



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA EN MINI  
CAÑONES DE RIEGO EN LA COMUNIDAD DE MACARI,  
MELGAR – PUNO**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. ABIGAEL CLAVITEA HUAYTA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AGRÍCOLA**

**PUNO – PERÚ**

**2021**



## DEDICATORIA

*Con mucho amor dedico este trabajo a mi padre Samuel (QEPD) que desde lo alto vela mí sendero y siempre estará conmigo, a mi madre Guadalupe que con su humildad apoyó mi formación como persona y profesionalmente, con la perseverancia y constancia de todo su amor. A mis hermanas y mis hermanos, que estuvieron apoyándome en todo momento con sus consejos que fueron fortaleciéndome como persona.*

*Con la fe puesta en mí y su apoyo oportuno e incondicional aprecio mucho a los amigos y amigas que siempre estuvieron presentes.*

**CLAVITEA Abigail.**



## AGRADECIMIENTOS

A Dios que custodia y orienta cada paso que voy dando, que me muestra que la vida está llena de retos y por el cada día brindarme salud y bienestar a mí y mi familia.

A la Universidad Nacional del Altiplano, facultad de Ingeniería Agrícola, a cada docente y quienes supieron apoyarme durante todo mi proceso de mi formación profesional.

A mi director de tesis por su apoyo brindado para la composición del presente y por su exhortación de seguir adelante con los estudios, los valores éticos y morales emitidos a lo largo de la vida profesional.

A todas las personas que de alguna forma contribuyeron de diferentes maneras para poder culminar el presente trabajo de tesis.

**CLAVITEA Abigael.**



# ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTOS**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

**RESUMEN ..... 18**

**ABSTRACT..... 19**

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

**1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA..... 21**

**1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA ..... 22**

1.2.1. Problema general ..... 22

1.2.2. Problemas específicos..... 22

**1.3. JUSTIFICACIÓN ..... 22**

**1.4. OBJETIVOS ..... 23**

1.4.1. Objetivo general ..... 23

1.4.2. Objetivos específicos ..... 23



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

<b>2.1. ANTECEDENTES .....</b>	<b>24</b>
<b>2.2. RIEGO POR ASPERSIÓN .....</b>	<b>27</b>
<b>2.3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL RIEGO POR ASPERSORES.....</b>	<b>28</b>
2.3.1. Ventajas .....	28
2.3.2. Desventajas .....	29
<b>2.4. CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE RIEGO POR ASPERSIÓN....</b>	<b>29</b>
<b>2.5. ASPERSORES.....</b>	<b>31</b>
2.5.1. Tipos de aspersores.....	31
2.5.2. Mini cañones de riego.....	34
2.5.3. Presión de trabajo .....	36
<b>2.6. ESPACIAMIENTO ENTRE ASPERSORES.....</b>	<b>36</b>
2.6.1. Espaciamiento y la velocidad de viento .....	38
<b>2.7. PLUVIOMETRÍA DEL ASPERSOR .....</b>	<b>39</b>
<b>2.8. INDICADORES DE UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCIÓN.....</b>	<b>40</b>
2.8.1. Coeficiente de uniformidad de Christiansen .....	40
2.8.2. Uniformidad de distribución.....	41
2.8.3. Diferencia entre UD y CU .....	43
<b>2.9. DETERMINACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DEL AGUA POR LOS     ASPERSORES.....</b>	<b>44</b>
2.9.1. Ensayo de línea lateral unitaria.....	44



<b>2.10. FACTORES QUE AFECTAN LA UNIFORME DISTRIBUCIÓN DEL AGUA.....</b>	<b>45</b>
2.10.1. Acción del viento.....	46
2.10.2. Pérdidas por evapotranspiración.....	47
2.10.3. Temperatura.....	48
2.10.4. Humedad relativa.....	48

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

<b>3.1. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO .....</b>	<b>49</b>
3.1.1. Ubicación política y geográfica.....	49
3.1.2. Límites territoriales.....	50
3.1.3. Vías de comunicación para la zona del proyecto .....	50
<b>3.2. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA.....</b>	<b>50</b>
3.2.1. Población beneficiada por el sistema de riego.....	50
3.2.2. Clima .....	50
3.2.3. Recurso hídrico.....	52
3.2.4. Topografía .....	52
3.2.5. Descripción del sistema de riego actual .....	53
<b>3.3. EQUIPOS Y MATERIALES UTILIZADOS EN EL PROYECTO.....</b>	<b>57</b>
3.3.1. Equipos .....	57
3.3.2. Materiales de campo .....	57
3.3.3. Materiales de escritorio .....	57





4.3.1. Presión de aspensor del bloque A, sector 1.....	69
4.3.2. Presión de aspensor del bloque A, sector 3.....	69
4.3.3. Presión de aspensor del bloque B, sector 2.....	70
4.3.4. Presión de aspensor del bloque B, sector 4.....	70
<b>4.4. VELOCIDAD DE VIENTO .....</b>	<b>71</b>
4.4.1. Velocidad de viento del bloque A, sector 1.....	71
4.4.2. Velocidad de viento del bloque A, sector 3.....	72
4.4.3. Velocidad de viento del bloque B, sector 2.....	73
4.4.4. Velocidad de viento del bloque B, sector 4.....	73
<b>4.5. HUMEDAD RELATIVA.....</b>	<b>75</b>
4.5.1. Humedad relativa del bloque A, sector 1. ....	75
4.5.2. Humedad relativa del bloque A, sector 3. ....	75
4.5.3. Humedad relativa del bloque B, sector 2.....	76
4.5.4. Humedad relativa del bloque B, sector 4.....	76
<b>4.6. TEMPERATURA DEL AMBIENTE.....</b>	<b>77</b>
4.6.1. Temperatura del bloque A, sección 1. ....	77
4.6.2. Temperatura del bloque A, sección 3. ....	78
4.6.3. Temperatura del bloque B, sección 2. ....	78
4.6.4. Temperatura del bloque B, sección 4. ....	79
<b>4.7. COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE CHRISTIANSEN Y UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCIÓN.....</b>	<b>80</b>
4.7.1. Parcela del bloque A-1. ....	81





4.7.1.1. Cálculo del CUC y DU, en el horario de 05:30 - 07:30 hora .....	81
4.7.1.2. Cálculo del CUC y DU, en el horario de 12:00-14:00 horas. ....	83
4.7.1.3. Cálculo del CUC y DU, en el horario de 16:00-18:00 horas. ....	85
4.7.2. Parcela del bloque A-3. ....	87
4.7.2.1. Cálculo del CUC y DU, en el horario de 05:30 - 07:30 horas. ...	87
4.7.2.2. Cálculo del CUC y DU, en el horario de 12:00-14:00 horas. ....	89
4.7.2.1. Cálculo del CUC y DU, en el horario de 16:00 – 18:00 horas....	91
4.7.3. Parcela del bloque B-2.....	93
4.7.3.1. Cálculo del CUC y DU, en el horario de 05:30 - 07:30 horas. ...	93
4.7.3.2. Cálculo del CUC y DU, en el horario de 12:00 – 14:00 horas....	95
4.7.3.1. Cálculo del CUC y DU, en el horario de 16:00 – 18:00 horas....	97
4.7.4. Parcela del bloque B-4.....	99
4.7.4.1. Cálculo del CUC y DU, en el horario de 05:30 - 07:30 horas. ...	99
4.7.4.2. Cálculo del CUC y DU, en el horario de 12:00 – 14:00 horas..	101
4.7.4.1. Cálculo del CUC y DU, en el horario de 16:00 – 18:00 horas..	103
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>111</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>112</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>113</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>117</b>
<b>Anexo 1:</b> Esquema hidráulico de proyecto de la comunidad de Macarí.....	117
<b>Anexo 2:</b> Localización de las parcelas demostrativas.....	118



<b>Anexo 2.1:</b> Parcela del bloque A, sector 1.....	118
<b>Anexo 2.2:</b> Parcela del bloque A, sector 3.....	118
<b>Anexo 2.3:</b> Parcela del bloque B, sector 2.....	119
<b>Anexo 2.4:</b> Parcela del bloque B, sector 4.....	119
<b>Anexo 3:</b> Características del Aspensor SIME – JOLLY.....	120
<b>Anexo 4:</b> Especificaciones del Aspensor SIME – JOLLY.....	121
<b>Anexo 5:</b> Modelo de planilla para traslape de datos pluviométricos.....	122
<b>Anexo 6:</b> Datos meteorológicos de las estaciones más cercanas.....	123
<b>Anexo 6.1:</b> Información de la estación meteorológica CO. Ayaviri.....	123
<b>Anexo 6.2:</b> Información de la estación meteorológica CO. Llalli.....	124
<b>Anexo 6.3:</b> Información de la estación meteorológica CP. Chuquibambilla. .....	112
5	
<b>Anexo 7:</b> Panel fotográfico.....	126

**Área** : Recursos Hídricos

**Línea** : Riego por Aspersión

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 30 de julio 2021.



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b>	Clasificación de los sistemas de riego en función de la movilidad. ....	30
<b>Tabla 2:</b>	Clasificación de los aspersores según rangos de presión operativa. ....	33
<b>Tabla 3:</b>	Diferentes unidades para poder medir la presión y sus equivalentes. ....	36
<b>Tabla 5:</b>	Reducción del % de solapamiento en relación a la velocidad de viento. ....	38
<b>Tabla 6:</b>	Separación entre aspersores para diferentes velocidades de viento. ....	39
<b>Tabla 7:</b>	Valores aceptados de CUC y UD y su clasificación en función de la calidad de la distribución. ....	43
<b>Tabla 8:</b>	Categorías de velocidad de viento. ....	47
<b>Tabla 9:</b>	Vía de acceso terrestre al proyecto desde la ciudad de Puno. ....	50
<b>Tabla 10:</b>	Caudal de cada aspersor medidas en la parcela del bloque A-1. ....	66
<b>Tabla 11:</b>	Caudal de cada aspersor medidas en la parcela del bloque A-3. ....	67
<b>Tabla 12:</b>	Caudal de cada aspersor medidas en la parcela del bloque B-2. ....	67
<b>Tabla 13:</b>	Caudal de cada aspersor medidas en la parcela del bloque B-4. ....	68
<b>Tabla 14:</b>	Presiones medidas en la parcela del bloque A-1. ....	69
<b>Tabla 15:</b>	Presiones medidas en la parcela del bloque A-3. ....	70
<b>Tabla 16:</b>	Presiones medidas en la parcela del bloque B-2. ....	70
<b>Tabla 17:</b>	Presiones medidas en la parcela del bloque B-4. ....	71
<b>Tabla 18:</b>	Velocidad del viento (m/s), en la parcela del bloque A-1. ....	72
<b>Tabla 19:</b>	Velocidad del viento (m/s), en la parcela del bloque A-3. ....	72
<b>Tabla 20:</b>	Velocidad del viento (m/s), en la parcela del bloque B-2. ....	73



