20productivo>. Consultado en 5 may. 2024
- Keller, R. Bliesner, R. 2000. Sprinke and Trickle irrigation, Blackburn Press. New York. 652 p.
- León, P. 2001. Tecnología de cultivos bajo riego en zonas de ladera. Programa de entrenamiento para terceros países. 1er Curso Internacional 30 de Julio al 23 de ago. de 2001. Área de Riego. Quito, Colombia. pp. 117-144.
- López, M. 2005. Comportamiento agronómico de seis variedades de zanahoria (*Daucus carota* L.) bajo riego por cintas de aspersión, en la Localidad de Mantecani (PROVINCIA AROMA), Facultad de Agronomía. Tesis Ing. Agr. La Paz, Bolivia. 128 p.
- Lozada, V. 2005. El Riego, Fundamentos de su Hidrología y de su Práctica. Ediciones Mundi – Prensa. Barcelona, España. 261 p.
- Mamani, I. 2022. Evaluación del sistema de riego por gravedad en la Estación Experimental de Kallutaca. Tesis Ing. Agr. El Alto, Bolivia. Universidad Pública de El Alto. 111 p.
- Microlab Industrial S.A. de C.V, s.f. Análisis de potencial redox (orp). Microlabweb. <https://www.microlabindustrial.com/parametros/propiedades-agregadas/821/potencial.redox.orp> Consultado en 5 may. 2024
- MIDAGRI (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego) s.f. Eficiencia de aplicación en riego por aspersión. midagriweb. <https://www.midagri.es./blogs/redondo/eficiencia-aplicacion-riego-por-aspersion> Consultado en 5 may. 2024

- Moñocopa, P. 2012. Adaptabilidad de veinte cinco líneas de trigo harinero (*Triticum aestivum*) en condiciones de altiplano norte, del departamento de La Paz. Tesis Ing. Agr. El Alto, Bolivia. Universidad Pública de El Alto. 100 p.
- NB 518, 2004. Agua Potable Requisitos 16 p. En línea. Consultado el 4 may. 2024. Disponible en http://www.anesapa.org/data/files/NB512-AP_Requisitos.pdf
- Ochoa, R. 2016 Diseños experimentales (2 ed). La Paz, Bolivia
- OMS (organización mundial de la salud) 1999. Guías para calidad de agua potable. Vol. 1. 2 ed. Ginebra. OMS. 40 p.
- Peñañiel, M. A. 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 Ing. Agr. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés 121 p.
- Pereira, L, S. 2004. El Riego y sus Tecnologías. 1era edición en castellano. Ediciones Europa-América en Lisboa. Albacete, España. 296 p.
- Pivote irrigación, SL. 2021. Coeficiente de uniformidad, ¿Qué es y para se utiliza? PivoteRKDweb. <https://rkd.es/blog/coeficiente-de-uniformidad/> Consultado en 5 may. 2024
- 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. Facultad de Agronomía. Tesis Ing. Agr. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés. 126 p. Consultado el 20 dic. 2023. Disponible en: <file:///C:/Users/Global/Downloads/DOCUMENTOS%20TESIS%20ERWIN/T-2045%20TESIS%20RIEGO%202014.pdf>
- Portal Frutícola 2016. Como medir la uniformidad de riego en los cultivos PortalFruticola.com web. <https://www.portalfruticola.com/noticias/2016/03/04/como-medir-uniformidad-de-riego-en-cultivos> Consultado en 5 may. 2024
- Revilla, F. 2010. Riego por aspersión. Colección de Prácticas en el Sector Agropecuario. Junta de Castilla y León. España. 67 p.

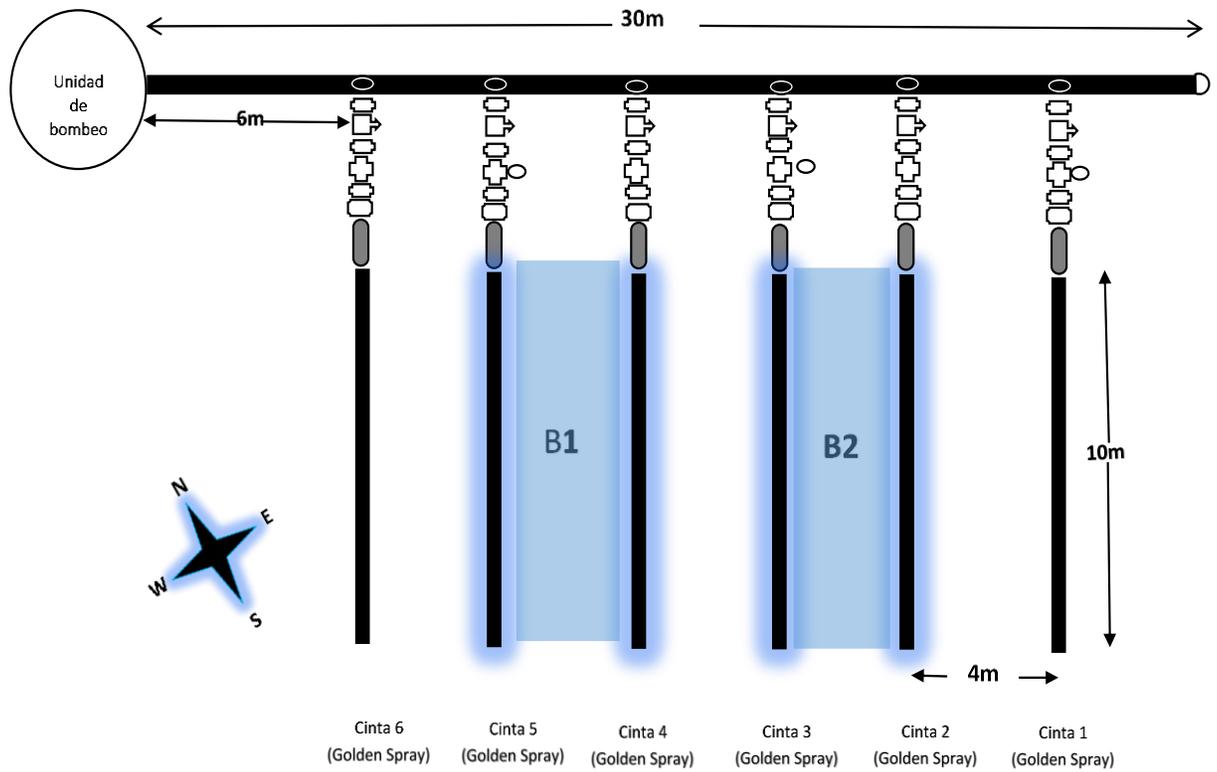
- SENAMHI, (2008). Departamento de suministro de información hidrometeorológica. Estación Kallutaca (UPEA). La Paz. Serie Climática: 1967-73/77-08
- SERVICIO DE ASESORAMIENTO AL REGANTE. 2010. Folleto técnico. "Procedimiento para la realización de evaluaciones en riego por aspersión". 12 p.
- SIAR, (SERVICIO INTEGRADO DE AGROCLIMATOLOGÍA Y RIEGO). 1999. "Programación del Riego". Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Talca. Chile. 20 p.
- SOB DISTRIBUIDORES. 2017. ¿Qué es la demanda biológica de oxígeno? La DBO. SobDistribuidoresweb. <https://www.sobdistribuidores.com/es/blog/> Consultado en 5 may. 2024
- Tarjuelo, J. 1999. El riego por aspersión y su tecnología. 2 da edición. Ediciones Mundi - Prensa. España. 567 p.
- Universidad de Sevilla. 2008. Hidráulica y Riegos. (En línea). Consultado 16 mar. 2024. Disponible en: http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-yriegos/temario/Tema%209.%20Riego%20por%20aspersion/page_02.htm
- Universidad Internacional de Riego. 2017. Calidad de agua de riego. [universidadderiego](https://www.universidadderiego/2017-calidad-del-agua-de-riego)web. <https://www.universidadderiego/2017-calidad-del-agua-de-riego> Consultado en 5 may. 2024
- Universidad Mayor de San Andrés. 107 p. Disponible en <file:///C:/Users/Hp%20240/Downloads/Tesis%20cintas%20de%20aspersion.pdf>
- USDA, 1970. (UnitedStatesDepartment of irrigation and technology) USA 50-55 p.
- Vargas, E. 2019. Clasificación de suelos según la aptitud de riego en la Estación Experimental Patacamaya. Tesis Ing. Agr. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andres. 143 p.
- Vergara, R. 2024. Tecnificación de riego para fresa. (*Fragaria x ananassa* Duch.) Tesis Ing. Agr. Lima, Perú. Universidad Nacional la Molina Facultad de Agronomía 78 p. Consultado 12 feb. 2024.

Villafáfila, E. Wyss, F. 2007. Horticultura." Manual técnico". Curso a distancia. Ministerio del Agro y la Producción. Posadas. Misiones.

Zocoler J. 2001. Efecto de la Posición relativa de la línea lateral de un equipo de irrigación. Gación tipo pivote central en uniformidad de distribución. De la eficiencia del agua y del riego. Ing. Agrícola. 2(4): 290.297 p.

8. ANEXOS

Anexo 1. Croquis de la instalación del sistema de riego en cintas de aspersión en campo, con sus respectivas dimensiones



Tiempo de riego (Tratamientos)

(distribuidos en los bloques 1 y 2)

T1=2h

T2=1h

T3=0.5h

Área de evaluación

B1=Bloque 1

B2=Bloque 2

Referencias

○ = Collarin de 1" ½

◊ = Codo hembra PVC de 1" ½

□ = Niple PVC de 1" □

⊞ = Llave de paso PVC roscable de 1"

⊞ = Tee PVC de 1"

○ = Manometro de glicerina

□ = Llave universal PVC de 1"

▬ = Cinta de aspersión Golden Spray de 1" ½

▬ = Tracarro de 1" a 1" ½

Anexo 2. Fuente de agua



Anexo 3. Planilla de velocidad o tasa de infiltración, mediante el método de doble cilindro