<b>Tabla 21:</b> Velocidad del viento (m/s), en la parcela del bloque B-4. ....	74
<b>Tabla 22:</b> Humedad Relativa (%), en la parcela del bloque A-1. ....	75
<b>Tabla 23:</b> Humedad Relativa (%), en la parcela del bloque A-3. ....	76
<b>Tabla 24:</b> Humedad Relativa (%), en la parcela del bloque B-2. ....	76
<b>Tabla 25:</b> Humedad Relativa (%), en la parcela del bloque B-4. ....	77
<b>Tabla 26:</b> Temperatura (°C), en la parcela del bloque A-1. ....	78
<b>Tabla 27:</b> Temperatura (°C), en la parcela del bloque A-3. ....	78
<b>Tabla 28:</b> Temperatura (°C), en la parcela del bloque B-2. ....	79
<b>Tabla 29:</b> Temperatura (°C), en la parcela del bloque B-4. ....	79
<b>Tabla 30:</b> Datos de pluviometría del bloque A-1, en el horario de 05:30-07:30 hr. ....	81
<b>Tabla 31:</b> Datos superpuestos para un marco cuadrado de 20x20m, parcela del bloque A-1, en el horario de 05:30-07:30 hr. ....	81
<b>Tabla 32:</b> Cálculo del CUC y DU del bloque A-1, en el horario de 05:30-07:30 hr. ...	82
<b>Tabla 33:</b> Datos de pluviometría del bloque A-1, en el horario de 12:00-14:00 hr. ....	83
<b>Tabla 34:</b> Datos superpuestos para un marco cuadrado de 20x20m, parcela del bloque A-1, en el horario de 12:00-14:00 hr. ....	83
<b>Tabla 35:</b> Cálculo del CUC y DU del bloque A-1, en el horario de 12:00-14:00 hr. ...	84
<b>Tabla 36:</b> Datos de pluviometría del bloque A-1, en el horario de 16:00-18:00 hr. ....	85
<b>Tabla 37:</b> Datos superpuestos para un marco cuadrado de 20x20m, parcela del bloque A-1, en el horario de 16:00-18:00 hr. ....	85
<b>Tabla 38:</b> Cálculo del CUC y DU del bloque A-1, en el horario de 16:00-18:00 hr. ...	86
<b>Tabla 39:</b> Datos de pluviometría del bloque A-3, en el horario de 05:30-07:30 hr. ....	87



<b>Tabla 40:</b> Datos superpuestos para un marco cuadrado de 20x20m, parcela del bloque A-3, en el horario de 05:30-07:30 hr. ....	87
<b>Tabla 41:</b> Cálculo del CUC y DU del bloque A-3, en el horario de 05:30-07:30 hr. ...	88
<b>Tabla 42:</b> Datos de pluviometría del bloque A-3, en el horario de 12:00-14:00 hr. ....	89
<b>Tabla 43:</b> Datos superpuestos para un marco cuadrado de 20x20m, parcela del bloque A-3, en el horario de 12:00-14:00 hr. ....	89
<b>Tabla 44:</b> Cálculo del CUC y DU del bloque A-3, en el horario de 12:00-14:00 hr. ...	90
<b>Tabla 45:</b> Datos de pluviometría del bloque A-3, en el horario de 16:00-18:00 hr. ....	91
<b>Tabla 46:</b> Datos superpuestos para un marco cuadrado de 20x20m, parcela del bloque A-3, en el horario de 16:00-18:00 hr. ....	91
<b>Tabla 47:</b> Cálculo del CUC y DU del bloque A-3, en el horario de 16:00-18:00 hr. ...	92
<b>Tabla 48:</b> Datos de pluviometría del bloque B-2, en el horario de 05:30-07:30 hr. ....	93
<b>Tabla 49:</b> Datos superpuestos para un marco cuadrado de 20x20m, parcela del bloque B-2, en el horario de 05:30-07:30 hr. ....	93
<b>Tabla 50:</b> Cálculo del CUC y DU del bloque B-2, en el horario de 05:30-07:30 hr. ...	94
<b>Tabla 51:</b> Datos de pluviometría del bloque B-2, en el horario de 12:00-14:00 hr. ....	95
<b>Tabla 52:</b> Datos superpuestos para un marco cuadrado de 20x20m, parcela del bloque B-2, en el horario de 12:00-14:00 hr. ....	95
<b>Tabla 53:</b> Cálculo del CUC y DU del bloque B-2, en el horario de 12:00-14:00 hr. ...	96
<b>Tabla 54:</b> Datos de pluviometría del bloque B-2, en el horario de 16:00-18:00 hr. ....	97
<b>Tabla 56:</b> Cálculo del CUC y DU del bloque B-2, en el horario de 16:00-18:00 hr. ...	98
<b>Tabla 57:</b> Datos de pluviometría del bloque B-4, en el horario de 05:30-07:30 hr. ....	99



<b>Tabla 58:</b> Datos superpuestos para un marco cuadrado de 20x20m, parcela del bloque B-4, en el horario de 05:30-07:30 hr.....	99
<b>Tabla 59:</b> Cálculo del CUC y DU del bloque B-4, en el horario de 05:30-07:30 hr. .	100
<b>Tabla 60:</b> Datos de pluviometría del bloque B-4, en el horario de 12:00-14:00 hr....	101
<b>Tabla 61:</b> Datos superpuestos para un marco cuadrado de 20x20m, parcela del bloque B-4, en el horario de 12:00 – 14:00 hr. ....	101
<b>Tabla 62:</b> Cálculo del CUC y DU del bloque B-4, en el horario de 12:00-14:00 hr. .	102
<b>Tabla 63:</b> Datos de pluviometría del bloque B-4, en el horario de 16:00-18:00 hr....	103
<b>Tabla 64:</b> Datos superpuestos para un marco cuadrado de 20x20m, parcela del bloque B-4, en el horario de 16:00-18:00 hr.....	103
<b>Tabla 65:</b> Cálculo del CUC y DU del bloque B-4, en el horario de 16:00-18:00 hr. .	104
<b>Tabla 66:</b> CUC, DU y velocidad de viento obtenidos .....	107



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b>	Distribución del agua según la presión de trabajo de los aspersores. ....	34
<b>Figura 2:</b>	Aspersores gran cañón, que trabajan con presiones de 45 – 100 PSI. ....	35
<b>Figura 3:</b>	Mini cañones de riego Sime Jolly, de círculo completo con presiones de trabajo de 25 a 70 PSI. ....	35
<b>Figura 4:</b>	Traslape entre aspersores y humedecimiento del perfil del suelo. ....	37
<b>Figura 5:</b>	Tipos de ordenamiento de aspersores. ....	38
<b>Figura 6:</b>	Ensayo de línea unitaria de las unidades de riego. ....	45
<b>Figura 7:</b>	Efecto del viento en la alteración del patrón de humedecimiento del perfil del suelo. ....	46
<b>Figura 8:</b>	Zona de estudio e identificación de las parcelas demostrativas. ....	49
<b>Figura 9:</b>	Vista de las parcelas bajo riego. ....	52
<b>Figura 10:</b>	Captación de agua la quebrada Turmana. ....	54
<b>Figura 11:</b>	Almacenamiento de agua de la quebrada Turmana. ....	54
<b>Figura 12:</b>	Hidrante de riego de operación manual. ....	55
<b>Figura 13:</b>	Lateral de riego, de tubería PE de 63mm. ....	56
<b>Figura 14:</b>	Aspersor de riego con conexión rosca hembra de 1 <sup>1/4</sup> " con doble boquilla (10.0 mm x 4.0 mm). ....	56
<b>Figura 15:</b>	Aspersor mini- cañón, instalados a nivel de todas parcelas. ....	59
<b>Figura 16:</b>	Medición de la presión. ....	60
<b>Figura 17:</b>	Medición de la descarga del aspersor. ....	61
<b>Figura 18:</b>	Disposición de vasos pluviométricos. ....	62



<b>Figura 19:</b>	Recolección de agua distribuida por el emisor .....	62
<b>Figura 20:</b>	Modelo de planilla para la llenar datos de pluviometría, según el número de columnas y filas. ....	63
<b>Figura 21:</b>	Simulación de traslape para seis aspersores.....	64
<b>Figura 22:</b>	Distorsión de la distribución del agua de los aspersores por acción del viento. .....	65
<b>Figura 23:</b>	Relación de CUC, DU promedios y la velocidad del viento .....	108
<b>Figura 24:</b>	Representación de la infiltración del agua del bloque A .....	109
<b>Figura 25:</b>	Representación de la infiltración del agua del bloque B.....	110





## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

- CU** : Coeficiente de Uniformidad
- CUC** : Coeficiente de Uniformidad de Christiansen
- DU** : Uniformidad de Distribución
- DPM** : Déficit Permisible de Manejo
- SENAMHI** : Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología.



## RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue determinar la uniformidad de distribución de agua a través de los mini cañones de riego, aplicando las fórmulas propuestas por Christiansen (1942) y Merriam & Keller (1978) e interpretar la incidencia del viento sobre la distribución del agua; para cual se recopiló información climatológica necesaria, datos de campo como las pruebas de pluviometría, presión, caudal de emisor, en diferentes horarios para evaluar la influencia del viento. Como resultados se registró presiones de 2.4 y 2.5 bar en los aspersores, con descargas de caudal que varía desde 2.36 m<sup>3</sup>/h hasta 3.67m<sup>3</sup>/h mientras tanto se obtuvieron valores aceptables del CUC como (81.86%, 84%, 87.42% y 82.29 %) y DU (75.94%, 77.04%, 80.79%, y 74.72%) en su mayoría en horarios de 5:30-7:30 horas, resultados considerados aceptables, que nos estarías mostrando una buena distribución del agua, el CUC máximo y mínimo fue de 87.42% y 55.34%, mientras el DU resultó con un máximo de 80.79% y 26.88% mínimo; es preciso mencionar que en los dos últimos horarios se obtuvieron resultados que nos muestran una pobre distribución del agua a nivel parcelario. La uniforme distribución del agua regada a través de los aspersores, dependió mucho de la presencia del viento los cuales fueron mínimos en las primeras horas del día; se registraron valores mínimos de 0.3 m/s así mismo los vientos más fuertes fueron de hasta 10.7 m/s, con dirección predominante del Oeste. Se registró pérdidas en el caudal de los aspersores debido a las fugas de agua y el mal uso del sistema, y los índices de CUC y DU superaron los valores mínimos permitidos ante velocidades de viento menores a 2 m/s lo que nos permite afirmar que se logró obtener una uniformidad de distribución de agua aceptable a nivel parcelario.

**Palabras clave:** Coeficiente de uniformidad, mini cañones, presión de trabajo, uniformidad de distribución, velocidad de viento.



## ABSTRACT

The objective of the present work was to determine the uniformity of water distribution through the mini watering cannons, applying the formulas proposed by Christiansen (1942) and Merriam & Keller (1978) and interpret the incidence of the wind over the distribution of the water; for which necessary climatological information, coma data such as the pluviometer, pressure, flow transmission tests, in different schedules to evaluate the influence of the wind. As results, pressures of 2.4 and 2.5 bar were registered in the sprinklers, with discharges of flow that varies from 2.36 m<sup>3</sup>/h to 3.67m<sup>3</sup>/h, meanwhile, acceptable values of the CUC were obtained as (81.86%, 84%, 87.42% and 82.29%) and DU (75.94%, 77.04%, 80.79%, and 74.72%), mostly in hours from 5:30-7:30 hours, Results considered acceptable, that you would be showing us a good distribution of the water, the maximum and minimum CUC was 87.42% and 55.34%, while the DU resulted with a maximum of 80.79% and a minimum 26.88%; It should be mentioned that in the last two hours, results were obtained that show a poor distribution of water at the parcel level. The uniform distribution of the water irrigated through the sprinklers, depended a lot on the presence of the wind, which was minimal in the first hours of the day; Minimum values of 0.3 m/s were recorded, likewise the strongest winds were up to 10.7 m/s, with the predominant direction from West. Losses were recorded in the flow of the sprinklers due to water leaks and the misuse of the system, and the CUC and DU indices exceeded the minimum values allowed at wind speeds lower than 2 m/s, which allows us to affirm that it was possible to obtain a uniformity of distribution of acceptable water at parcel level.

**Keywords:** Uniformity coefficient, mini guns, work pressure, distribution uniformity, and wind speed.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

En la agricultura de riego es necesaria una transformación tecnológica para mejorar su productividad y rentabilidad. Por tanto, es necesario desarrollar métodos para evaluar los sistemas de riego y determinar su adecuado funcionamiento. Una forma de evaluación es la medición de la distribución espacial del agua aplicada a los terrenos (Buendía et al., 2004).

El método de riego presurizado requiere de ciertas condiciones básicas para su funcionamiento, desde una fuente de abastecimiento (para evitar en bombeo), a partir del cual se realiza la conducción de agua mediante tuberías o canales hasta una red de distribución de tuberías que deberán garantizar la presión necesaria para el funcionamiento de los aspersores (Chávez, 2011).

Para Varas y Sandoval (1991), “existe una gran variedad de aspersores que varían en la presión que necesitan y la cantidad de agua que pueden tirar, es decir el diámetro que pueden regar en una posición”.

El manejo del agua aplicada a las gramíneas tiene el fin de suplir sus requerimientos en cantidad, calidad y oportunidad que estos requieran para su crecimiento y producción, sin embargo, el exceso como la falta del recurso hídrico es esencial, para evitar pérdidas del agua destinado a la agricultura.

Existen factores fundamentales que afectan el proceso de distribución de agua que realizan los aspersores. Esta investigación tiene como objetivo fundamental determinar la uniformidad de distribución de agua a través de mini cañones de riego, con objetivos específicos de determinar la presión, descarga y características de los mini cañones



instalados en parcelas de alfalfa para comparar el diseño planteado y actual, determinar el coeficiente de uniformidad y la uniformidad de distribución, mediante las fórmulas de Christiansen, Merriam & Keller, definir el porcentaje de uniformidad del agua distribuida y determinar la influencia del viento sobre la distribución del agua aplicada a través de los emisores.

### **1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

El agua es un recurso cada vez más escaso debido a los cambios climáticos y a la mayor demanda poblacional por el crecimiento población acelerado, afectando indiscutiblemente a la agricultura. Ante esta creciente demanda del agua, aumenta la necesidad de hacer más eficiente la aplicación y aprovechamiento por el cultivo (Ramírez, 2018).

La agricultura bajo riego por aspersión se viene implementando en el altiplano. Es una necesidad de poder incrementar rendimiento y producción de cultivos, ante los veranillos que se vienen presentando en los últimos años, como consecuencia de los cambios climáticos; sin embargo, en las comunidades la agricultura mantiene bajas producciones debido a la deficiente disposición del recurso hídrico, la falta de capacitaciones sobre el buen manejo del sistema y la correcta dotación de agua a los cultivos y evitar los riegos en condiciones climáticas adversas. Con una instalación de riego tecnificado se pretende optimizar el recurso agua y suelo; para mejorar la calidad de vida de los beneficiados.

El sistema de riego por aspersión (mini cañones) instalados en la comunidad de Macarí, no presentan registros de la uniformidad de distribución del agua; por otro lado, los beneficiarios no prestan importancia a esta práctica de campo. En tal sentido, se tiene la incertidumbre de saber, de qué manera se viene distribuyendo el agua a nivel de parcela,



para disminuir deficiencias y con el objetivo de garantizar un uso eficiente del recurso hídrico.

## **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. Problema general**

¿Cómo se viene distribuyendo el agua a través de los aspersores mini cañones en las parcelas de alfalfa del sistema de riego de la comunidad de Macarí?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- ¿Cómo caracterizar el funcionamiento de los mini cañones de riego, que se vienen empleando en el sistema de riego Macarí?
- ¿Es uniforme la distribución del agua mediante riego con mini cañones a nivel parcelario en el sistema de riego Macarí?
- ¿Existen los factores climáticos que influyen en la distribución uniforme del agua en el sistema de riego Macarí a nivel parcelario?

## **1.3. JUSTIFICACIÓN**

La mayor demanda del uso del agua es destinada a la agricultura (Belizario, 2014, 2015), por ende, se requiere sistemas de riego eficientes, para obtener una sostenibilidad económica y ambiental. Por lo tanto, es de vital importancia conocer si el agua que se aplica mediante el riego es uniforme, porque debido que una baja uniformidad de distribución del agua aplicada implica un exceso o escasez del agua en el suelo, afectando directamente a la producción del cultivo.

La calidad del riego se mide por la uniformidad de la distribución del agua; sin embargo, los bajos valores de uniformidad, se vienen dando porque los proyectos dan



mucha atención al diseño y construcción, dejando de lado los problemas relacionados con la operación, en lo cual incide el inadecuado manejo de riego en parcela; esta situación trae consigo el bajo rendimiento y producción de los cultivos, mal manejo del agua, deterioro del medio ambiente obteniendo bajos ingresos económicos.

Con la presente investigación se obtiene datos de pluviometría que nos permitirá evaluar la uniformidad de distribución del agua, considerando los factores como el viento, el caudal, presión de trabajo que puedan disminuir la uniformidad del agua aplicada a través de los mini cañones de riego, con el fin de optimizar el uso del recurso hídrico (Belizario et al., 2013b, 2013a).

## **1.4. OBJETIVOS**

### **1.4.1. Objetivo general**

Evaluar la uniformidad de distribución de agua a través de mini cañones de riego, en la comunidad de Macarí.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Determinar las características de operación de los aspersores instalados en parcelas de alfalfa y contrastar el diseño planteado con el actual del sistema de riego.
- Determinar el coeficiente de uniformidad y la uniformidad de distribución, mediante las fórmulas de Christiansen y Merriam & Keller, en parcelas de producción de alfalfa.
- Interpretar la influencia del viento sobre la distribución del agua aplicada a través de los mini cañones de riego.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES

La agricultura representa alrededor del 70% del uso mundial de agua, principalmente para la producción de alimentos [...] y productos agrícolas. Cuando las lluvias son insuficientes para mantener los cultivos, el riego se hace necesario y aumenta el costo de las operaciones agrícolas. Sólo el 0,003% es agua dulce, es decir, agua apta para beber, higiene, agricultura e industria (Winpenny et al., 2013).

La producción agrícola se ve limitada en varios sectores [...], principalmente en la zona del altiplano, debido a la ausencia de precipitaciones pluviales durante la época seca en tal sentido la falta de agua es el principal problema en las regiones altiplánicas tiene una irregular distribución en toda la zona del altiplano (Poma, 2014).

Según Laserna et al., (2016), la distribución de agua en sistemas de riego por aspersión con aspersores de gran tamaño es muy similar a la producida con aspersores de tamaño medio:

- Los resultados de este estudio sugieren que es mejor trabajar con una presión de trabajo de 450 kPa frente a 500 kPa, a pesar de utilizar boquillas con un gran diámetro. La influencia del viento es significativa sobre el patrón de distribución de agua, sobre todo para velocidades mayores de 2 m/s. Coeficientes de uniformidad aceptables se pueden conseguir incluso con marcos de riego de 24x30 m<sup>2</sup> y 30x30 m<sup>2</sup> en situaciones de riegos nocturnos con bajo viento, a la presión de 450 kPa. Como consecuencia de este estudio, unos criterios técnicos pueden ser usados para optimizar el manejo del riego





con aspersores de gran tamaño, para diferentes escenarios de trabajo que incluyen el marco de riego, la presión de trabajo y el efecto del viento.

Según Merida (2017), si el CU del sistema es de 57.11%, valor que se encuentra por debajo de lo recomendado en los sistemas de riego por aspersión (80 %), por lo tanto, se concluye que actualmente dicho sistema no funciona adecuadamente lo cual se atribuye a los hallazgos manifestados son:

- La presión de operación del sistema se considera aceptable si tomamos en cuenta que el promedio de presión en las pruebas de campo es de 47.47 PSI y el requerimiento de presión en el sistema según su diseño original fue de 35 PSI.
- Los rangos de caudal de salida del aspersor oscilan entre de 3.96 a 5.86 gal/min con promedio de 4.89 gal/min, se puede apreciar la variación que existe en el suministro de agua en las diferentes parcelas evaluadas, esto justifica que los productores alarguen el tiempo de riego, no respeten los turnos establecidos y la frecuencia de riego, debido a que no se aplican las láminas de agua adecuadas y suficientes para suplir de humedad el suelo y desarrollo de cultivos.
- Los rangos en la lámina de descarga de aspersores oscilan entre 0.03 a 0.94 centímetros, con promedio total del 0.37 centímetros, lo cual es catalogada como baja y refleja que actualmente los volúmenes en la distribución de agua no son los adecuados, esto justifica que los productores no respeten la frecuencia de riego y tiempo de riego por posición del aspersor.

Según Durand (2017), la evaluación del coeficiente de uniformidad de Christiansen en riego por aspersión con línea lateral unitaria, en los sectores de



Abrampampa, Staff, La Ponderosa y Chipiepita de la provincia de Caylloma, en los horarios de 6:00, 12:00 y 18:00 horas, llegando a las conclusiones:

- Las máximas presiones se obtienen en la evaluación de las 6:00 debido que la demanda del agua es mínima en las primeras horas.
- La velocidad del viento incrementa en el horario de las 12:00 horas con 5.40 m/s.
- El coeficiente de uniformidad se ha visto afectado principalmente por condiciones climáticas, hidráulicas y de operación. Con respecto a las condiciones climáticas, el horario más recomendable para la operación de los sistemas es a partir de las 14hrs y 10hrs del siguiente día donde la velocidad del viento oscila entre 0.4 – 2 m/s, con respecto a las condiciones de operación de debe considerar los turnos de riego establecidos.

Según Mamani (2018), las evaluaciones realizadas en el distrito de Ollantaybambo para determinación del coeficiente de uniformidad de distribución del agua con el aspersor 5022-sd, a través de la fórmula propuesta por Christiansen, con un enfoque hacia la influencia que puede tener los distintos marcos de riego siendo el cuadrado (14x14 m), rectangular (12x14 m), en la distribución del agua. Obtuvo los siguientes resultados:

- GGE Mosoq Qarpay, CU: 90.12%, 85.44% 86.41% en espaciamiento de 14x14m con 4 aspersores (marco de riego cuadrado) con 2 horas de funcionamiento, con velocidad de viento de 4 m/s. Para el espaciamiento de 12x14 m, con 4 aspersores (marco de riego rectángulo), los resultados fueron de 90.00%, 86.52%, 89.47% con 2 horas de funcionamiento, y velocidad de viento de 4m/s.



- GGE Chaquihuaycco, CU: 78.02%, 71.29% en simulación de espaciamiento de 14x14 m realizado con 2 aspersores y dos horas y media de funcionamiento con velocidad de viento de 4 m/s.
- GGE Tiaparo, fueron: 91.04%, 86.73%, 84.14% en espaciamiento de 14x14m con 4 aspersores (marco de riego cuadrado) y 2 horas de funcionamiento, con velocidad de viento de 6 m/s. Para el espaciamiento de 12x14m, con 4 aspersores (marco de riego rectangular), los resultados fueron de 91.87%, 87.10%, 86.31% con 2 horas de funcionamiento, y velocidad de viento de 4 m/s.

Recomienda la utilización de este aspersor NaanDan 5022-SD por el desempeño alcanzado en los ensayos de uniformidad en condiciones de viento.

Vilca (2013), propuso un mejoramiento del sistema de riego por aspersión en andenes en la Comunidad de Quiaca Ayllu de la provincia de Sandia, realizando evaluaciones en campo de la eficiencia de aplicación y distribución de los módulos de riego por aspersión existentes. Obtuvo un coeficiente de uniformidad de riego de 42.70% y una eficiencia de aplicación de 38.40 %. Dichos datos están muy por debajo del valor dado de Efa 75% en bibliografías.

## **2.2. RIEGO POR ASPERSIÓN**

El riego por aspersión es un método de riego mecanizado presurizado, ya que necesita de mecanismos que generen presión para mover el agua. Con este método de riego no es necesario nivelar el suelo, y se puede regar un potrero recién sembrado sin causar problemas de erosión o de escurrimiento de semillas, si se usa la presión y el aspersor adecuado (Varas y Sandoval, 1991).



De acuerdo a Morales (1990), este método de riego aplica el agua al suelo en forma de lluvia utilizando unos dispositivos de emisión de agua, denominados aspersores, que generan un chorro de agua pulverizada en gotas. El agua sale por los aspersores dotada de presión y llega hasta ellos a través de una red de tuberías cuya complejidad y longitud depende de la dimensión y la configuración de la parcela a regar (como se cito en Alejos, 2018).

El proceso de aplicación de agua de un aspersor consiste en un chorro de agua a gran velocidad que se difunde en el aire en un conjunto de gotas, distribuyéndose sobre la superficie del terreno, con la pretensión de conseguir un reparto uniforme entre varios aspersores (Tarjuelo, 2005).