Nº	T parc. min.	L parc. cm.	Lectura en el cilindro (cm)	T acum. min.	L acum. cm.	X= Log T ac.	Y= Log L ac	X * Y	x 2	Z in. cm.	I	
											cm / min	cm / hor
			0	0	0							
1	1	1,0	1,0	1	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,77	0,55	33,08
2	1	1,4	2,4	2	2,40	0,30	0,38	0,11	0,09	2,20	0,34	20,53
3	1	0,6	3,0	3	3,00	0,48	0,48	0,23	0,23	2,49	0,26	15,53
4	1	0,4	3,4	4	3,40	0,60	0,53	0,32	0,36	2,73	0,21	12,74
5	1	0,5	3,9	5	3,90	0,70	0,59	0,41	0,49	2,92	0,18	10,92
6	3	0,6	4,5	8	4,50	0,90	0,65	0,59	0,82	3,38	0,13	7,90
7	3	0,5	5,0	11	5,00	1,04	0,70	0,73	1,08	3,74	0,11	6,35
8	3	0,7	5,7	14	5,70	1,15	0,76	0,87	1,31	4,03	0,09	5,38
9	5	-3,9	1,8	19	1,80	1,28	0,26	0,33	1,64	4,43	0,07	4,36
10	5	1,2	3,0	24	3,00	1,38	0,48	0,66	1,90	4,76	0,06	3,71
11	5	1,2	4,2	29	4,20	1,46	0,62	0,91	2,14	5,05	0,05	3,26
12	10	1,3	5,5	39	5,50	1,59	0,74	1,18	2,53	5,54	0,04	2,66
13	10	4,1	6,5	49	9,60	1,69	0,98	1,66	2,86	5,95	0,04	2,27
14	20	-3,7	2,8	69	5,90	1,84	0,77	1,42	3,38	6,62	0,03	1,79
15	20	1,7	4,5	89	7,60	1,95	0,88	1,72	3,80	7,17	0,03	1,51
16	30	2,2	6,7	119	9,80	2,08	0,99	2,06	4,31	7,84	0,02	1,23
17	60	-2,7	4,0	179	7,10	2,25	0,85	1,92	5,08	8,91	0,02	0,93

SUM=

20,69	10,66	15,10	32,01
-------	-------	-------	-------

Anexo 4. Cálculo de la velocidad de infiltración (Ib)

$$A = \frac{\sum X^2 \cdot \sum Y - \sum X \cdot \sum XY}{N \cdot \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

$$A = 0,247906$$

$$a = 1,76973$$

$$a = \text{antilog}(A)$$

$$b = B$$

$$B = \frac{N \cdot \sum XY - \sum X \cdot \sum Y}{N \cdot \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

$$n = \frac{b-1}{1}$$

$$B = 0,311564$$

$$n = -0,6884$$

Cálculo de Lamina infiltrada (Z in.) (cm.)

$$Z_{in} = a \cdot (t)^b$$

*t = Tiempo
acumulado*

*Cálculo de la Velocidad de infiltración instantanea (Ii)
(cm/h)*

$$I_i = a \cdot b \cdot (t)^n$$

*Cálculo de la Velocidad de Infiltración Basica
(Ib)*

$$I_b = K_i \cdot (t_b)^n$$

$$t_b = [-600 \cdot (-n)]$$

$$K_i = 60 \cdot a \cdot b$$

$$n = \frac{b-1}{1}$$

min.

$$t_b = 413,06 \text{ min.}$$

$$K_i = 33,0829$$

$$n = -0,6884$$

$$Ib = 0,52317 \text{ cm / hora}$$

$$Ib = 5,23 \text{ mm/hora}$$

Anexo 5. Resumen climatológico de septiembre 2023 de la Estación Experimental Kallutaca

RESUMEN CIMATOLOGICO MENSUAL DE SEPTIEMBRE DE 2023												
Nombre: Kallutaca Elevación 3901 msnr Latitud: 16°31'28' Longitud: 68°18'30'												
Día	Temp. (°C)	Temp. Max	Tempo	Temp. Min	Tempo	Días (+°C)	Días (-°C)	Precipitación (mm)	Velocidad del viento (m/S)	Alta	Tempo	Dirección del viento
1	9.3	17.8	15:00	0.6	06:00	9.0	0.0	0.5	1.4	9.8	15:00	NE
2	9.6	17.9	15:00	0.6	07:00	8.7	0.0	0.0	1.6	9.8	16:00	NE
3	9.6	17.8	14:00	1.1	00:00	8.7	0.0	0.0	2.3	15.2	11:00	ENE
4	7.9	18.0	18:00	(-4.8)	07:00	10.4	0.0	0.0	0.4	5.8	16:00	S
5	7.8	17.6	14:00	(-2.1)	07:00	10.5	0.0	0.0	0.9	13.4	15:00	S
6	6.8	15.7	12:00	0.7	07:00	11.5	0.0	3.3	1.1	8.9	13:00	NE
7	8.3	15.9	15:00	1.3	00:00	10.0	0.0	0.0	2.0	10.7	06:00	ENE
8	6.9	17.1	16:00	(-3.8)	05:00	11.4	0.0	0.0	0.9	9.4	14:00	W
9	7.3	18.3	17:00	(-6.4)	07:00	11.0	0.0	0.0	0.4	7.2	17:00	SW
10	7.9	18.0	14:00	(-2.3)	06:00	10.4	0.0	0.0	1.3	9.4	16:00	SW
11	8.3	19.4	15:00	(-4.1)	05:00	10.1	0.1	0.0	0.7	8.0	18:00	SSE
12	9.5	18.8	15:00	(-1.1)	05:00	8.8	0.0	0.0	1.1	9.4	16:00	ENE
13	8.7	18.3	16:00	(-0.3)	07:00	9.6	0.0	0.0	0.8	8.5	17:00	ENE
14	6.9	17.7	15:00	(-5.1)	06:00	11.4	0.0	0.0	0.3	5.8	15:00	NE
15	9.1	19.8	16:00	(-3.3)	07:00	9.4	0.2	0.0	0.6	7.2	14:00	NE
16	8.6	18.8	15:00	(-1.3)	06:00	9.8	0.0	0.0	1.3	11.2	16:00	S
17	9.0	19.7	17:00	(-2.3)	06:00	9.4	0.1	0.0	0.5	8.0	18:00	S
18	9.3	20.2	15:00	(-2.6)	05:00	9.2	0.1	0.0	0.6	6.7	17:00	S
19	9.8	18.0	15:00	4.1	05:00	8.6	0.0	0.0	1.0	8.9	17:00	ENE
20	9.2	18.1	15:00	1.2	07:00	9.2	0.0	0.5	1.0	9.8	17:00	SSW
21	10.3	19.0	15:00	2.8	07:00	8.0	0.0	0.3	0.9	11.6	17:00	S
22	10.9	19.2	14:00	3.3	06:00	7.5	0.1	0.0	1.5	9.8	12:00	S
23	11.0	18.5	15:00	4.2	01:00	7.3	0.0	0.0	1.1	9.4	14:00	E
24	9.9	19.2	15:00	1.8	05:00	8.5	0.0	0.0	1.1	10.7	14:00	S
25	10.3	21.0	16:00	(-0.4)	07:00	8.3	0.3	0.0	0.8	7.2	15:00	ENE
26	11.4	21.2	15:00	0.3	07:00	7.2	0.3	0.3	0.8	7.6	12:00	W
27	10.4	19.4	13:00	4.3	02:00	7.9	0.0	1.3	1.6	11.2	16:00	SW
28	12.6	20.6	15:00	4.8	05:00	6.1	0.3	0.0	0.8	7.2	14:00	W
29	10.9	18.7	15:00	3.3	07:00	7.4	0.0	0.0	0.9	8.9	15:00	SSW
30	9.6	18.1	15:00	1.4	07:00	8.7	0.0	0.0	0.7	8.0	15:00	ENE
	9.2	21.2	00:00	(-6.4)	9	274.0	1.4	6.1	1.0	15.2	3	S

MAX >= 32.0:0

MAX <= 0.0:0

MIN <= 0.0:14

MIN <= (-18.0:0)

Lluvia máxin 3.30 ON 06/09/23

Días de lluvia (>.2mm) 1(>2 mm) 0 (> 20 mm)

Base de calc 18.3 Base fría: 18.3 Método: Integración

Anexo 6. Planilla de variación de presión de trabajo a lo largo de las evaluaciones

	PROMEDIO DE PRESIÓN DE TRABAJO (bar)						
N°	Fecha	Hora medida	MP	M1	M2	M3	Promedio (bar)
	2/9/2023	13:00 pm	1,2	1,2	1,1	1	1,13
Evaluación 1 y 2	2/9/2023	13:30 pm	0,9	0,6	0,4	0,3	0,55
	2/9/2023	14:00 pm	0,7	0,7	0,5	0,4	0,58
N°	Fecha	Hora medida	MP	M1	M2	M3	Promedio (bar)
	11/9/2023	13:30 pm	1,2	1	0,9	0,6	0,93
	11/9/2023	14:00 pm	1,2	1	0,9	0,7	0,95
Evaluación 3 y 4	11/9/2023	14:30 pm	0,9	0,7	0,7	0,6	0,73
	11/9/2023	15:00 pm	0,9	0,7	0,7	0,6	0,73
	11/9/2023	15:30 pm	0,8	0,7	0,7	0,6	0,70
N°	Fecha	Hora medida	MP	M1	M2	M3	Promedio (bar)
	12/9/2023	11:00 am	1,2	1,1	1	1	1,08
Evaluación 5 y 6	12/9/2023	11:30 am	0,4	0,2	0,2	0,1	0,23
	12/9/2023	12:00 pm	0,2	0,1	0,1	0,1	0,13
N°	Fecha	Hora medida	MP	M1	M2	M3	Promedio (bar)
	16/9/2023	11:35 am	1,2	1	0,9	0,9	1,00
Evaluación 7 y 8	16/9/2023	12:05 pm	1,2	1,1	1	0,9	1,05
	16/9/2023	12:35 pm	1,2	1	1	0,9	1,03
N°	Fecha	Hora medida	MP	M1	M2	M3	Promedio (bar)
	20/9/2023	6:00 am	1,2	1,1	1	0,9	1,05
Evaluación 9 y 10	20/9/2023	6:30 am	1,2	1,1	1,1	0,9	1,08
	20/9/2023	7:30 am	1,2	0,9	0,9	0,8	0,95
N°	Fecha	Hora medida	MP	M1	M2	M3	Promedio (bar)
	25/9/2023	11:30 am	1,2	1,1	0,9	0,9	1,03
Evaluación 11 y 12	25/9/2023	12:00 pm	1,2	1,1	1	0,9	1,05

Anexo 7. Valores de la incidencia del viento (m/s), a diferentes horarios, durante los días que se determinaron los parámetros de evaluación

Fecha de evaluación	Hora de evaluación	Velocidad del viento
Fecha	(am o pm)	(m/s)
2/9/2023	13:00 a 14:00	1.6
11/9/2023	13:30 a 15:30	0.7
12/9/2023	11:00 a 12:00	1.1
16/9/2023	11:35 a 12:35	1.3
20/9/2023	6:00 a 7:00	0
25/9/2023	11:30 a 12:00	0.8

Anexo 8. Resultados obtenidos del parámetro de Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CU %), para los 3 tratamientos, en sus diferentes evaluaciones