Santos et al. (2010), “el riego por aspersión es apropiado para la mayoría de los cultivos y se adapta a casi todos los suelos regables porque los aspersores tienen una gama amplia de características de capacidades”.

### **2.3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL RIEGO POR ASPERSORES**

De acuerdo con Fernández et al. (2010), el control del riego solo está limitado por las condiciones climáticas y la uniformidad de aplicación del agua es independiente de las características del suelo:

#### **2.3.1. Ventajas**

- Permite regar terrenos poco uniformes, sin necesidad de nivelaciones o preparación previa del mismo.
- Se aprovecha más la superficie de cultivo, puede ser aplicado en una gran variedad de suelos, para los cuales existen riegos cortos y frecuentes.



- Este método de riego es ideal para realizar un lavado de sales, que tienden a desplazarse junto con el agua hasta capas profundas del suelo quedando fuera del alcance de las raíces.
- Posibilita la aplicación junto con el agua de riego de sustancias fertilizantes y algunos tratamientos químicos y permite cierto grado de automatización.
- Se adapta a la rotación de los cultivos, siempre y cuando el diseño de la red de distribución se realice para el cultivo que tenga mayores necesidades de agua.

### **2.3.2. Desventajas**

- Aportar en forma de lluvia puede tener efectos negativos sobre algunos cultivos, ya que al humedecerse la parte aéreas del cultivo aumenta el riesgo de desarrollo de enfermedades.
- El viento dificulta el reparto uniforme del agua, haciendo disminuir la uniformidad de aplicación y la eficiencia del sistema de riego.
- Algunos cultivos pueden sufrir quemaduras en las hojas en mayor o menor grado dependiendo de la sensibilidad del cultivo y la calidad de agua de riego.

## **2.4. CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE RIEGO POR ASPERSIÓN**

Según Tarjuelo (2005), los sistemas de riego por aspersión pueden agruparse en dos grandes familias: los estacionarios, que permanecen fijos mientras riegan, y los de desplazamiento continuo mientras realizan la aplicación del agua.

**Tabla 1:** Clasificación de los sistemas de riego en función de la movilidad.

	Móviles Semifijos	- Tubería móvil (manual o motorizada)
Estacionarios	Móviles fijos	- Tubería fija - Permanente (cobertura total enterrada) - Temporales (cobertura total área)
Desplazamiento continuo	Ramales desplazables	- Pivote o pivote (desplazamiento circular) - Lateral de avance frontal - Ala sobre carro
	Aspersor gigante	- Cañones viajeros - Enrolladores

**Fuente:** El riego por aspersión (Tarjuelo, 2005).

De acuerdo a Tarjuelo (2005), dentro de la primera familia están los sistemas móviles, donde todos los elementos de la instalación son móviles, incluso puede ser la bomba. Los sistemas semifijos suelen tener fija la red de tuberías principales, que normalmente va enterrada, y las tomas o hidrantes, donde se conectan los ramales de riego, que son móviles. Estos ramales de riego pueden llevar directamente acoplados los aspersores o bien ir dotados de mangueras, que desplazan los aspersores sobre “patines” a una determinada distancia del lateral (30 a 45 m), pudiéndose realizar varias posturas de riego sin necesidad de cambiar la tubería. Existe otra variante en la que todas las tuberías son fijas, desplazándose únicamente los tubos porta aspersores y los aspersores.

Los sistemas fijos permanentes mantienen todos sus elementos fijos durante la vida útil, lo que implica que todas las tuberías tengan que estar enterradas, mientras que los sistemas fijos temporales hay que montarlos al principio de la campaña de riego y retirarlos al final de la misma, lo que implica que los ramales y sus tuberías de alimentación tengan que estar en superficie, pudiendo ser de aluminio o de PVC (Tarjuelo, 2005).

## 2.5. ASPERSORES

Es el componente más importante en este método de riego, llegando a determinar la efectividad y la eficiencia de todo el sistema. Es el encargado de distribuir el agua en forma circular, diámetros de mojamientos superiores a los 3 metros (hasta 150 metros), dependiendo del modelo de aspersor y la presión de funcionamiento (Astorga, 1998).

Los aspersores son los elementos de la instalación de riego por aspersión encargados de distribuir el agua en forma de lluvia sobre la superficie del suelo. Son elementos provistos de una o más boquillas montadas sobre un cuerpo central, por las que sale el agua a presión. El movimiento giratorio del aspersor es provocado por la presión del agua que, al salir, se dispersa en forma de gotas mojando una superficie más o menos circular, cuyo alcance depende de la presión del agua y del tipo de aspersor (Fernández et al., 2010).

Un aspersor funciona forzando el agua bajo presión a pasar a través de un orificio circular, el pico o la boquilla, para la atmósfera. El chorro resultante se quiebra gradualmente en las pequeñas gotas que caen al suelo como lluvia. El aspersor gira en la posición horizontal y produce un modelo de distribución circular. Sin embargo, los aspersores pueden poseer los dispositivos que permitan regar solamente una fracción del círculo (Santos et al., 2010).

### 2.5.1. Tipos de aspersores

Para Fernández et al. (2010), los aspersores según por su mecanismo de giro se clasifican en:

- **Aspersores de impacto:** Son los más utilizados en agricultura. El giro se consigue mediante el impulso del chorro del agua sobre un brazo oscilante



que se desplaza y vuelve a su posición inicial gracias a un muelle recuperador. Cuando el brazo vuelve a su posición original, golpea el cuerpo del aspersor provocando un ligero giro del mismo. La velocidad de giro es relativamente pequeña, por lo que se les considera aspersores de giro lento.

- **Aspersores de turbina o engranaje:** Su giro es continuo empleando la presión del agua a su paso por un mecanismo de engranajes que va unido al cuerpo del aspersor. En general, son aspersores de gran tamaño que trabajan con altas presiones y suministran caudales elevados. Su uso está bastante limitado en agricultura, estando más difundidos en jardinería.
- **Aspersores rotativos o de reacción:** Poseen una o varias boquillas orientadas de forma que la reacción al cambio de dirección del movimiento del agua produce la rotación del aspersor. Su uso es muy frecuente en jardinería, horticultura, viveros, etc. pero no son utilizados en agricultura extensiva.

Según Fernández et al. (2010), por el área mojada se clasifica en:

- **Aspersores circulares:** Son aquellos que mojan una superficie de terreno de forma circular. Son de este tipo los que se colocan en el interior de la parcela a regar.
- **Aspersores sectoriales:** Son aquellos que tienen la opción de girar sólo en un sector circular en lugar de realizar el círculo completo. Están indicados especialmente en los bordes de las parcelas donde es preciso regar esquinas y laterales.

Para Ortega (1994), la presión de funcionamiento, expresada en unidades m.c.a (metros de columna de agua), los aspersores se clasifican de la siguiente forma:

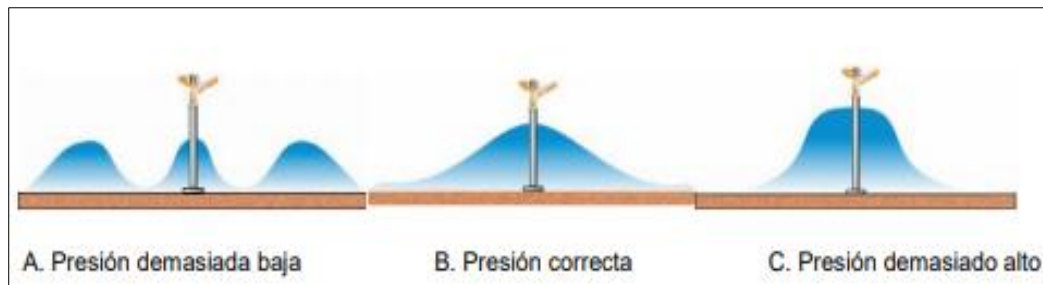


- **Baja presión:** Funcionan con presiones inferiores a 20 m.c.a. Utilizan caudales inferiores a 0.3 L/s, y su radio de mojadura es menor a 9 m. Producen un riego uniforme, aún en el caso de vientos de cierta consideración. Se utilizan en jardinería, hortalizas, riego de frutales por debajo de la copa de los árboles y riegos de protección de heladas.
- **Media presión:** Funcionan con presiones comprendidas entre 20 y 45 m.c.a. Los caudales utilizados con estos aspersores varían entre 0.3 y 1.5 L/s, y su radio de mojadura fluctúa entre 10 y 20 m. Producen riegos uniformes y se utilizan en una gran variedad de suelos y cultivos.
- **Alta presión:** Funcionan con presiones superiores a 45 m.c.a, y arrojan un caudal superior a 1.5 L/s, con radios de mojadura entre 30 y 75 m. Dentro de esta categoría se sitúan los cañones de riego, los cuales tienen el inconveniente de su alto costo en la inversión inicial como en su funcionamiento. La distribución del agua se ve muy afectada por el viento y producen gotas muy gruesas que perjudican con su impacto a determinados suelos y cultivos.

**Tabla 2:** Clasificación de los aspersores según rangos de presión operativa.

CATEGORÍA	PRESIÓN	APLICACIÓN
Baja	< 2	Microemisores
		Mini-aspersores
		Aspersores turbo
Mediana	2 a 5	Aspersores de impacto
Alta	> 5	Aspersores gigantes (cañones)

**Fuente:** Riego por aspersión (Sapir y Sneh, 2005).



**Figura 1:** Distribución del agua según la presión de trabajo de los aspersores.

**Fuente:** El riego y sus tecnologías (Santos Pereira et al., 2010).

### 2.5.2. Mini cañones de riego

Estos son aspersores de impacto, fabricados en bronce y dotados de 2 ó 3 boquillas. Operan a alta presión (4-8 bar) y su descarga varía entre 6 y 250 m<sup>3</sup>/h. Se los emplea para el riego de cereales, forrajes y pastizales ya sea como aspersores únicos, en posiciones fijas, sobre laterales de traslado manual, o montados sobre máquinas regadoras (Sapir y Sneh, 2005).

El diseño del equipo por aspersión para alguna situación en particular, debe ser el adecuado de modo que cumpla con las exigencias del cultivo en la época de mayor demanda de agua. Si el equipo destinado es demasiado pequeño, no alcanzará a regar la superficie total del predio; en caso contrario, si el equipo es muy grande (sobredimensionado), se está gastando un capital innecesario (Varas & Sandoval, 1989).

Se denomina cañones a los grandes aspersores rotativos que funcionan con alta, o muy baja presión, para regar grandes superficies. Su uso se ha generalizado debido a su relativo bajo costo y a sus reducidas necesidades de mano de obra. No obstante, normalmente, tiene un consumo de energía, y su correspondiente costo, muy elevado, excepto los que funcionan a baja presión (Santos et al., 2010).



**Figura 2:** Aspersores gran cañón, que trabajan con presiones de 45 – 100 PSI.

**Fuente:** Aspersores Sime de Plastigama (2018).

Los cañones podrán ser utilizados de modo semejante a los otros aspersores en los sistemas de aspersión estacionario, móvil o de cobertura total. Recientemente, están apareciendo cañones pequeños que trabajan entre 200 y 300 kPa, con un caudal de descarga entre 3 y 25 m<sup>3</sup>/h y alcances, entre 15 y 30 metros (Santos et al., 2010).



**Figura 3:** Mini cañones de riego Sime Jolly, de círculo completo con presiones de trabajo de 25 a 70 PSI.

**Fuente:** Aspersores Sime de Plastigama (2018).

Los mini cañones de riego pueden contar con una o doble boquilla, al igual que el tornillo difusor principal, secundario que ajusta y permite la ruptura del chorro de agua para una excelente precipitación y distribución del agua.

### 2.5.3. Presión de trabajo

Una forma muy práctica de medir la presión con la que el agua sale por los aspersores es colocando un manómetro en la boquilla o boquillas. La lectura del manómetro indicará si el aspersor está funcionando a la presión adecuada y, en consecuencia, está aplicando el agua según lo deseado (Fernández et al., 2010).