Hora de inicio de la evaluación	Bloque	Tiempo Tratamientos)	Coeficiente de uniformidad	Velocidad de viento
(a.m. o p.m.)	Repeticiones	Horas	(CU%)	(m/s)
13:00 pm	1	1	61	1,6
13:00 pm	2	1	60	1,6
13:30 pm	1	2	70	0,7
13:30 pm	2	2	76	0,7
11:00 am	1	1	64	1,1
11:00 am	2	1	71	1,1
11:35 am	1	1	57	1,3
11:35 am	2	1	72	1,3
6:00 am	1	1	73	1
6:00 am	2	1	77	1
11:30 am	1	0.5	69	0,8
11:30 am	2	0.5	68	0,8

Anexo 9. Valores de las láminas de agua recogidas en los pluviómetros (mm), para la determinación del Coeficiente de Uniformidad (%) y otros parámetros, en una de las evaluaciones del tratamiento 1

Evaluación de la uniformidad					Zusar con:	
N°	Itera llee	n	M	Xi-M	Déficit	Exceso
1	32,27	1	55,27	23,00	1	0
2	28,74	1	55,27	26,53	1	0
3	14,11	1	55,27	41,17	1	0
4	15,45	1	55,27	39,83	1	0
5	59,25	1	55,27	3,98	0	0
6	36,61	1	55,27	18,66	1	0
7	23,42	1	55,27	31,85	1	0
8	21,34	1	55,27	33,94	1	0
9	57,49	1	55,27	2,22	0	0
10	40,56	1	55,27	14,71	1	0
11	30,68	1	55,27	24,59	1	0
12	29,34	1	55,27	25,93	1	0
13	64,01	1	55,27	8,74	0	1
14	53,08	1	55,27	2,19	0	0
15	40,21	1	55,27	15,07	1	0
16	40,56	1	55,27	14,71	1	0
17	73,82	1	55,27	18,55	0	1
18	57,49	1	55,27	2,22	0	0
19	46,91	1	55,27	8,37	1	0
20	47,05	1	55,27	8,22	1	0
21	81,12	1	55,27	25,85	0	1
22	60,49	1	55,27	5,21	0	0
23	64,01	1	55,27	8,74	0	1
24	57,84	1	55,27	2,57	0	0
25	89,69	1	55,27	34,42	0	1
26	66,66	1	55,27	11,39	0	1
27	61,55	1	55,27	6,27	0	1
28	64,54	1	55,27	9,27	0	1
29	100,9	1	55,27	45,60	0	1
30	71,24	1	55,27	15,97	0	1
31	63,52	1	55,27	8,25	0	1
32	69,48	1	55,27	14,21	0	1
33	81,12	1	55,27	25,85	0	1
34	71,95	1	55,27	16,68	0	1
35	65,6	1	55,27	10,33	0	1
36	69,76	1	55,27	14,49	0	1
37	83,77	1	55,27	28,49	0	1
38	65,95	1	55,27	10,68	0	1
39	54,21	1	55,27	1,06	0	0
40	55,16	1	55,27	0,11	0	0

Evaluación de la uniformidad					Zusar con:	
N°	Itera llee	n	M	Xi-M	Déficit	Exceso
1	24,69	1	54,64	29,95	1	0
2	26,28	1	54,64	28,37	1	0
3	29,49	1	54,64	25,16	1	0
4	36,68	1	54,64	17,96	1	0
5	39,33	1	54,64	15,32	1	0
6	41,02	1	54,64	13,63	1	0
7	45,32	1	54,64	9,32	1	0
8	57,84	1	54,64	3,20	0	0
9	45,15	1	54,64	9,50	1	0
10	44,86	1	54,64	9,78	1	0
11	51,14	1	54,64	3,50	0	0
12	74,07	1	54,64	19,42	0	1
13	47,09	1	54,64	7,56	1	0
14	51,78	1	54,64	2,87	0	0
15	56,08	1	54,64	1,43	0	0
16	85,42	1	54,64	30,78	0	1
17	52,9	1	54,64	1,74	0	0
18	55,37	1	54,64	0,73	0	0
19	55,55	1	54,64	0,91	0	0
20	89,59	1	54,64	34,94	0	1
21	45,85	1	54,64	8,79	1	0
22	56,43	1	54,64	1,79	0	0
23	71,42	1	54,64	16,78	0	1
24	120,4	1	54,64	65,80	0	1
25	47,51	1	54,64	7,14	1	0
26	58,12	1	54,64	3,48	0	0
27	71,6	1	54,64	16,95	0	1
28	86,59	1	54,64	31,94	0	1
29	51,49	1	54,64	3,15	0	0
30	58,55	1	54,64	3,90	0	0
31	65,78	1	54,64	11,13	0	1
32	76,54	1	54,64	21,89	0	1
33	46,91	1	54,64	7,74	1	0
34	50,96	1	54,64	3,68	0	0
35	51,56	1	54,64	3,08	0	0
36	55,73	1	54,64	1,08	0	0
37	46,56	1	54,64	8,09	1	0
38	40,21	1	54,64	14,44	1	0
39	37,03	1	54,64	17,61	1	0
40	36,86	1	54,64	17,79	1	0

Suma	2211	40	S (Xi-M)	659,90	14	18
M	55,27	n	Total			
CU 70						
www.cirregante.com						
Separación entre hileras de 0 - 2 m						NO
Separación entre hileras de 2 - 4 m						NO
Separación entre hileras de 4 - 6 m						NO
Separación entre hileras de > 6 m						NO

Datos de la evaluación

Ø Boqui	6	P inicial	31,3	Ea	12
Q medio	0,85	P final	25,8	EI	12
T preeb	1	PN	30		

Resultados

U. Later	Admisible	IG	Media
Pr	5,5	Efa	269

Suma	2186	40	S (Xi-M)	532,33	17	9
M	54,64	n	Total			
CU 76						
www.cirregante.com						
Separación entre hileras de 0 - 2 m						NO
Separación entre hileras de 2 - 4 m						NO
Separación entre hileras de 4 - 6 m						NO
Separación entre hileras de > 6 m						NO

Datos de la evaluación

Ø Boqui	6	P inicial	31,3	Ea	12
Q medio	0,85	P final	25,8	EI	12
T preeb	1	PN	30		

Resultados

U. Later	Admisible	IG	Media
Pr	5,5	Efa	257

Anexo 10. Valores de las láminas de agua recogidas en los pluviómetros (mm), para la determinación del Coeficiente de Uniformidad (%) y otros parámetros, en una de las evaluaciones del tratamiento 2

Evaluación de la uniformidad					Zonas con:	
N°	Altura lluvia	a	M	Xi-M	Déficit	Exceso
1	13,9668382	1	12,13	1,84	0	1
2	14,5311549	1	12,13	2,40	0	1
3	13,4025215	1	12,13	1,28	0	1
4	8,6763692	1	12,13	3,45	1	0
5	16,5768029	1	12,13	4,45	0	1
6	16,7531519	1	12,13	4,63	0	1
7	14,5664247	1	12,13	2,44	0	1
8	9,17014631	1	12,13	2,96	1	0
9	18,9398791	1	12,13	6,81	0	1
10	17,6348967	1	12,13	5,51	0	1
11	14,2842664	1	12,13	2,16	0	1
12	9,09960672	1	12,13	3,03	1	0
13	20,8444479	1	12,13	8,72	0	1
14	17,3527384	1	12,13	5,23	0	1
15	12,6971257	1	12,13	0,57	0	0
16	8,71163899	1	12,13	3,41	1	0
17	22,7490168	1	12,13	10,62	0	1
18	17,8112457	1	12,13	5,68	0	1
19	12,4855069	1	12,13	0,36	0	0
20	8,99379734	1	12,13	3,13	1	0
21	20,9149875	1	12,13	8,79	0	1
22	17,4585478	1	12,13	5,33	0	1
23	12,2033485	1	12,13	0,08	0	0
24	9,41703486	1	12,13	2,71	1	0
25	18,622451	1	12,13	6,50	0	1
26	16,7531519	1	12,13	4,63	0	1
27	12,0269996	1	12,13	0,10	0	0
28	8,6763692	1	12,13	3,45	1	0
29	17,423278	1	12,13	5,30	0	1
30	14,1079174	1	12,13	1,98	0	1
31	10,4398589	1	12,13	1,69	1	0
32	6,13694407	1	12,13	5,99	1	0
33	9,69919321	1	12,13	2,43	1	0
34	8,18259209	1	12,13	3,94	1	0
35	5,99586489	1	12,13	6,13	1	0
36	2,82158348	1	12,13	3,31	1	0
37	2,43361575	1	12,13	3,69	1	0
38	1,44606153	1	12,13	10,68	1	0
39	0,70539587	1	12,13	11,42	1	0
40	0,35269793	1	12,13	11,77	1	0

Evaluación de la uniformidad					Zonas con:	
N°	Itura llue	a	M	Xi-M	Déficit	Excesn
1	21,16	1	28,18	7,02	1	0
2	28	1	28,18	0,18	0	0
3	52,9	1	28,18	24,72	0	1
4	43,21	1	28,18	15,02	0	1
5	20,88	1	28,18	7,30	1	0
6	29,27	1	28,18	1,09	0	0
7	61,65	1	28,18	33,47	0	1
8	46,91	1	28,18	18,72	0	1
9	20,32	1	28,18	7,87	1	0
10	34,32	1	28,18	6,13	0	1
11	53,61	1	28,18	25,43	0	1
12	51,74	1	28,18	23,56	0	1
13	23,81	1	28,18	4,38	1	0
14	34,39	1	28,18	6,20	0	1
15	51,67	1	28,18	23,49	0	1
16	42,32	1	28,18	14,14	0	1
17	21,16	1	28,18	7,02	1	0
18	33,08	1	28,18	4,90	0	1
19	35,62	1	28,18	7,44	0	1
20	32,02	1	28,18	3,84	0	1
21	25,75	1	28,18	2,44	0	0
22	34,6	1	28,18	6,42	0	1
23	33,51	1	28,18	5,32	0	1
24	29,98	1	28,18	1,80	0	0
25	26,81	1	28,18	1,38	0	0
26	32,45	1	28,18	4,26	0	1
27	29,63	1	28,18	1,44	0	0
28	27,86	1	28,18	0,32	0	0
29	24,48	1	28,18	3,71	1	0
30	24,62	1	28,18	3,57	1	0
31	22,93	1	28,18	5,26	1	0
32	21,51	1	28,18	6,67	1	0
33	12,17	1	28,18	16,02	1	0
34	11,96	1	28,18	16,23	1	0
35	11,39	1	28,18	16,79	1	0
36	10,76	1	28,18	17,43	1	0
37	3,174	1	28,18	25,01	1	0
38	2,257	1	28,18	25,93	1	0
39	1,658	1	28,18	26,53	1	0
40	1,834	1	28,18	26,35	1	0

Suma	485,0654698	40	S (Xi-M)	190,59	17	19
M	12,13	n			Total	
CU 61						
www.elregante.com						
Separación entre hileras de 0 - 2 m						NO
Separación entre hileras de 2 - 4 m						NO
Separación entre hileras de 4 - 6 m						NO
Separación entre hileras de > 6 m						NO