La presión de trabajo de los aspersores debe ser la adecuada y corresponde a la señalada en las especificaciones dadas por el fabricante. Si la presión de trabajo es baja, entonces el tamaño de la gota de agua es mayor, por lo que se altera la distribución de agua en el suelo. Por el contrario, si la presión de trabajo es mayor a la indicada por el fabricante, la gota se hace muy pequeña, nebulizándose perdiendo el radio óptimo de mojadura (Varas y Sandoval, 1989).

**Tabla 3:** Diferentes unidades para poder medir la presión y sus equivalentes.

UNIDADES DE PRESION		
Unidad	Símbolo	Equivalencias
Bar	bar	1 bar = 14.50 psi
		1 bar = 100 kPa
		1 bar = 10197 kgf/m <sup>2</sup>
		1 bar = 10 <sup>5</sup> Pa
		1 bar = 750 mmHg
		1 bar = 0.987 atm
Milimetro de mercurio	mmHg	1 mmHg = 0.0013 bar
Pascal	Pa	1 Pa = 1 N/m <sup>2</sup>
Atmósfera	atm	1 atm = 1 kgf/cm <sup>2</sup>

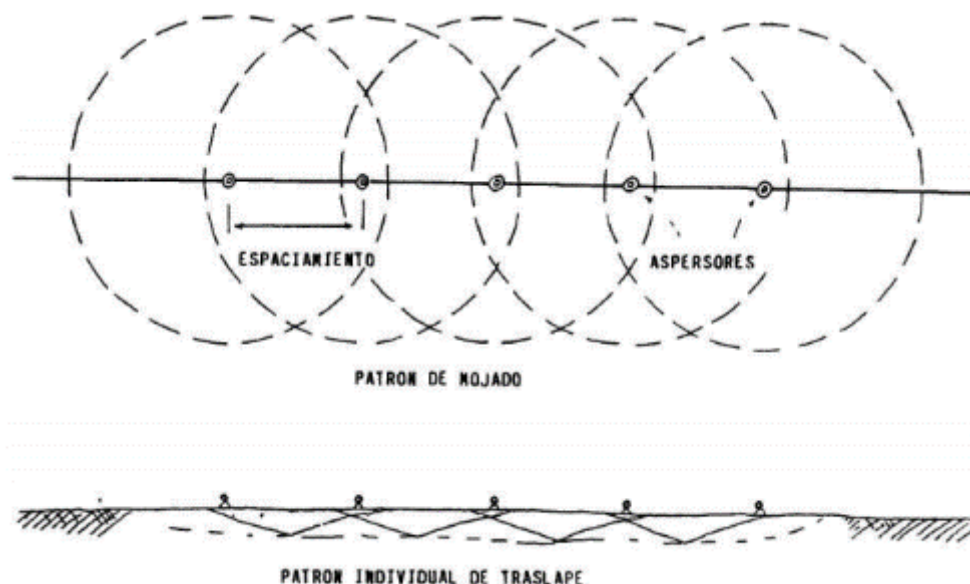
### 2.6. ESPACIAMIENTO ENTRE ASPERSORES

Para lograr una mayor uniformidad de aplicación de la lluvia provocada por los aspersores es necesario que exista un solape de las superficies regadas por los aspersores cercanos entre sí. Por esta razón, la elección del marco de riego es fundamental. Los

marcos de riego más habituales son: marco cuadrado o real, en rectángulo y en triángulo o tresbolillo (Poma, 2014).

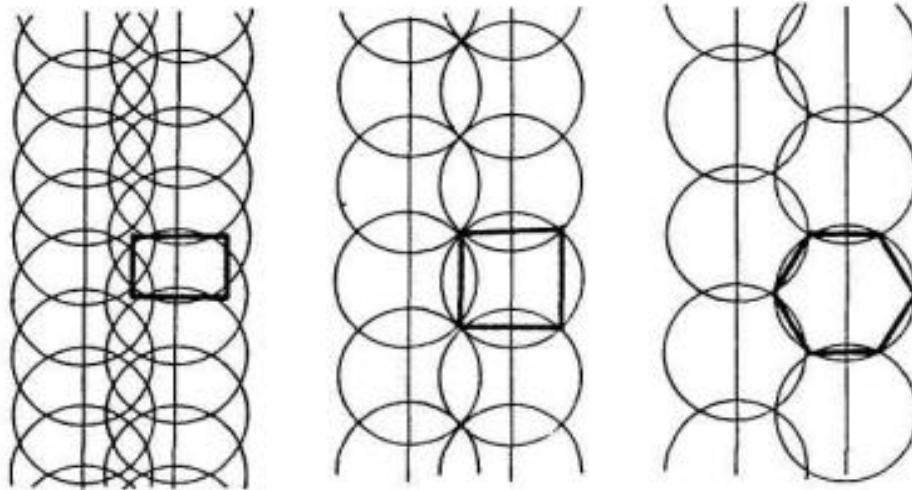
Los marcos normalmente adoptados como separación entre aspersores dentro del ramal y entre ramales suelen ser: 12 x 12, 12 x 15, 12 x 18, 15 x 15 y 18 x 18 en rectángulo y 18 x 15 en triángulo, medidos todos ellos en metros. En general son múltiplos de 6 metros para sistemas con tuberías en superficie, y pueden tomar cualquier valor si se trata de tuberías enterradas (Tarjuelo, 2005).

El patrón de humedecimiento de los aspersores varía con la distancia, ya que la mayor cantidad de agua cae cerca del aspersor y va disminuyendo en la medida que se aleja de éste. Por este motivo, los aspersores deben traslaparse en un porcentaje de su radio para aplicar en forma uniforme la lámina de agua, lo cual también está relacionado con las condiciones de viento de la zona, ya que éste modifica la distribución del agua (Ortega, 1994).



**Figura 4:** Traslape entre aspersores y humedecimiento del perfil del suelo.

**Fuente:** Selección y manejo de equipos de riego por aspersión (Ortega, 1994).



**Figura 5:** Tipos de ordenamiento de aspersores.

**Fuente:** Selección y manejo de equipos de riego por aspersión (Ortega, 1994).

### 2.6.1. Espaciamiento y la velocidad de viento

Según Tarjuelo (2005), el espaciamiento entre aspersores es uno de los aspectos fundamentales en el diseño del sistema. Heerman y Kohl (1980) recomiendan separaciones del 60 % del diámetro efectivo del aspersor para marcos en cuadrado o en triángulo y el 40 % y 75 % para marcos en rectángulo, siempre que se trate de vientos menores de 2 m/s. Este espaciamiento debe reducirse al aumentar la velocidad del viento según los siguientes valores orientativos:

**Tabla 5:** Reducción del % de solapamiento en relación a la velocidad de viento.

% de reducción de solapamiento	Velocidad viento (m/s)
10 - 12	4 - 6
18 - 20	8 - 9
25 - 30	10 - 11

**Fuente:** El riego por aspersión (Tarjuelo, 2005).

El efecto del viento se compensa disminuyendo la separación entre aspersores, pero implica un mayor número de ellos en el sistema (Ortega, 1994).

**Tabla 6:** Separación entre aspersores para diferentes velocidades de viento.

Viento (Km/hr)	Espaciamiento	
	Estre aspersores	Entre laterales
Menor a 10	40 % del diámetro de mojado	65 % del diámetro de mojado
De 10 a 15	40 % del diámetro de mojado	60 % del diámetro de mojado
Mayor a 15	30 % del diámetro de mojado	50 % del diámetro de mojado

**Fuente:** Agricultura Irrigation Equipmente (RAIN BIRD, 1990) y (Ortega, 1994).

## 2.7. PLUVIOMETRÍA DEL ASPERSOR

Conocido también como intensidad de lluvia la cual se refiere al agua que descarga el aspersor en la unidad de tiempo. La misma que se determina en función a la posición de avance del aspersor. La pluviometría del aspersor sirve para determinar el tiempo de riego. El cual no debe exceder a la capacidad de infiltración del suelo, caso contrario producirá escorrentía (Poma, 2014).

La pluviometría se obtendría si se distribuyera uniformemente el caudal emitido por el aspersor en la superficie que teóricamente riega, de acuerdo con el marco adoptado. Este es el parámetro que más frecuentemente se utiliza en la práctica para definir la intensidad de lluvia (Tarjuelo, 2005).

Es la cantidad de agua que un sistema de riego aplica por unidad de superficie. La velocidad de aplicación o pluviometría se expresa en mm/h, que es lo mismo que L/m<sup>2</sup>.hora (Alejos, 2018).



El proceso de distribución del agua aplicada por cada aspersor no es uniforme en toda la superficie regada por él, sino que la cantidad de agua que cae en cada sitio varía en función de la distancia al aspersor. En general, la zona más próxima al aspersor recibe más cantidad de agua, disminuyendo a medida que aumenta la distancia. Cada tipo de aspersor origina una distribución del agua que depende principalmente del tamaño de la boquilla, de la dispersión del chorro del agua, de la presión de trabajo y de las condiciones de viento. La presión afecta de tal manera que cuando es demasiado baja, las gotas son demasiadas grandes y la distribución es muy poco uniforme. Cuando la presión es demasiado alta, el agua se pulveriza en gotas muy finas y caen muy cerca del aspersor (Fernández et al., 2010).

## **2.8. INDICADORES DE UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCIÓN**

Las “rociadas” emitidas por cada aspersor deben distribuirse de forma que el impacto de las gotas y la intensidad de lluvia no perjudiquen las condiciones físicas del cultivo o del suelo, logrando la máxima uniformidad posible (Tarjuelo, 2005).

Para evaluar la calidad del riego a partir del análisis de distribución de agua en el suelo, se realizan ajustes a partir de los resultados de diferentes fórmulas y/o modelamientos matemáticos que permiten la visualización del mayor porcentaje de agua mantenga uniformidad en su distribución.

### **2.8.1. Coeficiente de uniformidad de Christiansen**

Otro parámetro que es ampliamente usado para evaluar la uniformidad de riego por aspersión es el coeficiente de uniformidad desarrollado por Christiansen (1942).



Para Luque (1969), la uniformidad, es una medida de la igualdad con que el agua es repartida en un área de riego. Considerando que un sistema de riego nunca alcanza una uniformidad de 100%, el termino uniformidad, en realidad se refiere a la variación o des uniformidad con que se reparte el agua (como se citó en Durand, 2017).

Una forma de medir la uniformidad de un riego por aspersión, es a través del Coeficiente de Uniformidad de Christiansen, que se refiere al reparto más o menos uniforme del agua infiltrada, expresado mediante un valor porcentual.

Para Christiansen (1942), comparar los patrones de rociadores y determinar cuán diversos los espaciamientos afectan la distribución resultante del agua, se necesita un valor numérico de expresión que sirva como índice de la uniformidad asegurada. Para ello se adoptó una expresión denominada coeficiente de uniformidad (Cu). [...], expresado como porcentaje está definido por la ecuación:

$$CU(\%) = 100 \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - m|}{n * m} \right] \quad (1)$$

Donde:

CU: Coeficiente de uniformidad (%).

$X_i$  : Altura de agua medida en cada uno de recipientes de parcela.

$m$  : Media de la altura de agua de todos los recipientes.

$n$  : Número total de recipientes.

### **2.8.2. Uniformidad de distribución**

Para Domínguez (1971), el riego por aspersión es el de mayor uniformidad entre algunos sistemas de riego, nunca se consigue que el agua quede uniformemente



repartida como ocurre con la lluvia a la cual se asemeja (como se citó en Álvarez et al., 1994).

De acuerdo a Delgadillo et. al. (2011), determina que un término útil para poner un valor numérico de la uniformidad de aplicación para sistemas de riego agrícolas es la uniformidad de distribución, DU (Merriam y Keller, 1978). Es la proporción entre la lámina promedio de agua de riego infiltrada (o recogida) en el cuarto inferior y la lámina promedio de agua de riego infiltrada (o recogida), expresado como un porcentaje (como se citó en Poma 2014).