Datos de la evaluación

Ø Boqui	6	P inicial	31,3	Ea	12
Q medio	0,85	P final	25,8	EI	12
T prueba:	1	PN	30		

Resultados

U. Later	Admisible	IG	Media
Pr	5,5	Efa	57

Suma	1127	40	S (Xi-M)	454,78	17	16
M	28,18	a			Total	
CU 60						
www.elregante.com						
Separación entre hileras de 0 - 2 m						NO
Separación entre hileras de 2 - 4 m						NO
Separación entre hileras de 4 - 6 m						NO
Separación entre hileras de > 6 m						NO

Datos de la evaluación

Ø Boqui	6	P inicial	31,3	Ea	12
Q medio	0,85	P final	25,8	EI	12
T prueba:	1	PN	30		

Resultados

U. Later	Admisible	IG	Media
Pr	5,5	Efa	133

Evaluación de la uniformidad					Zonas con:	
N°	Itura llev	n	M	Si-M	Déficit	Exceso
1	6,701	1	16,36	3,65	1	0
2	12,17	1	16,36	4,19	1	0
3	5,643	1	16,36	10,71	1	0
4	3,598	1	16,36	12,76	1	0
5	12,7	1	16,36	3,66	1	0
6	15,87	1	16,36	0,48	0	0
7	8,817	1	16,36	7,54	1	0
8	16,22	1	16,36	0,13	0	0
9	16,58	1	16,36	0,22	0	0
10	16,22	1	16,36	0,13	0	0
11	14,99	1	16,36	1,37	0	0
12	7,936	1	16,36	8,42	1	0
13	21,51	1	16,36	5,16	0	1
14	20,56	1	16,36	4,21	0	1
15	16,58	1	16,36	0,22	0	0
16	19,4	1	16,36	3,04	0	1
17	26,1	1	16,36	9,74	0	1
18	21,51	1	16,36	5,16	0	1
19	17,28	1	16,36	0,93	0	0
20	16,22	1	16,36	0,13	0	0
21	23,28	1	16,36	6,92	0	1
22	24,69	1	16,36	8,33	0	1
23	18,69	1	16,36	2,34	0	1
24	10,58	1	16,36	5,77	1	0
25	25,39	1	16,36	9,04	0	1
26	28,57	1	16,36	12,21	0	1
27	19,12	1	16,36	2,76	0	1
28	10,58	1	16,36	5,77	1	0
29	28,22	1	16,36	11,86	0	1
30	35,2	1	16,36	18,84	0	1
31	20,81	1	16,36	4,45	0	1
32	9,488	1	16,36	6,87	1	0
33	19,75	1	16,36	3,40	0	1
34	24,34	1	16,36	7,98	0	1
35	17,11	1	16,36	0,75	0	0
36	12,34	1	16,36	4,01	1	0
37	10,58	1	16,36	5,77	1	0
38	8,994	1	16,36	7,36	1	0
39	5,643	1	16,36	10,71	1	0
40	4,232	1	16,36	12,12	1	0

Suma	654,2	40	S (Xi-M)	235,14	15	16
M	16,36	n	Total			
CU 64						
www.clrsgants.com						
Separación entre hileras de 0 - 2 m						NO
Separación entre hileras de 2 - 4 m						NO
Separación entre hileras de 4 - 6 m						NO
Separación entre hileras de > 6 m						NO

Datos de la evaluación

# Boqui	6	P inicial	31,3	Ea	12
Q medio	0,85	P final	25,8	EI	12
T prueba	1	PN	30		

Resultados

U. Later	Admisible	IG	Media
Pr	5,5	Efa	77

Evaluación de la uniformidad					Zonas con:	
N°	Itura llev	n	M	Si-M	Déficit	Exceso
1	9,17	1	18,02	8,85	1	0
2	12,34	1	18,02	5,68	1	0
3	13,23	1	18,02	4,79	1	0
4	12,34	1	18,02	5,68	1	0
5	11,92	1	18,02	6,10	1	0
6	19,01	1	18,02	0,99	0	0
7	20,46	1	18,02	2,44	0	1
8	16,05	1	18,02	1,97	1	0
9	17,46	1	18,02	0,56	0	0
10	19,08	1	18,02	1,06	0	0
11	18,87	1	18,02	0,85	0	0
12	16,54	1	18,02	1,48	0	0
13	17,56	1	18,02	0,46	0	0
14	22,93	1	18,02	4,91	0	1
15	23,28	1	18,02	5,26	0	1
16	24,16	1	18,02	6,14	0	1
17	19,05	1	18,02	1,03	0	0
18	23,49	1	18,02	5,47	0	1
19	27,51	1	18,02	9,49	0	1
20	25,39	1	18,02	7,37	0	1
21	16,58	1	18,02	1,44	0	0
22	24,69	1	18,02	6,67	0	1
23	26,1	1	18,02	8,08	0	1
24	24,87	1	18,02	6,84	0	1
25	19,82	1	18,02	1,80	0	0
26	22,93	1	18,02	4,91	0	1
27	24,69	1	18,02	6,67	0	1
28	25,04	1	18,02	7,02	0	1
29	15,87	1	18,02	2,15	1	0
30	25,92	1	18,02	7,90	0	1
31	23,63	1	18,02	5,61	0	1
32	23,28	1	18,02	5,26	0	1
33	12,87	1	18,02	5,15	1	0
34	15,17	1	18,02	2,85	1	0
35	14,99	1	18,02	3,03	1	0
36	15,7	1	18,02	2,33	1	0
37	4,232	1	18,02	13,79	1	0
38	4,938	1	18,02	13,08	1	0
39	5,29	1	18,02	12,73	1	0
40	4,373	1	18,02	13,65	1	0

Suma	720,8	40	S (Xi-M)	211,52	15	16
M	18,02	n	Total			
CU 71						
www.clrsgants.com						
Separación entre hileras de 0 - 2 m						NO
Separación entre hileras de 2 - 4 m						NO
Separación entre hileras de 4 - 6 m						NO
Separación entre hileras de > 6 m						NO

Datos de la evaluación

# Boqui	6	P inicial	31,3	Ea	12
Q medio	0,85	P final	25,8	EI	12
T prueba	1	PN	30		

Resultados

U. Later	Admisible	IG	Media
Pr	5,5	Efa	85

Evaluación de la uniformidad					Zonas con:	
N°	Itera Ilce	n	M	Xi-M	Déficit	Exceso
1	1,305	1	19,49	18,18	1	0
2	0,811	1	19,49	18,68	1	0
3	0,882	1	19,49	18,60	1	0
4	0,846	1	19,49	18,64	1	0
5	7,583	1	19,49	11,90	1	0
6	7,407	1	19,49	12,08	1	0
7	6,701	1	19,49	12,79	1	0
8	4,232	1	19,49	15,25	1	0
9	16,22	1	19,49	3,26	1	0
10	12,7	1	19,49	6,79	1	0
11	9,876	1	19,49	9,61	1	0
12	8,465	1	19,49	11,02	1	0
13	19,75	1	19,49	0,26	0	0
14	17,99	1	19,49	1,50	0	0
15	17,28	1	19,49	2,20	1	0
16	14,46	1	19,49	5,03	1	0
17	22,22	1	19,49	2,73	0	1
18	20,46	1	19,49	0,97	0	0
19	19,05	1	19,49	0,44	0	0
20	19,26	1	19,49	0,23	0	0
21	25,04	1	19,49	5,55	0	1
22	25,75	1	19,49	6,26	0	1
23	22,57	1	19,49	3,09	0	1
24	21,16	1	19,49	1,68	0	0
25	27,86	1	19,49	8,38	0	1
26	25,39	1	19,49	5,91	0	1
27	25,04	1	19,49	5,55	0	1
28	25,04	1	19,49	5,55	0	1
29	30,68	1	19,49	11,20	0	1
30	29,98	1	19,49	10,49	0	1
31	28,22	1	19,49	8,73	0	1
32	26,45	1	19,49	6,97	0	1
33	33,15	1	19,49	13,67	0	1
34	30,68	1	19,49	11,20	0	1
35	28,92	1	19,49	9,43	0	1
36	26,98	1	19,49	7,49	0	1
37	34,56	1	19,49	15,08	0	1
38	29,98	1	19,49	10,49	0	1
39	28,39	1	19,49	8,91	0	1
40	26,1	1	19,49	6,61	0	1

Suma	779,5	40	S (Xi-M)	332,42	14	20
M	19,49	n	Total			
CU 57						
www.elregante.com						
Separación entre hileras de 0 - 2 m						NO
Separación entre hileras de 2 - 4 m						NO
Separación entre hileras de 4 - 6 m						NO
Separación entre hileras de > 6 m						NO

Datos de la evaluación

# Boqui	6	P inicial	31,3	Ea	12
Q medio	0,85	P final	25,8	EI	12
T preeb	1	PN	30		

Resultados

U. Later	Admisible	IG	Media
Pr	5,5	Efa	92

Evaluación de la uniformidad					Zonas con:	
N°	Itera Ilce	n	M	Xi-M	Déficit	Exceso
1	27,51	1	30,03	2,52	0	0
2	8,042	1	30,03	21,99	1	0
3	3,562	1	30,03	26,46	1	0
4	3,174	1	30,03	26,85	1	0
5	17,81	1	30,03	12,22	1	0
6	17,63	1	30,03	12,39	1	0
7	16,58	1	30,03	13,45	1	0
8	14,99	1	30,03	15,04	1	0
9	36,33	1	30,03	6,30	0	1
10	23,98	1	30,03	6,04	1	0
11	20,81	1	30,03	9,22	1	0
12	21,51	1	30,03	8,51	1	0
13	27,69	1	30,03	2,34	0	0
14	28,22	1	30,03	1,81	0	0
15	28,15	1	30,03	1,88	0	0
16	28,74	1	30,03	1,28	0	0
17	47,61	1	30,03	17,59	0	1
18	27,51	1	30,03	2,52	0	0
19	27,51	1	30,03	2,52	0	0
20	34,92	1	30,03	4,89	0	1
21	34,74	1	30,03	4,71	0	1
22	48,32	1	30,03	18,29	0	1
23	37,63	1	30,03	7,61	0	1
24	34,56	1	30,03	4,54	0	1
25	31,74	1	30,03	1,72	0	0
26	40,91	1	30,03	10,89	0	1
27	40,21	1	30,03	10,18	0	1
28	35,27	1	30,03	5,24	0	1
29	29,98	1	30,03	0,05	0	0
30	38,09	1	30,03	8,06	0	1
31	41,62	1	30,03	11,59	0	1
32	42,32	1	30,03	12,30	0	1
33	35,45	1	30,03	5,42	0	1
34	38,8	1	30,03	8,77	0	1
35	36,33	1	30,03	6,30	0	1
36	35,98	1	30,03	5,95	0	1
37	34,92	1	30,03	4,89	0	1
38	34,56	1	30,03	4,54	0	1
39	33,51	1	30,03	3,48	0	1
40	33,86	1	30,03	3,83	0	1

Suma	1201	40	S (Xi-M)	334,17	10	21
M	30,03	n	Total			
CU 72						
www.elregante.com						
Separación entre hileras de 0 - 2 m						NO
Separación entre hileras de 2 - 4 m						NO
Separación entre hileras de 4 - 6 m						NO
Separación entre hileras de > 6 m						NO

Datos de la evaluación

# Boqui	6	P inicial	31,3	Ea	12
Q medio	0,85	P final	25,8	EI	12
T preeb	1	PN	30		

Resultados

U. Later	Admisible	IG	Media
Pr	5,5	Efa	141

Evaluación de la uniformidad					Zonas con:	
N°	Itara Ilev	n	M	Si-M	Déficit	Excesos
1	11,99	1	34,38	22,38	1	0
2	20,53	1	34,38	13,85	1	0
3	15,62	1	34,38	18,75	1	0
4	8,923	1	34,38	25,45	1	0
5	33,51	1	34,38	0,87	0	0
6	19,12	1	34,38	15,26	1	0
7	18,06	1	34,38	16,32	1	0
8	34,99	1	34,38	0,61	0	0
9	51,67	1	34,38	17,29	0	1
10	38,37	1	34,38	4,00	0	1
11	28,92	1	34,38	5,46	1	0
12	53,43	1	34,38	19,06	0	1
13	33,54	1	34,38	0,84	0	0
14	29,45	1	34,38	4,93	1	0
15	26,81	1	34,38	7,57	1	0
16	38,8	1	34,38	4,42	0	1
17	44,51	1	34,38	10,13	0	1
18	28,57	1	34,38	5,81	1	0
19	23,1	1	34,38	11,27	1	0
20	43,73	1	34,38	9,36	0	1
21	48,25	1	34,38	13,87	0	1
22	38,16	1	34,38	3,79	0	1
23	29,34	1	34,38	5,03	1	0
24	37,21	1	34,38	2,83	0	0
25	57,07	1	34,38	22,69	0	1
26	46,2	1	34,38	11,83	0	1
27	32,45	1	34,38	1,93	0	0
28	35,02	1	34,38	0,65	0	0
29	46,84	1	34,38	12,46	0	1
30	45,18	1	34,38	10,80	0	1
31	34,21	1	34,38	0,16	0	0
32	31,21	1	34,38	3,16	0	0
33	37,35	1	34,38	2,97	0	0
34	37,28	1	34,38	2,90	0	0
35	32,27	1	34,38	2,10	0	0
36	54,32	1	34,38	19,94	0	1
37	44,51	1	34,38	10,13	0	1
38	24,44	1	34,38	9,93	1	0
39	22,22	1	34,38	12,16	1	0
40	37,88	1	34,38	3,50	0	1

Evaluación de la uniformidad					Zonas con:	
N°	Itara Ilev	n	M	Si-M	Déficit	Excesos
1	15,87	1	36,37	20,50	1	0
2	9,876	1	36,37	26,50	1	0
3	16,93	1	36,37	19,44	1	0
4	25,39	1	36,37	10,98	1	0
5	33,37	1	36,37	3,01	0	0
6	37,92	1	36,37	1,54	0	0
7	33,33	1	36,37	3,04	0	0
8	38,97	1	36,37	2,60	0	0
9	37,74	1	36,37	1,37	0	0
10	37,03	1	36,37	0,66	0	0
11	35,45	1	36,37	0,93	0	0
12	39,85	1	36,37	3,48	0	0
13	50,44	1	36,37	14,06	0	1
14	40,03	1	36,37	3,66	0	1
15	52,2	1	36,37	15,83	0	1
16	37,03	1	36,37	0,66	0	0
17	48,67	1	36,37	12,30	0	1
18	40,56	1	36,37	4,19	0	1
19	44,44	1	36,37	8,07	0	1
20	19,75	1	36,37	16,62	1	0
21	53,61	1	36,37	17,24	0	1
22	37,92	1	36,37	1,54	0	0
23	37,74	1	36,37	1,37	0	0
24	40,56	1	36,37	4,19	0	1
25	49,38	1	36,37	13,01	0	1
26	33,68	1	36,37	2,69	0	0
27	32,45	1	36,37	3,92	1	0
28	36,89	1	36,37	0,52	0	0
29	55,76	1	36,37	19,39	0	1
30	36,61	1	36,37	0,24	0	0
31	37,81	1	36,37	1,44	0	0
32	44,09	1	36,37	7,72	0	1
33	56,43	1	36,37	20,06	0	1
34	34,56	1	36,37	1,81	0	0
35	38,09	1	36,37	1,72	0	0
36	45,5	1	36,37	9,13	0	1
37	30,37	1	36,37	6,00	1	0
38	21,44	1	36,37	14,93	1	0
39	22,22	1	36,37	14,15	1	0
40	14,92	1	36,37	21,45	1	0

Suma	1375	40	S (Xi-M)	366,49	14	15
M	34,38	n	Total			
CU 73						
www.slrsgante.com						
Separación entre hileras de 0 - 2 m						NO
Separación entre hileras de 2 - 4 m						NO
Separación entre hileras de 4 - 6 m						NO
Separación entre hileras de > 6 m						NO

Datos de la evaluación

# Boqui	6	P inicial	31,3	Ea	12
Q medio	0,85	P final	25,8	EI	12
T precb	1	PM	30		

Resultados

U. Later	Admisible	IG	Media
Pr	5,5	Efa	162

Suma	1455	40	S (Xi-M)	331,94	10	13
M	36,37	n	Total			
CU 77						
www.slrsgante.com						
Separación entre hileras de 0 - 2 m						NO
Separación entre hileras de 2 - 4 m						NO
Separación entre hileras de 4 - 6 m						NO
Separación entre hileras de > 6 m						NO

Datos de la evaluación

# Boqui	6	P inicial	31,3	Ea	12
Q medio	0,85	P final	25,8	EI	12
T precb	1	PM	30		

Resultados

U. Later	Admisible	IG	Media
Pr	5,5	Efa	171

Anexo 11. Valores de las láminas de agua recogidas en los pluviómetros (mm), para la determinación del Coeficiente de Uniformidad (%) y otros parámetros, en una de las evaluaciones del tratamiento 3

Evaluación de la uniformidad					Zonas con:	
N°	Itura llov	a	M	Xi-M	Déficit	Exceso
1	14,46	1	15,11	0,65	0	0
2	12,34	1	15,11	2,76	1	0
3	10,58	1	15,11	4,53	1	0
4	10,55	1	15,11	4,56	1	0
5	21,23	1	15,11	6,12	0	1
6	14,28	1	15,11	0,82	0	0
7	11,29	1	15,11	3,82	1	0
8	11,64	1	15,11	3,47	1	0
9	22,33	1	15,11	7,22	0	1
10	18,45	1	15,11	3,34	0	1
11	14,74	1	15,11	0,37	0	0
12	12,06	1	15,11	3,05	1	0
13	25,39	1	15,11	10,29	0	1
14	21,69	1	15,11	6,58	0	1
15	14,64	1	15,11	0,47	0	0
16	12,34	1	15,11	2,76	1	0
17	23,28	1	15,11	8,17	0	1
18	22,33	1	15,11	7,22	0	1
19	19,4	1	15,11	4,29	0	1
20	13,76	1	15,11	1,35	0	0
21	22,04	1	15,11	6,93	0	1
22	21,09	1	15,11	5,98	0	1
23	19,75	1	15,11	4,64	0	1
24	15,87	1	15,11	0,76	0	0
25	21,16	1	15,11	6,05	0	1
26	20,14	1	15,11	5,03	0	1
27	18,27	1	15,11	3,16	0	1
28	15,7	1	15,11	0,59	0	0
29	16,93	1	15,11	1,82	0	1
30	16,51	1	15,11	1,40	0	0
31	16,54	1	15,11	1,43	0	0
32	13,4	1	15,11	1,71	1	0
33	10,93	1	15,11	4,18	1	0
34	10,58	1	15,11	4,53	1	0
35	10,4	1	15,11	4,70	1	0
36	8,994	1	15,11	6,11	1	0
37	4,409	1	15,11	10,70	1	0
38	4,55	1	15,11	10,56	1	0
39	4,867	1	15,11	10,24	1	0
40	4,232	1	15,11	10,88	1	0

Suma	604,3	40	\$ (Xi-M)	184,45	16	15
M	15,11	a	Total			
CU 69						
www.elregante.com						
Separación entre hileras de 0 - 2 m						NO
Separación entre hileras de 2 - 4 m						NO
Separación entre hileras de 4 - 6 m						NO
Separación entre hileras de > 6 m						NO

Datos de la evaluación

# Boqui	6	P inicial	31,3	Ea	12
Q medio	0,85	P final	25,8	EI	12
T preeb	1	PN	30		

Resultados

U. Later	Admisible	IG	Media
Pr	5,5	Efa	71

Evaluación de la uniformidad					Zonas con:	
N°	Itura llov	a	M	Xi-M	Déficit	Exceso
1	23,28	1	21,97	1,31	0	0
2	36,93	1	21,97	14,96	0	1
3	33,51	1	21,97	11,54	0	1
4	22,93	1	21,97	0,95	0	0
5	28,39	1	21,97	6,42	0	1
6	23,56	1	21,97	1,59	0	0
7	25,04	1	21,97	3,07	0	1
8	26,45	1	21,97	4,48	0	1
9	25,39	1	21,97	3,42	0	1
10	20,1	1	21,97	1,87	0	0
11	25,92	1	21,97	3,95	0	1
12	29,98	1	21,97	8,01	0	1
13	18,16	1	21,97	3,81	1	0
14	22,93	1	21,97	0,95	0	0
15	29,34	1	21,97	7,37	0	1
16	34,56	1	21,97	12,59	0	1
17	23,81	1	21,97	1,84	0	0
18	26,45	1	21,97	4,48	0	1
19	29,8	1	21,97	7,83	0	1
20	33,51	1	21,97	11,54	0	1
21	39,29	1	21,97	17,32	0	1
22	26,1	1	21,97	4,13	0	1
23	27,33	1	21,97	5,36	0	1
24	28,04	1	21,97	6,07	0	1
25	21,59	1	21,97	0,39	0	0
26	22,29	1	21,97	0,32	0	0
27	23,28	1	21,97	1,31	0	0
28	23,28	1	21,97	1,31	0	0
29	18,06	1	21,97	3,91	1	0
30	18,41	1	21,97	3,56	1	0
31	17,63	1	21,97	4,34	1	0
32	15,87	1	21,97	6,10	1	0
33	10,23	1	21,97	11,74	1	0
34	10,58	1	21,97	11,39	1	0
35	10,58	1	21,97	11,39	1	0
36	9,523	1	21,97	12,45	1	0
37	4,938	1	21,97	17,03	1	0
38	4,232	1	21,97	17,74	1	0
39	3,88	1	21,97	18,09	1	0
40	3,633	1	21,97	18,34	1	0