Según Merriam y Keller (1978), la uniformidad por superficie de sistema de riego se puede evaluar también con este coeficiente, definido como la media de la altura de agua del cuartil inferior, es decir, la altura de agua del 25% de los recipientes que menos agua reciben en un muestreo, dividida por la media de la altura de agua de la parcela muestreada), se define como:

$$DU = 100 \left[ \frac{X_{1q}}{X_m} \right] \quad (2)$$

Donde:

DU: Uniformidad de distribución (%).

X<sub>1q</sub>: Altura de agua medida en el cuartil inferior.

X<sub>m</sub>: Media de la altura de agua de todos los recipientes.

**Tabla 7:** Valores aceptados de CUC y UD y su clasificación en función de la calidad de la distribución.

CLASIFICACIÓN	CUC (%)	DU (%)
Excelente	> 90	> 85
Buena	80 - 90	80 - 85
Regular	70 - 80	75 - 80
Pobre	< 70	< 70

**Fuente:** Farm Irrigation System Evaluation: A Guide for Management.  
(Merriam y Keller, 1978).

Según Serrano (2014), señala que la altura media de agua infiltrada en el 25% del área menos regada se calcula como la media del 25% de los valores más bajos de lámina de agua infiltrada. Este es un buen estimador de la uniformidad e importante en aplicaciones prácticas, porque requiere de menos puntos de observación que el CU (Poma, 2014).

Así, para cultivos de valor medio o alto, tiende a que la altura media de agua aplicada (dosis neta), de un riego correcto, debe ser igual al "Déficit permisible de manejo (DPM)", de tal manera que coincida con la media del 25% del área menos regada. De esta forma, solo el 12.5% del área estará infra regada. Para los cultivos de menor valor económico, así como los forrajes, la dosis neta se suele hacer coincidir con la media del 50% del área menos regada, en cuyo caso el 25% del área quedará infra regada (De La Cruz, 2015).

### 2.8.3. Diferencia entre UD y CU

Para Wenting y Pute (2011), la uniformidad de la aplicación del agua es un criterio de rendimiento importante para el diseño y la evaluación de los sistemas de



riego por aspersión. El coeficiente de uniformidad de Christiansen expresado como porcentaje, se basa en la desviación absoluta de las cantidades individuales de la cantidad promedio. Otro parámetro que también se usa ampliamente es la uniformidad de distribución. El DU se define como la relación entre la profundidad promedio capturada en el trimestre del campo que recibe la menor cantidad, dividida por la profundidad promedio capturada en todo el campo, y multiplicada por 100 para expresar esto como un porcentaje. La magnitud del coeficiente de uniformidad (CU) suele ser mayor que la del DU, pero esto no es el caso para todos los conjuntos de datos (Alejos, 2018).

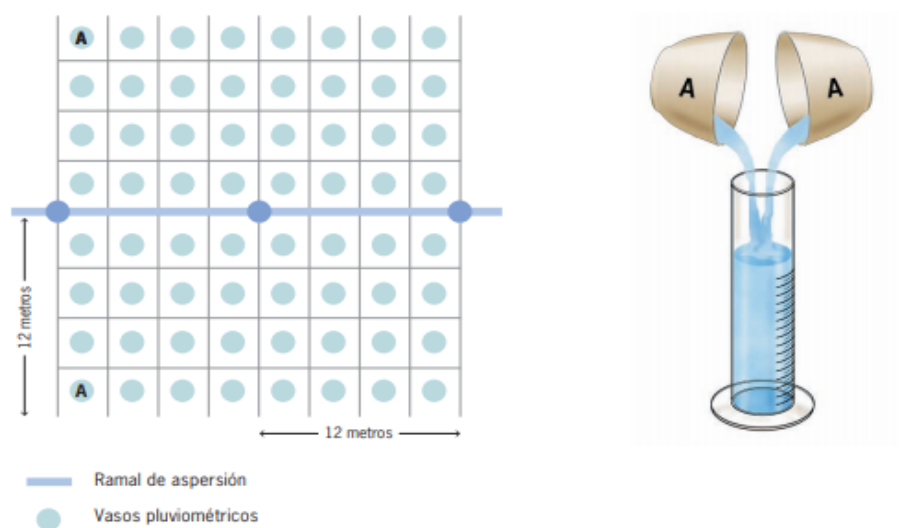
## **2.9. DETERMINACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DEL AGUA POR LOS ASPERSORES**

Se basan en la medición de la pluviometría puntual dentro del área cubierta por uno o más aspersores. Es importante que el aspersor seleccionado para el ensayo sea representativo del modelo seleccionado y que el ensayo se realice con un número suficiente de réplicas. Es de desear que esta prueba se lleve a cabo en condiciones similares a las que rigen en el campo, mas no con vientos fuertes ni durante las horas más calurosas del día, que siempre se han de evitar (Durand, 2017).

### **2.9.1. Ensayo de línea lateral unitaria**

Según Eljanani (1974), una línea lateral unitaria es operada a una presión de trabajo determinada y cierto espaciamiento uniforme de aspersores a lo largo de la línea. Se registran la velocidad y dirección del viento y la velocidad de rotación del aspersor. La descarga debe medirse de forma separada. Por lo general será suficiente usar cuatro aspersores siempre que el radio cubierto por cada aspersor no exceda de  $2 S_a$  ( $S_a$  = distancia entre aspersores a lo largo de la línea lateral), o que a raíz del

viento, el riego no exceda de 2 (SI en dirección paralela a la línea). Este método es el que más se asimila a las verdaderas condiciones de riego, pues generalmente no son operadas dos líneas laterales adyacentes en forma simultánea. El ensayo muestra la distribución real a cada lado de la línea lateral, como también permite calcular la uniformidad de aplicación para cualquier distancia entre líneas laterales en base a la existente entre los aspersores de la línea bajo ensayo. La prueba debe durar 2 horas como mínimo (Durand, 2017).



**Figura 6:** Ensayo de línea unitaria de las unidades de riego.

**Fuente:** Manual para Agricultores. Módulo 3: Riego por aspersión (Fernández et al., 2010).

## 2.10. FACTORES QUE AFECTAN LA UNIFORME DISTRIBUCIÓN DEL AGUA

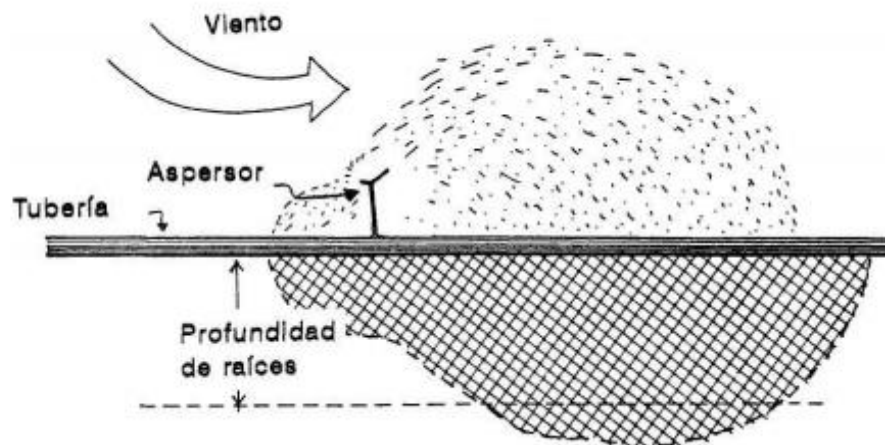
El patrón de distribución de agua de los sistemas de aspersión se ve afectado por factores que dependen del diseño (como el marco de aspersión o el diámetro de las boquillas), del manejo (como la presión o la duración del riego) o de la meteorología (como la velocidad y dirección del viento), y las características climáticas adversas.

Para Christiansen (1942), “el grado de uniformidad se puede obtener dependiendo principalmente del tipo de patrón de distribución producido sobre el espacio de los rociadores. Numeroso otros factores como el viento, la presión y la uniformidad de rotación del rociador, afectan la distribución”.

### 2.10.1. Acción del viento

El viento es uno de los factores más condicionantes del riego por aspersión. Las gotas de lluvia que simula el método son arrastradas fácilmente por éste, lo que impide un mojado parejo. En estos casos, se recomienda regar en horas de menor o ausencia total del viento, incluyendo el riego nocturno, para lo cual se deben dejar instaladas las tuberías laterales durante las horas de luz (Ortega, 1994).

El viento distorsiona los modelos de precipitación y, consecuentemente, afecta a la uniformidad de distribución. (Santos et al., 2010).



**Figura 7:** Efecto del viento en la alteración del patrón de humedecimiento del perfil del suelo.

**Fuente:** Selección y manejo de equipos de riego por aspersión (Ortega, 1994).

El viento afecta empeorando la aplicación del agua por los aspersores y disminuye con ello la uniformidad de aplicación. Igualmente, cuanto mayor sea el viento mayor serán las pérdidas por evaporación y arrastre de las gotas de agua. Por todo ello, el viento es un factor que afecta negativamente al riego por aspersión (Fernández et al., 2010).

**Tabla 8:** Categorías de velocidad de viento.

CATEGORÍA	VELOCIDAD DE VIENTO (m/s)
Sin viento	0 a 1.0
Vientos medianos	1.0 a 2.5
Vientos fuertes	2.5 a 4.0
Vientos muy fuertes	Superiores a 4.0 (*)

**Fuente:** Riego por aspersión. Sapir, E., y Sneh. M. (2005).

### 2.10.2. Pérdidas por evapotranspiración

Sobre el 90% del agua que absorbe la planta vuelve a la atmosfera por la transpiración y respiración de las hojas. A mayor desarrollo de los cultivos las plantas necesitan mayor cantidad de agua. El agua que necesitan los cultivos corresponde al agua que se evapora desde el suelo y el agua que transpira las plantas; a este conjunto se le llama evapotranspiración (Varas y Sandoval, 1991).

Definen (Heermann et al., 1980; Edling, 1986; Silva y James, 1988), la determinación de las pérdidas por evaporación y arrastre durante el riego por aspersión es compleja, al estar éstas afectadas por una gran cantidad de variables (como se citó en Dechmi, 2002).



### **2.10.3. Temperatura**

Según Varas y Sandoval (1991), “en los días calurosos las plantas transpiran más y los riegos deben ser más frecuentes”.

### **2.10.4. Humedad relativa**

Para Varas y Sandoval (1991), “mientras más seco es el aire las plantas pierden más agua y los riegos deben ser más frecuentes”.

Los días con temperaturas altas, vientos fuertes y aire seco, provocan mayores pérdidas de agua desde el suelo y mayor consumo por las plantas, por lo que los riegos deben ser más frecuentes. Al contrario, los riegos deben ser más distanciados si los días son más frescos, con vientos suaves, temperaturas más bajas y aire húmedo (Varas y Sandoval, 1991).