Suma	878,8	40	\$ (Xi-M)	284,27	13	17
M	21,97	a	Total			
CU 68						
www.elregante.com						
Separación entre hileras de 0 - 2 m						NO
Separación entre hileras de 2 - 4 m						NO
Separación entre hileras de 4 - 6 m						NO
Separación entre hileras de > 6 m						NO

Datos de la evaluación

# Boqui	6	P inicial	31,3	Ea	12
Q medio	0,85	P final	25,8	EI	12
T preeb	1	PN	30		

Resultados

U. Later	Admisible	IG	Media
Pr	5,5	Efa	103

Anexo 12. Láminas de agua recogidas en los pluviómetros (mm) de 1 m x 1 m, en la evaluación de cintas de aspersión al aire libre

S	BLOQUE				W	S	BLOQUE				W
S	●	●	●	●	W	S	340	582	443	253	W
	●	●	●	●			950	542	512	992	
	●	●	●	●			1465	1088	820	1515	
	●	●	●	●			951	835	760	1100	
	●	●	●	●			1262	810	655	1240	
	●	●	●	●			1368	1082	832	1055	
	●	●	●	●			1618	1310	920	993	
	●	●	●	●			1328	1281	970	885	
	●	●	●	●			1059	1057	915	1540	
	●	●	●	●			1262	693	630	1074	
E					E					N	

Anexo 13. Resultados obtenidos del parámetro de Eficiencia de aplicación (Ea %), para los 3 tratamientos, en sus diferentes evaluaciones, calculados mediante la Lamina promedio del CI (Cuarto inferior) sobre lamina promedio aplicada *100

Tiempo	Eficiencia de aplicación	Velocidad de viento
Horas	(Ea%)	(m/s)
1	37	1,6
1	34	1,6
2	49	0,7
2	65	0,7
1	44	1,1
1	50	1,1
1	25	1,3
1	49	1,3
1	56	0,0
1	58	0,0
0,5	53	0,8
0,5	41	0,8

Anexo 14. Valores de las láminas de agua recogidas en los pluviómetros (mm), para la determinación del Eficiencia de aplicación (%) y perdidas por evaporación, en una de las evaluaciones del tratamiento 1 (2h)

Cálculo de Eficiencia de aplicación %	Lámina aplicada	Lámina de agua en el CI	Calculo de Eficiencia de aplicación %	Lamina aplicada	Lamina de agua en el CI
N°	Sin ordenar (X)	Ordenados (X)	N°	Sin ordenar (X)	Ordenados (X)
2	32,272	100,872	2	24,68885544	120,4463447
3	28,745	89,691	3	26,27599614	89,58527545
4	14,108	83,766	4	29,48554735	86,587343
5	15,448	81,121	5	36,68058522	85,42343982
6	59,253	81,121	6	39,32581973	76,53545186
7	36,610	73,820	7	41,01876982	74,06656631
8	23,419	71,950	8	45,32168463	71,59768077
9	21,338	71,245	9	57,84246131	71,4213318
10	57,490	69,764	10	45,14533566	65,77816485
11	40,560	69,481	11	44,86317731	58,54785718
12	30,685	66,660	12	51,14120055	58,12461966
13	29,344	65,955	13	74,06656631	57,84246131
14	64,015	65,602	14	47,0851743	56,43166957
15	53,081	64,544	15	51,77605683	56,07897164
16	40,208	64,015	16	56,07897164	55,7262737
17	40,560	64,015	17	85,42343982	55,54992474
18	73,820	63,521	18	52,90469022	55,37357577
1	57,490	61,546	1	55,37357577	52,90469022
19	46,909	60,488	19	55,54992474	51,77605683
20	47,050	59,253	20	89,58527545	51,56443807
21	81,121	57,842	21	45,85073153	51,49389849
22	60,488	57,490	22	56,43166957	51,14120055
23	64,015	57,490	23	71,4213318	50,96485158
24	57,842	55,162	24	120,4463447	47,50841182
25	89,691	54,210	25	47,50841182	47,0851743
26	66,660	53,081	26	58,12461966	46,90882533
27	61,546	47,050	27	71,59768077	46,5561274
28	64,544	46,909	28	86,587343	45,85073153
29	100,872	40,560	29	51,49389849	45,32168463
30	71,245	40,560	30	58,54785718	45,14533566
31	63,521	40,208	31	65,77816485	44,86317731
32	69,481	36,610	32	76,53545186	41,01876982
33	81,121	32,272	33	46,90882533	40,20756457
34	71,950	30,685	34	50,96485158	39,32581973
35	65,602	29,344	35	51,56443807	37,03328316
36	69,764	28,745	36	55,7262737	36,85693419
37	83,766	23,419	37	46,5561274	36,68058522
38	65,955	21,338	38	40,20756457	29,48554735
39	54,210	15,448	39	37,03328316	26,27599614
40	55,162	14,108	40	36,85693419	24,68885544
Promedio	55,27		Promedio	54,64	
Promedio CI	27,22		Promedio CI	35,64	
N°	40		N°	40	
CI	10		CI	10	
Ea (%)	49		Ea (%)	65	

Anexo 15. Valores de las láminas de agua recogidas en los pluviómetros (mm), para la determinación del Eficiencia de aplicación (%) y perdidas por evaporación, en una de las evaluaciones del tratamiento 2 (1h)

Calculo de Eficiencia de aplicación %	Lamina aplicada	Lamina de agua en elCI	Calculo de Eficiencia de aplicación %	Lamina aplicada	Lamina de agua en elCI
N°	Sin ordenar (X)	Ordenados (X)	N°	Sin ordenar (X)	Ordenados (X)
2	13,97	22,75	2	21,162	61,652
3	14,53	20,91	3	28,004	53,610
4	13,40	20,84	4	52,905	52,905
5	8,68	18,94	5	43,205	51,741
6	16,58	18,62	6	20,880	51,670
7	16,75	17,81	7	29,274	46,909
8	14,57	17,63	8	61,652	43,205
9	9,17	17,46	9	46,909	42,324
10	18,94	17,42	10	20,315	35,622
11	17,63	17,35	11	34,318	34,600
12	14,28	16,75	12	53,610	34,388
13	9,10	16,75	13	51,741	34,318
14	20,84	16,58	14	23,807	33,506
15	17,35	14,57	15	34,388	33,083
16	12,70	14,53	16	51,670	32,448
17	8,71	14,28	17	42,324	32,025
18	22,75	14,11	18	21,162	29,979
1	17,81	13,97	1	33,083	29,627
19	12,49	13,40	19	35,622	29,274
20	8,99	12,70	20	32,025	28,004
21	20,91	12,49	21	25,747	27,863
22	17,46	12,20	22	34,600	26,805
23	12,20	12,03	23	33,506	25,747
24	9,42	10,44	24	29,979	24,618
25	18,62	9,70	25	26,805	24,477
26	16,75	9,42	26	32,448	23,807
27	12,03	9,17	27	29,627	22,925
28	8,68	9,10	28	27,863	21,515
29	17,42	8,99	29	24,477	21,162
30	14,11	8,71	30	24,618	21,162
31	10,44	8,68	31	22,925	20,880
32	6,14	8,68	32	21,515	20,315
33	9,70	8,18	33	12,168	12,168
34	8,18	6,14	34	11,956	11,956
35	6,00	6,00	35	11,392	11,392
36	2,82	2,82	36	10,757	10,757
37	2,43	2,43	37	3,174	3,174
38	1,45	1,45	38	2,257	2,257
39	0,71	0,71	39	1,658	1,834
40	0,35	0,35	40	1,834	1,658
Promedio	12,13		Promedio	28,18	
Promedio CI	4,54		Promedio CI	9,64	
N°	40		N°	40	
CI	10		CI	10	
Ea (%)	37		Ea (%)	34	

Calculo de Eficiencia de aplicación %	Lamina aplicada	Lamina de agua en el CI	Calculo de Eficiencia de aplicación %	Lamina aplicada	Lamina de agua en el CI
N°	Sin ordenar (X)	Ordenados (X)	N°	Sin ordenar (X)	Ordenados (X)
2	6,701	35,199	2	9,170	27,510
3	12,168	28,569	3	12,344	26,100
4	5,643	28,216	4	13,226	25,923
5	3,598	26,100	5	12,344	25,394
6	12,697	25,394	6	11,921	25,042
7	15,871	24,689	7	19,010	24,865
8	8,817	24,336	8	20,456	24,689
9	16,224	23,278	9	16,048	24,689
10	16,577	21,515	10	17,459	24,160
11	16,224	21,515	11	19,081	23,631
12	14,990	20,809	12	18,869	23,490
13	7,936	20,562	13	16,542	23,278
14	21,515	19,751	14	17,564	23,278
15	20,562	19,398	15	22,925	22,925
16	16,577	19,116	16	23,278	22,925
17	19,398	18,693	17	24,160	20,456
18	26,100	17,282	18	19,046	19,822
1	21,515	17,106	1	23,490	19,081
19	17,282	16,577	19	27,510	19,046
20	16,224	16,577	20	25,394	19,010
21	23,278	16,224	21	16,577	18,869
22	24,689	16,224	22	24,689	17,564
23	18,693	16,224	23	26,100	17,459
24	10,581	15,871	24	24,865	16,577
25	25,394	14,990	25	19,822	16,542
26	28,569	12,697	26	22,925	16,048
27	19,116	12,344	27	24,689	15,871
28	10,581	12,168	28	25,042	15,695
29	28,216	10,581	29	15,871	15,166
30	35,199	10,581	30	25,923	14,990
31	20,809	10,581	31	23,631	13,226
32	9,488	9,488	32	23,278	12,873
33	19,751	8,994	33	12,873	12,344
34	24,336	8,817	34	15,166	12,344
35	17,106	7,936	35	14,990	11,921
36	12,344	6,701	36	15,695	9,170
37	10,581	5,643	37	4,232	5,290
38	8,994	5,643	38	4,938	4,938
39	5,643	4,232	39	5,290	4,373
40	4,232	3,598	40	4,373	4,232
Promedio	16,36		Promedio	18,02	
Promedio CI	7,16		Promedio CI	9,07	
N°	40		N°	40	
CI	10		CI	10	
Ea (%)	44		Ea (%)	50	