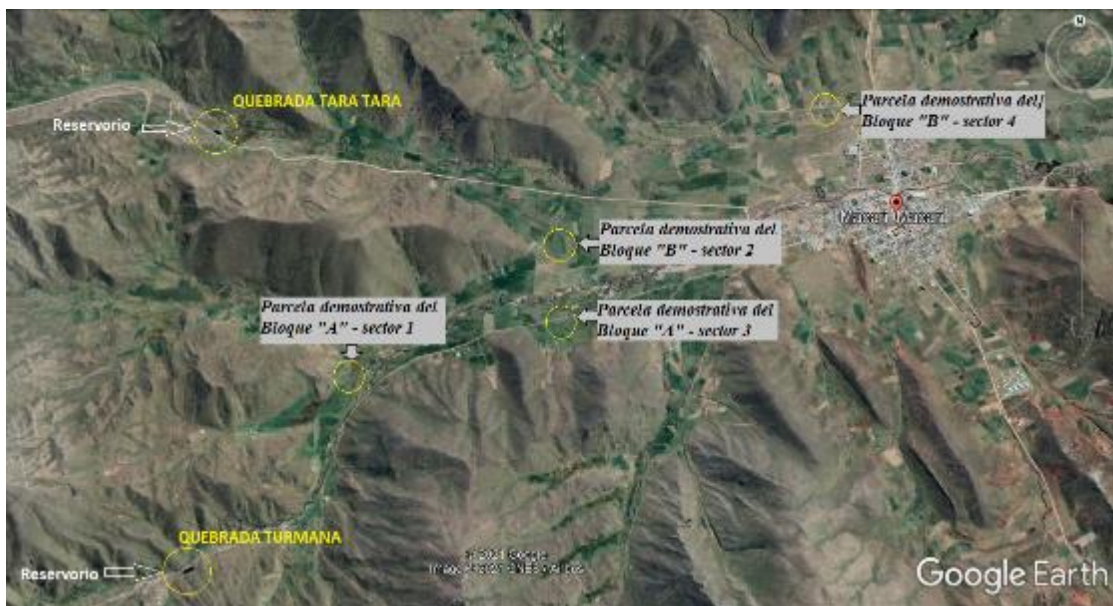
## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

##### 3.1.1. Ubicación política y geográfica

El estudio se realizó en la comunidad de Macarí, distrito de Macarí ubicada en la parte sur - oeste de la provincia de Melgar y región Puno, se ubica entre las coordenadas  $14^{\circ} 46' 06''$  de latitud sur y  $70^{\circ} 54' 03$  de longitud oeste del meridiano de Greenwich, a una altura que va desde los 3900 a 46400 m.s.n.m. con una inclinación de sentido sur-este en la dirección que discurre las aguas del río Turmaná.



**Figura 8:** Zona de estudio e identificación de las parcelas demostrativas.

**Fuente:** Google Earth.

### 3.1.2. Límites territoriales

Según la división política, el distrito de Macarí tiene demarcaciones territorial, colindante con las comunidades, por el Norte Selque, por el Sur Jatun Sayna, por el Este Huamanruro y por el Oeste Bajo Collana y Jatun Sayna.

### 3.1.3. Vías de comunicación para la zona del proyecto

En la Tabla 9, se presenta un resumen de las vías de comunicación y acceso al distrito de Macarí, existe una frecuencia diaria por día de vehículos.

**Tabla 9:** Vía de acceso terrestre al proyecto desde la ciudad de Puno.

DE	A	DISTANCIA (kilometros)	TIEMPO (horas)	TIPO VIA	TRANSPORTE
Puno	Juliaca	44	0.45	Asfaltada	Vehículo Motorizado
Juliaca	Ayaviri	96	1.5	Asfaltada	Vehículo Motorizado
Ayaviri	Chuqui_ bambilla	20	0.3	Asfaltada	Vehículo Motorizado
Chuqui_ bambilla	Macarí	19	0.45	Afirmada	Vehículo Motorizado

## 3.2. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA

### 3.2.1. Población beneficiada por el sistema de riego

En cuanto a los beneficiarios por el proyecto de riego por aspersión se tiene a 80 beneficiarios directos, con una superficie de tierras bajo riego de 150.00 hectáreas.

### 3.2.2. Clima

La información disponible sobre aspectos climáticos proviene del Administrador Local del Agua y están referidos a estadísticas de las estaciones



climatológicas cercanas a la zona de estudio, estaciones de Ayaviri tipo CO, Llally tipo CO y Chuquibambilla de tipo CP. En un récord de los años 1964 al 2011 (Ver Anexo 6).

La precipitación total anual promedio en la estación Ayaviri (3928 msnm) alcanza los 101.8 mm, mientras que en la estación Llally (3980 msnm) presenta 123.3 mm y en la estación Chuquibambilla (3971 msnm) es de 108.2 mm.

La mayor temperatura anual promedio registrada en el área en las estaciones Ayaviri, Llally y Chuquibambilla alcanzan los 16.5°C, 15.7°C y 16.3°C respectivamente. Mientras las temperaturas bajas con las siguientes -0.7°C, -1.0°C y -2.4°C, y las medias 7.9°C, 7.5°C y 6.9°C, en las estaciones Ayaviri, Llally y Chuquibambilla como corresponde.

La estación Ayaviri registra la mayor humedad relativa, se observa en el mes de febrero con 66 %, la menor se observa en julio con 43% presentando una media anual de 53.7 %. Mientras la estación Llally registra la mayor humedad relativa, en el mes de febrero-marzo con 66 %, la menor se observa en agosto con 44% presentando una media anual de 53.0 %. Y se tiene la estación Chuquibambilla en donde la mayor humedad relativa, es en el mes de febrero con 68 %, la menor se observa en agosto con 49%, presentando una media anual de 57.9 %.

La evapotranspiración anual promedio de la estación Ayaviri es 3.5 mm, mientras la estación Llally registra datos de 4.4 mm y 4.3 mm en el área de la estación Chuquibambilla.

La velocidad de viento oscila entre 2.0 m/s – 6.6 m/s, con una dirección de NW como predominante registrada en la estación Ayaviri, de 6.6 m/s – 10.2 m/s son

registros de la estación Llally y en la estación Chuquibambilla se observa un rango de 1.7 m/s – 2.4 m/s de velocidad de viento con una dirección de W predominante durante 9 meses del año y del N – NW en los meses restante.

### 3.2.3. Recurso hídrico

En la zona de estudio existen dos fuentes de agua provenientes de las quebradas Turmana y Tara Tara, ambos cuentan con un sistema de conducción y distribución independiente para cada tipo de fuente de agua, es decir el área de proyecto está dividido en dos (02) Bloques de riego el tipo “A”, cuya fuente de agua es la quebrada del Turmana y el Bloque tipo “B”, cuya fuente de agua es la quebrada del Tara Tara.

### 3.2.4. Topografía

La topografía del distrito es accidentada, sin embargo la zona de las áreas de cultivos presentan de 0 hasta 2% de desnivel topográfico.



**Figura 9:** Vista de las parcelas bajo riego.



### 3.2.5. Descripción del sistema de riego actual

El sistema de riego por aspersión con mini cañones fue instalado durante el año 2010 por el Programa Subsectorial de Irrigaciones (PSI), donde se tiene dos fuentes de agua, de las quebradas Turmana y Tara Tara, con sus bocatomas de captación correspondiente. Luego de ser captadas las aguas son derivadas a sus reservorios respectivos. El reservorio de la quebrada del río Turmana, tiene una capacidad de almacenamiento útil de 1944 metros cúbicos. El reservorio de la quebrada del río Tara Tara, tiene una capacidad de almacenamiento útil de 1296 metros cúbicos. Estos reservorios tienen una profundidad de 3.50 metros (Borde libre 0.50 m); revestidos de Geomembrana de PVC.

La red troncal como las redes secundarias está instalada a un costado de los caminos perimetrales de los sectores de los bloques A y B (Ver Anexo 1). Desde la Bocatoma de captación de la quebrada Turmana se tiene una red de conducción de 110 metros, asimismo la captación de la quebrada Tara Tara cuenta con una red de conducción de 228 metros.

Las redes terciarias estarán conformadas por las tuberías portalaterales en el interior de los sectores de riego y en el cual se fijarán los hidrantes, son del tipo de unión flexible y de clase 5, 7.5 y 10, basadas en la norma ISO con diámetros de 110, 90 y 63mm.

El sistema cuenta con obras de arte que cumplen funciones indispensables.

- **Cámara rompe presión:** Tiene por función disipar la energía y por ende regular la presión a lo largo de la línea de conducción



- **Cajas de seguridad:** Estas cajas son simples cámaras para proteger la válvula y conexiones y accesorios de la red troncal y redes secundarias.
- **Dados de anclaje:** Las líneas de tuberías de presión están sometidas a constantes esfuerzos o empujes que tienden a desacoplarlas. En general estos empujes se presentan cuando la línea de la tubería cambie de dirección, reduce el diámetro y en los extremos cerrados.



**Figura 10:** Captación de agua la quebrada Turmana.



**Figura 11:** Almacenamiento de agua de la quebrada Turmana

La red de distribución es conformada por los siguientes componentes:

- Líneas terciarias. Su función es conducir el agua hasta los hidrantes. Han sido trazadas y diseñadas de acuerdo a la planificación hidráulica de cada una de las parcelas. Están conformadas por tubería de PVC de diámetros que van desde 110 mm, 90 mm y 63 mm UF-C-5, C-7.5 y C-10.
- Hidrantes 2". Los hidrantes de riego tienen una operación manual y está conformado por una válvula de asiento angular de polipropileno Ø 2", el cual cumple con el requerimiento del caudal del sector de riego; su función es regular y la apertura y cierre del flujo en la línea de riego.



**Figura 12:** Hidrante de riego de operación manual.

- Laterales de riego. Dentro de las unidades de riego (predios) se encuentran los laterales de riego conformado por una tubería de PE de 63 mm, clase 6.0 en la cual se colocarán los cañones de riego sobre un trípode metálico de Ø 1 ½", con un distanciamiento entre cañones de riego de 25 metros y de laterales de 25 metros respectivamente.



**Figura 13:** Lateral de riego, de tubería PE de 63mm.

- Aspersor de riego. El tipo de emisor usado en el proyecto es mini cañón de riego de la serie SIME JOLLY con conexión rosca hembra de 1 ¼ pulgadas con doble boquilla (10.0 mm x 4.0 mm) intercambiable, tiene una aleta integral de direccionamiento del chorro de agua para un máximo alcance, este aspersor trabajara a una presión mínima de funcionamiento de 2 bar., este emisor tiene un funcionamiento circular completo o parcial emitiendo un caudal de 106 LPM (6.36 m<sup>3</sup>/h), el cual nos permite obtener un diámetro de humedecimiento de 19 m.



**Figura 14:** Aspersor de riego con conexión rosca hembra de 1 ¼" con doble boquilla (10.0 mm x 4.0 mm).





### **3.3. EQUIPOS Y MATERIALES UTILIZADOS EN EL PROYECTO**

#### **3.3.1. Equipos**

- Anemómetro portátil
- Manómetro de glicerina
- GPS
- Cronómetro de precisión
- Cámara fotográfica.

#### **3.3.2. Materiales de campo**

- Probeta graduada.
- Cinta métrica de 50 metros.
- 256 vasos pluviométricos, de forma cilíndrica y tamaño uniforme.
- Manguera flexible de 2 cm de diámetro y 2.0 m de longitud.
- Balde de plástico graduado en 15 litros.
- Libreta de campo

#### **3.3.3. Materiales de escritorio**

- Documentos técnicos del proyecto.
- Esquema del sistema de riego por aspersión.
- Formatos y planillas del CUC y DU.
- Laptop
- Calculadora
- Hojas de cálculo de Christiansen



### **3.4. METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTO APLICADO**

La investigación se realizó en las instalaciones de riego por aspersión, en los bloques de riego A y B sectores 1-3; 2-4 respectivamente, ubicados en la comunidad campesina de Macarí durante el mes de octubre en tres distintos horarios del día. En donde el método de investigación aplicado es el descriptivo correlativo, es un método que describe y predice como se relaciona naturalmente las variables en el mundo real.

#### **3.4.1. Etapa pre-campo**

##### **3.4.1.1. Análisis del esquema hidráulico del sistema de riego por aspersión.**

Se revisó el expediente técnico de la ejecución del proyecto de la comunidad de Macarí, en donde se pudo observar las fuentes del recurso hídrico, ubicación de los bloques de parcelas (ver anexo 2), logrando identificadas los puntos de interés para realizar las pruebas de pluviometría. Luego se realizó un recorrido por las parcelas evaluando la ubicación y solicitando el permiso a los usuarios.

##### **3.4.1.2. Obtención de datos climáticos.**

Para poder tener referencia de los datos climáticos, recurrimos a los datos registrados por el SENAMHI de un récord de los años 1964 a 2011. Considerando las estaciones meteorológicas (Ayaviri, Llally y Chuquibambilla) más cercanas a la comunidad de Macarí, del cual se tuvo referencias de los datos registrados de dirección de viento, velocidad de viento, temperatura, humedad relativa, precipitaciones; sin embargo también se consideró la obtención de datos de viento in situ mediante el uso de un anemómetro portátil para poder evaluar la humedad relativa, temperatura y velocidad de viento en tres distintos horarios

(5:30 – 6:30, 12:00 – 14:00 y 16:00 – 18:00 horas). En donde se logró verificar los cambios drásticos y la incidencia de los mismos en las pruebas de pluviometría.