Calculo de Eficiencia de aplicación %	Lamina aplicada	Lamina de agua en el CI
N°	Sin ordenar (X)	Ordenados (X)
2	1,305	34,564
3	0,811	33,154
4	0,882	30,685
5	0,846	30,685
6	7,583	29,979
7	7,407	29,979
8	6,701	28,921
9	4,232	28,392
10	16,224	28,216
11	12,697	27,863
12	9,876	26,981
13	8,465	26,452
14	19,751	26,100
15	17,988	25,747
16	17,282	25,394
17	14,461	25,042
18	22,220	25,042
1	20,456	25,042
19	19,046	22,573
20	19,257	22,220
21	25,042	21,162
22	25,747	20,456
23	22,573	19,751
24	21,162	19,257
25	27,863	19,046
26	25,394	17,988
27	25,042	17,282
28	25,042	16,224
29	30,685	14,461
30	29,979	12,697
31	28,216	9,876
32	26,452	8,465
33	33,154	7,583
34	30,685	7,407
35	28,921	6,701
36	26,981	4,232
37	34,564	1,305
38	29,979	0,882
39	28,392	0,846
40	26,100	0,811
Promedio	19,49	
Promedio CI	4,81	
N°	40	
CI	10	
Ea (%)	25	

Calculo de Eficiencia de aplicación %	Lamina aplicada	Lamina de agua en el CI
N°	Sin ordenar (X)	Ordenados (X)
2	27,510	48,320
3	8,042	47,614
4	3,562	42,324
5	3,174	41,618
6	17,811	40,913
7	17,635	40,208
8	16,577	38,797
9	14,990	38,091
10	36,328	37,633
11	23,983	36,328
12	20,809	36,328
13	21,515	35,975
14	27,687	35,446
15	28,216	35,270
16	28,145	34,917
17	28,745	34,917
18	47,614	34,741
1	27,510	34,564
19	27,510	34,564
20	34,917	33,859
21	34,741	33,506
22	48,320	31,743
23	37,633	29,979
24	34,564	28,745
25	31,743	28,216
26	40,913	28,145
27	40,208	27,687
28	35,270	27,510
29	29,979	27,510
30	38,091	27,510
31	41,618	23,983
32	42,324	21,515
33	35,446	20,809
34	38,797	17,811
35	36,328	17,635
36	35,975	16,577
37	34,917	14,990
38	34,564	8,042
39	33,506	3,562
40	33,859	3,174
Promedio	30,03	
Promedio CI	14,81	
N°	40	
CI	10	
Ea (%)	49	

Calculo de Eficiencia de aplicación %	Lamina aplicada	Lamina de agua en el CI	Calculo de Eficiencia de aplicación %	Lamina aplicada	Lamina de agua en el CI
N°	Sin ordenar (X)	Ordenados (X)	N°	Sin ordenar (X)	Ordenados (X)
2	11,992	57,067	2	15,871	56,432
3	20,527	54,315	3	9,876	55,762
4	15,625	53,434	4	16,930	53,610
5	8,923	51,670	5	25,394	52,199
6	33,506	48,249	6	33,365	50,436
7	19,116	46,838	7	37,915	49,378
8	18,058	46,203	8	33,330	48,672
9	34,988	45,181	9	38,973	45,498
10	51,670	44,510	10	37,739	44,440
11	38,374	44,510	11	37,033	44,087
12	28,921	43,735	12	35,446	40,560
13	53,434	38,797	13	39,855	40,560
14	33,542	38,374	14	50,436	40,031
15	29,450	38,162	15	40,031	39,855
16	26,805	37,880	16	52,199	38,973
17	38,797	37,351	17	37,033	38,091
18	44,510	37,280	18	48,672	37,915
1	28,569	37,210	1	40,560	37,915
19	23,102	35,023	19	44,440	37,809
20	43,735	34,988	20	19,751	37,739
21	48,249	34,212	21	53,610	37,739
22	38,162	33,542	22	37,915	37,033
23	29,344	33,506	23	37,739	37,033
24	37,210	32,448	24	40,560	36,892
25	57,067	32,272	25	49,378	36,610
26	46,203	31,214	26	33,683	35,446
27	32,448	29,450	27	32,448	34,564
28	35,023	29,344	28	36,892	33,683
29	46,838	28,921	29	55,762	33,365
30	45,181	28,569	30	36,610	33,330
31	34,212	26,805	31	37,809	32,448
32	31,214	24,442	32	44,087	30,367
33	37,351	23,102	33	56,432	25,394
34	37,280	22,220	34	34,564	22,220
35	32,272	20,527	35	38,091	21,444
36	54,315	19,116	36	45,498	19,751
37	44,510	18,058	37	30,367	16,930
38	24,442	15,625	38	21,444	15,871
39	22,220	11,992	39	22,220	14,919
40	37,880	8,923	40	14,919	9,876
Promedio	34,38		Promedio	36,37	
Promedio CI	19,08		Promedio CI	20,92	
N°	40		N°	40	
CI	10		CI	10	
Ea (%)	56		Ea (%)	58	

Anexo 16. Valores de las láminas de agua recogidas en los pluviómetros (mm), para la determinación del Eficiencia de aplicación (%) y perdidas por evaporación, en una de las evaluaciones del tratamiento 3 (0.5h)

Calculo de Eficiencia de aplicación %			Calculo de Eficiencia de aplicación %		
N°	Lamina aplicada Sin ordenar (X)	Lamina de agua en el CI Ordenados (X)	N°	Lamina aplicada Sin ordenar (X)	Lamina de agua en el CI Ordenados (X)
2	14,461	25,394	2	23,278	39,291
3	12,344	23,278	3	36,927	36,927
4	10,581	22,925	4	33,506	34,564
5	10,546	22,925	5	22,925	33,506
6	21,232	22,044	6	28,392	33,506
7	14,284	21,691	7	23,560	29,979
8	11,286	21,232	8	25,042	29,803
9	11,639	21,162	9	26,452	29,344
10	22,925	21,091	10	25,394	28,392
11	18,446	20,139	11	20,104	28,039
12	14,743	19,751	12	25,923	27,334
13	12,062	19,398	13	29,979	26,452
14	25,394	18,446	14	18,164	26,452
15	21,691	18,270	15	22,925	26,100
16	14,637	16,930	16	29,344	25,923
17	12,344	16,542	17	34,564	25,394
18	23,278	16,506	18	23,807	25,042
1	22,925	15,871	1	26,452	23,807
19	19,398	15,695	19	29,803	23,560
20	13,755	14,743	20	33,506	23,278
21	22,044	14,637	21	39,291	23,278
22	21,091	14,461	22	26,100	23,278
23	19,751	14,284	23	27,334	22,925
24	15,871	13,755	24	28,039	22,925
25	21,162	13,403	25	21,585	22,291
26	20,139	12,344	26	22,291	21,585
27	18,270	12,344	27	23,278	20,104
28	15,695	12,062	28	23,278	18,411
29	16,930	11,639	29	18,058	18,164
30	16,506	11,286	30	18,411	18,058
31	16,542	10,934	31	17,635	17,635
32	13,403	10,581	32	15,871	15,871
33	10,934	10,581	33	10,228	10,581
34	10,581	10,546	34	10,581	10,581
35	10,405	10,405	35	10,581	10,228
36	8,994	8,994	36	9,523	9,523
37	4,409	4,867	37	4,938	4,938
38	4,550	4,550	38	4,232	4,232
39	4,867	4,409	39	3,880	3,880
40	4,232	4,232	40	3,633	3,633
Promedio	15,11		Promedio	21,97	
Promedio CI	8,01		Promedio CI	9,11	
N°	40		N°	40	
CI	10		CI	10	
Ea (%)	53		Ea (%)	41	

Anexo 17. Valores de respaldo para las láminas de agua recogidas en los pluviómetros (mm), para la determinación del Coeficiente de Uniformidad (%) a una presión inferior de 0,5 bar en un tiempo de 0,5 h

Evaluación de la uniformidad						Zonas con:	
N°	Altura lluvia	n	M	Xi-M	Déficit	Exceso	
1	12,8734746	1	10,42	2,46	0	1	
2	10,4045831	1	10,42	0,01	0	0	
3	16,3295009	1	10,42	6,51	0	1	
4	10,580938	1	10,42	0,17	0	0	
5	13,4025215	1	10,42	2,99	0	1	
6	10,580938	1	10,42	0,17	0	0	
7	17,5996269	1	10,42	7,18	0	1	
8	10,580938	1	10,42	0,17	0	0	
9	13,7552195	1	10,42	3,34	0	1	
10	10,0518911	1	10,42	0,36	0	0	
11	13,5788705	1	10,42	3,16	0	1	
12	10,6162078	1	10,42	0,20	0	0	
13	9,17014631	1	10,42	1,25	1	0	
14	7,75935457	1	10,42	2,66	1	0	
15	15,3423602	1	10,42	4,93	0	1	
16	10,2282401	1	10,42	0,19	0	0	
17	13,7552195	1	10,42	3,34	0	1	
18	7,40665663	1	10,42	3,01	1	0	
19	13,3319819	1	10,42	2,92	0	1	
20	9,17014631	1	10,42	1,25	1	0	
21	10,580938	1	10,42	0,17	0	0	
22	11,2863339	1	10,42	0,87	0	0	
23	18,3402926	1	10,42	7,93	0	1	
24	8,99379734	1	10,42	1,42	1	0	
25	11,3568735	1	10,42	0,94	0	0	
26	9,87554218	1	10,42	0,54	0	0	
27	16,3295009	1	10,42	6,51	0	1	
28	9,24068589	1	10,42	1,17	1	0	
29	9,52284424	1	10,42	0,89	0	0	
30	9,17014631	1	10,42	1,25	1	0	
31	13,4025215	1	10,42	2,99	0	1	
32	3,69919321	1	10,42	0,72	0	0	
33	4,58507315	1	10,42	5,83	1	0	
34	5,29046902	1	10,42	5,12	1	0	
35	6,70126076	1	10,42	3,71	1	0	
36	5,64316696	1	10,42	4,77	1	0	
37	4,40872419	1	10,42	6,01	1	0	
38	4,93771109	1	10,42	5,48	1	0	
39	5,29046902	1	10,42	5,12	1	0	
40	4,23237522	1	10,42	6,18	1	0	

Evaluación de la uniformidad						Zonas con:	
N°	Altura lluvia	n	M	Xi-M	Déficit	Exceso	
1	15,7303279	1	12,01	3,72	0	1	
2	11,2863339	1	12,01	0,72	0	0	
3	11,4979527	1	12,01	0,51	0	0	
4	10,933636	1	12,01	1,07	0	0	
5	15,0954716	1	12,01	3,09	0	1	
6	15,5187091	1	12,01	3,51	0	1	
7	13,0498236	1	12,01	1,04	0	0	
8	10,580938	1	12,01	1,43	1	0	
9	11,9917298	1	12,01	0,02	0	0	
10	14,4606153	1	12,01	2,45	0	1	
11	22,2199699	1	12,01	10,21	0	1	
12	10,580938	1	12,01	1,43	1	0	
13	10,757287	1	12,01	1,25	1	0	
14	17,3527384	1	12,01	5,34	0	1	
15	20,9855271	1	12,01	8,98	0	1	
16	10,757287	1	12,01	1,25	1	0	
17	11,2863339	1	12,01	0,72	0	0	
18	14,8133133	1	12,01	2,80	0	1	
19	18,6929905	1	12,01	6,68	0	1	
20	10,5456683	1	12,01	1,46	1	0	
21	10,6514776	1	12,01	1,36	1	0	
22	17,2821988	1	12,01	5,27	0	1	
23	14,1079174	1	12,01	2,10	0	1	
24	10,580938	1	12,01	1,43	1	0	
25	11,9211902	1	12,01	0,09	0	0	
26	11,9917298	1	12,01	0,02	0	0	
27	10,580938	1	12,01	1,43	1	0	
28	9,87554218	1	12,01	2,13	1	0	
29	7,75935457	1	12,01	4,25	1	0	
30	14,0373778	1	12,01	2,03	0	1	
31	8,81744837	1	12,01	3,19	1	0	
32	9,17014631	1	12,01	2,84	1	0	
33	9,17014631	1	12,01	2,84	1	0	
34	10,580938	1	12,01	1,43	1	0	
35	7,75935457	1	12,01	4,25	1	0	
36	8,81744837	1	12,01	3,19	1	0	
37	8,28840147	1	12,01	3,72	1	0	
38	7,0539587	1	12,01	4,95	1	0	
39	6,87760973	1	12,01	5,13	1	0	
40	6,87760973	1	12,01	5,13	1	0	

Suma	416,606801	40	S (Xi-M)	113,87	15	12
M	10,42	n	Total			
CU 73						
www.sirsgante.com						
Separación entre hileras de 0 - 2 m						NO
Separación entre hileras de 2 - 4 m						NO
Separación entre hileras de 4 - 6 m						NO
Separación entre hileras de > 6 m						NO

Datos de la evaluación

# Boqui	6	P inicial	31,3	Ea	12
Q medio	0,85	P final	25,8	EI	12
T precb:	1	PN	30		

Resultados

U. Later	Admisible	IG	Media
Pr	5,5	Efa	49

Suma	480,339317	40	S (Xi-M)	114,47	20	12
M	12,01	n	Total			
CU 76						
www.sirsgante.com						
Separación entre hileras de 0 - 2 m						NO
Separación entre hileras de 2 - 4 m						NO
Separación entre hileras de 4 - 6 m						NO
Separación entre hileras de > 6 m						NO

Datos de la evaluación

# Boqui	6	P inicial	31,3	Ea	12
Q medio	0,85	P final	25,8	EI	12
T precb:	1	PN	30		

Resultados

U. Later	Admisible	IG	Media
Pr	5,5	Efa	57

Anexo 18. Valores de respaldo de las láminas de agua recogidas en los pluviómetros (mm), para la determinación del Eficiencia de aplicación (%) a una presión inferior de 0,5 bar en un tiempo de 0,5 h

Calculo de Eficiencia de aplicación %			Calculo de Eficiencia de aplicación %		
N°	Lamina aplicada	Lamina de agua en elCI	N°	Lamina aplicada	Lamina de agua en elCI
	Sin ordenar (X)	Ordenados (X)		Sin ordenar (X)	Ordenados (X)
2	12,87	18,34	2	15,73	22,22
3	10,40	17,60	3	11,29	20,99
4	16,93	16,93	4	11,50	18,69
5	10,58	16,93	5	10,93	17,35
6	13,40	15,34	6	15,10	17,28
7	10,58	13,76	7	15,52	15,73
8	17,60	13,76	8	13,05	15,52
9	10,58	13,58	9	10,58	15,10
10	13,76	13,40	10	11,99	14,81
11	10,05	13,40	11	14,46	14,46
12	13,58	13,33	12	22,22	14,11
13	10,62	12,87	13	10,58	14,04
14	9,17	11,36	14	10,76	13,05
15	7,76	11,29	15	17,35	11,99
16	15,34	10,62	16	20,99	11,99
17	10,23	10,58	17	10,76	11,92
18	13,76	10,58	18	11,29	11,50
1	7,41	10,58	1	14,81	11,29
19	13,33	10,58	19	18,69	11,29
20	9,17	10,40	20	10,55	10,93
21	10,58	10,23	21	10,65	10,76
22	11,29	10,05	22	17,28	10,76
23	18,34	9,88	23	14,11	10,65
24	8,99	9,70	24	10,58	10,58
25	11,36	9,52	25	11,92	10,58
26	9,88	9,24	26	11,99	10,58
27	16,93	9,17	27	10,58	10,58
28	9,24	9,17	28	9,88	10,58
29	9,52	9,17	29	7,76	10,55
30	9,17	8,99	30	14,04	9,88
31	13,40	7,76	31	8,82	9,17
32	9,70	7,41	32	9,17	9,17
33	4,59	6,70	33	9,17	8,82
34	5,29	5,64	34	10,58	8,82
35	6,70	5,29	35	7,76	8,29
36	5,64	5,29	36	8,82	7,76
37	4,41	4,94	37	8,29	7,76
38	4,94	4,59	38	7,05	7,05
39	5,29	4,41	39	6,88	6,88
40	4,23	4,23	40	6,88	6,88
Promedio	10,42		Promedio	12,01	
Promedio CI	5,63		Promedio CI	8,06	
N°	40		N°	40	
CI	10		CI	10	
Ea (%)	54		Ea (%)	67	

Anexo 19. Prueba de respaldo para hallar los parámetros técnicos a una presión inferior de 0,5 bar

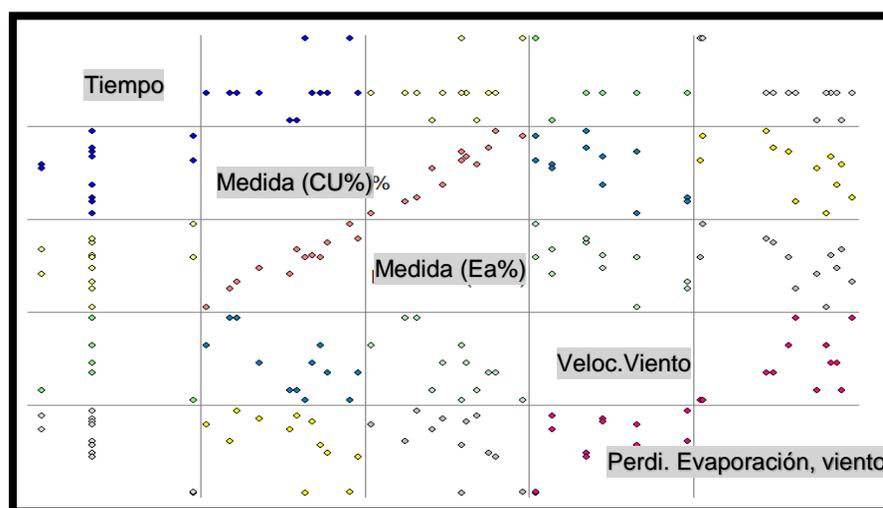


Anexo 20. Análisis de correlación entre Coeficiente de uniformidad (CU%) y Eficiencia de aplicación (Ea%)

N°	TIEMPO (horas)	MEDIDA (CU%)	MEDIDA (Ea%)	Viento (m/s)
1	1	61	37	1,6
2	1	60	34	1,6
3	2	70	49	0,7
4	2	76	65	0,7
5	1	64	44	1,1
6	1	71	50	1,1
7	1	57	25	1,3
8	1	72	49	1,3
9	1	73	56	0,0
10	1	77	58	0,0
11	0,5	69	53	0,8
12	0,5	68	41	0,8

Correlación de Pearson: Coeficientes/Probabilidades

	Tiempo	Med. (CU%)	Med. (Ea%)	Viento	Perdidas
Tiempo	1,00	0,37	0,26	0,35	6, 6E-04
Medida (Cu%)	0,28	1,00	3,6E-06	0,02	0,05
Medida (Ea)	0,35	0,95	1,00	0,02	0,06
Viento	-0,30	-0,66	-0,66	1,00	0,08
Perdidas	-0,84	-0,58	-0,56	0,52	1,00



Anexo 21. Presupuesto del sistema de riego por aspersión con las cintas de aspersión Golden Spray de 1" ¼

Descripción	Unidad	Cantidad	P/U (Bs)	Subtotal (Bs)
Motobomba 4.5 H.P.	pieza	1	2500	2500
Politubo de 1 y 1/2"	m	30	10	300
Cintas de aspersión Golden Spray 1 y 1/4"	m	60	10	600
Manómetros con glicerina	pieza	5	100	500
Teflón	pieza	20	3	60
Unión universal de PVC de 1"	pieza	6	11	66
Unión universal de PVC de 2"	pieza	2	44	88
Tapón hembra rosca de PVC de 1 y 1/2"	pieza	1	8	8
Tapón macho rosca de PVC de 1/2"	pieza	3	2,5	7,5
Tapón macho rosca de PVC de 3/4"	pieza	3	3	9
Tapón macho rosca de PVC de 1"	pieza	6	4	24
Llave de paso roscable PVC de 1"	pieza	3	26	78
Collarín de 50x1 pulg.	pieza	6	28	168
Tracarro de 1 y 1/4"	pieza	6	70	420
Niple de rosca de PVC de 2"	pieza	2	13	26
Niple de rosca de PVC de 1"	pieza	9	6,5	58,5
Llave de paso roscable con unión PVC de 1"	pieza	3	45	135
Manguera de succión de 2"	m	6	45	270
TEE rosca de PVC de 2"	pieza	1	33	33
TEE rosca de PVC de 1"	pieza	3	10	30
Buje reductor de 2" y 1 a 1/2"	pieza	1	10,5	10,5
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	80	5	400
TOTAL				5885

Anexo 22. Fuente agua antes y después (Ampliación y enmallado de la fuente de agua antes de la investigación)



Anexo 23. Análisis de infiltración básica (V.I.B.)



Anexo 24. Análisis físico-químico del agua



Anexo 25. Análisis físico del suelo para determinar textura



Anexo 26. Análisis de densidad aparente del suelo en laboratorio



Anexo 27. Escorrentía superficial vistas a mayor tiempo de aplicación**Anexo 28. Medición del caudal desfogado (l/min) en las cintas Golden Spray****Anexo 29. Instalación de los pluviómetros en el área de evaluación**

Anexo 30. Medición del volumen recogido en los pluviómetros mediante probetas graduadas



Anexo 31. Lectura de la presión de trabajo al inicio del lateral o ramal de riego



Anexo 32. Lectura de la presión al inicio de la tubería principal de riego



Anexo 33. Implementación de cintas de aspersión Golden Spray