### 3.4.2. Etapa de campo

#### 3.4.2.1. Determinar la presión, descarga, pluviometría y características de los aspersores

Para poder realizar las pruebas de campo en la recolección de láminas de agua (ml), distribuidas por los emisores, se tuvo que identificar tipo de aspersor, cantidad de boquillas, altura de porta aspersor para poder determinar lo siguiente:

- **Características de los aspersores**, los emisores de riego estas seleccionados en catálogos como mini cañones de riego cuenta con dos boquillas de diámetros (10mm - 4mm), cuenta cada boquilla con pulverizadores, sectorizados y la altura de los elevadores (1.80 m). Se verificaron las especificaciones técnicas de los aspersores instalados según proyecto, y los aspersores que se tiene actualmente operando son los propuestos por el proyecto.



**Figura 15:** Aspersor mini- cañón, instalados a nivel de todas parcelas.

- **Determinación de la presión de operación de los mini-cañones de riego (bar)**, la presión se midió a 05 minutos antes de empezar la evaluación de pluviometría, para poder tener una correcta lectura del mismo al estabilizarse las presiones en los tres aspersores, después de abrir completamente la válvula del hidrante, haciendo uso del manómetro de glicerina. La unidad de medida fue en bar y su equivalente:  
 $1 \text{ bar} = 10 \text{ m. c. a.}$  (3)



**Figura 16:** Medición de la presión.

- **Determinación de la descarga de cada mini cañón de riego (L/s)**, luego de medir la presión se procedió a calcular el caudal de cada aspersor (3 mini cañones) de la parcela, tres pruebas por aspersor para poder promediar los datos. Para medir la descarga de caudal, se hizo uso del método volumétrico que requirió de un recipiente (balde de 15 litros) para coleccionar el agua, el caudal resulta de la división de el volumen del agua recogida entre el tiempo de llenado del recipiente. Este cálculo de caudal se realizó en cada prueba, en los tres horarios establecidos.  
Se calculó el caudal con la siguiente ecuación:

$$Q = v/t \quad (4)$$

Donde:

Q = caudal (l/s)

v = volumen (l)

t = tiempo (s)

Para calcular el caudal en unidades de litros por horas:

$$\text{Caudal de aspersor} \left( \frac{l}{h} \right) = \frac{\text{volúmen recogido (l)}}{\text{tiempo de llenado (s)}} * 3\,600 \quad (5)$$

Para calcular el caudal en unidades de metro cúbico por hora:

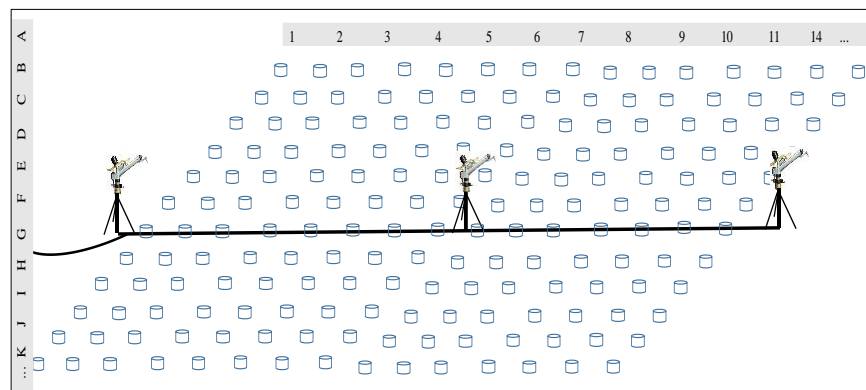
$$\text{Caudal de aspersor} \left( \frac{m^3}{h} \right) = \frac{\text{volúmen recogido (l)}}{\text{tiempo de llenado (s)}} * 3.6 \quad (6)$$



**Figura 17:** Medición de la descarga del aspersor.

- **Pruebas de pluviometría (ml)**, con el objetivo de identificar el patrón de distribución del agua del aspersor se realizaron estas pruebas, donde se utilizó una columna y fila de 16 x16 pluviómetros a una distancia de 2.5 de metros, teniendo como origen el aspersor medio (de un total de 3 aspersores en línea lateral unitaria). En cada parcela se realizó 3 pruebas en los tres horarios propuestos. La

duración de cada prueba fue de 2 horas. Durante el proceso se evaluó el correcto funcionamiento de los aspersores, como la dirección del viento, humedad relativa, temperatura con el uso del anemómetro, asimismo se midió el alcance de chorro. Y el cierre de la válvula de hidrante una vez acabada cada prueba. Al cabo de las 2 horas de prueba, se procedió a medir el volumen de agua recogida en los pluviómetros, con el uso de la probeta graduada, datos que se fueron insertando según la ubicación de cada pluviómetro a las planillas previamente elaboradas para un total de 256 lecturas.



**Figura 18:** Disposición de vasos pluviométricos



**Figura 19:** Recolección de agua distribuida por el emisor.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
A																
B																
C																
D																
E																
F																
G																
H																
I																
J																
K																
L																
M																
N																
O																
P																

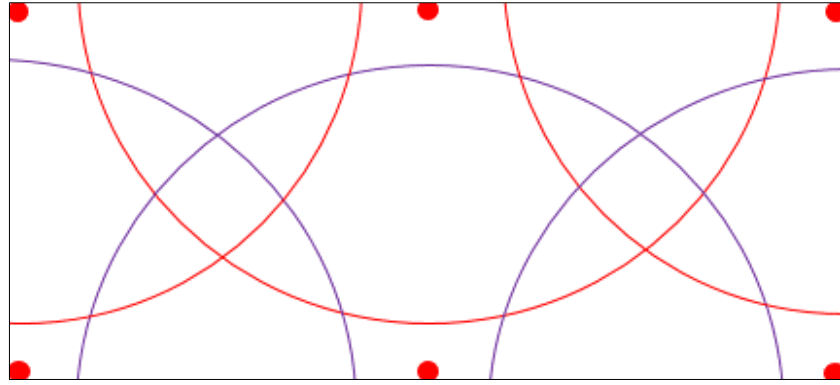
● Ubicación de aspersor

**Figura 20:** Modelo de planilla para la llenar datos de pluviometría, según el número de columnas y filas.

### 3.4.3. Etapa de gabinete

#### 3.4.3.1. Determinar el coeficiente de uniformidad y la uniformidad de distribución.

- **Coeficiente de uniformidad de Christiansen**, para el desarrollo y la determinación del coeficiente de uniformidad, se evaluó todos los datos de pluviometría, considerando un traslape y la simulación para seis aspersores tal como se muestra en la figura 20 (ver planilla de traslape en anexo 5), en un marco de riego cuadrado, reduciéndose a 128 datos pluviométricos. El cálculo realizado tuvo en consideración que el CUC igual o mayor al 80% se considera adecuado para riegos por aspersión. En este método el grado de uniformidad en la aplicación del agua durante el riego depende esencialmente del espaciamiento entre aspersores, laterales y la presión de los aspersores, siendo afectados grandemente por el viento.



**Figura 21:** Simulación de traslape para seis aspersores.

- **Uniformidad de distribución**, de los 128 datos reducidos de lecturas de agua, se define la media de la altura de agua del cuartil inferior, es decir la altura de agua de 32 recipientes que menos cantidad agua pudieron recibir, dividida por la media de la altura de agua captada del total de pluviómetros. La uniformidad en la distribución del agua aplicada en el suelo de ser baja existirá mayor riesgo de déficit de agua en algunas zonas e infiltración profunda por debajo de la raíz en otras zonas.

#### **3.4.3.2. Determinar la influencia del viento sobre la distribución del agua**

La dirección y velocidad del viento fue un factor incontrolable que afecto directamente a la distribución del agua a través de los emisores de riego, logrando arrastrar las gotas de agua fuera de la superficie de riego distorsionando la uniformidad, provocando déficit y excesos en algunas zonas. Para registrar su incidencia se obtuvieron datos a través de un anemómetro portátil digital.





**Figura 22:** Distorsión de la distribución del agua de los aspersores por acción del viento.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. CARACTERÍSTICAS DEL ASPERSOR

El tipo de aspersores instalados a nivel de todo el sistema de riego, son mini-cañones, con conexión rosca hembra de 1 ¼”, con doble boquilla (10.0 mm x 4.0 mm), con aleta integral de direccionamiento del chorro de agua para un máximo alcance de 20 metros, estos emisores tienen un funcionamiento circular completo. Cada aspersor trabaja sobre porta aspersores tipo trípode de 1.8 metros de altura.

#### 4.2. ESTIMACIÓN DE CAUDAL DEL ASPERSOR

Para la estimación del caudal se ha considerado la suma de la descarga de las dos boquillas, en metros cúbicos (m<sup>3</sup>/h).

##### 4.2.1. Caudal de aspersor del bloque A, sector 1.

Para este sector se determinaron caudales que se muestran en la Tabla 10, la descarga de los caudales oscilan entre 2.41 m<sup>3</sup>/h a 2.57 m<sup>3</sup>/h; sin embargo, los promedios por aspersores, fueron: en el 1er aspersor se obtuvo un caudal de 2.53 m<sup>3</sup>/h, 2do aspersor 2.50 m<sup>3</sup>/h y en el último aspersor se obtuvo un caudal de 2.49 m<sup>3</sup>/h.

**Tabla 10:** Caudal de cada aspersor medidas en la parcela del bloque A-1.

Caudal m <sup>3</sup> /hora	Hora de Evaluación			Promedio
	5:30 - 7:30	12:00-14:00	16:00-18:00	
1er Aspersor	2.57	2.55	2.46	2.53
2do Aspersor	2.54	2.52	2.44	2.50
3er Aspersor	2.53	2.52	2.41	2.49
PROMEDIO	2.55	2.53	2.44	2.50

#### 4.2.2. Caudal de aspersor del bloque A, sector 3.

En la Tabla 11, se muestra que los aspersores trabajan con gastos de entre 2.37 m<sup>3</sup>/h a 2.40 m<sup>3</sup>/h, en cada aspersor se realizó el cálculo de aforo durante los tres horarios diferentes, de los cuales se obtuvo los siguientes promedios, 1er aspersor 2.40 m<sup>3</sup>/h, 2do aspersor 2.38 m<sup>3</sup>/h y el último aspersor trabajó con un caudal de 2.38 m<sup>3</sup>/h.

**Tabla 11:** Caudal de cada aspersor medidos en la parcela del bloque A-3.

Caudal m <sup>3</sup> /hora	Hora de Evaluación			Promedio
	5:30 - 7:30	12:00-14:00	16:00-18:00	
1er Aspersor	2.44	2.37	2.38	2.40
2do Aspersor	2.42	2.36	2.36	2.38
3er Aspersor	2.41	2.36	2.34	2.37
PROMEDIO	2.42	2.36	2.36	2.38

#### 4.2.3. Caudal de aspersor del bloque B, sector 2.

En la Tabla 12, se observa que los caudales medidos en los tres aspersores durante tres horarios distintos se mantienen en el rango de 3.56 m<sup>3</sup>/h a 3.62 m<sup>3</sup>/h, y los promedios por aspersor son en el 1er aspersor se aforó 3.62 m<sup>3</sup>/h, 2do aspersor 3.59 m<sup>3</sup>/h y el último aspersor tuvo un caudal de 3.56 m<sup>3</sup>/h.

**Tabla 12:** Caudal de cada aspersor medidos en la parcela del bloque B-2.

Caudal m <sup>3</sup> /hora	Hora de Evaluación			Promedio
	5:30 - 7:30	12:00-14:00	16:00-18:00	
1er Aspersor	3.67	3.60	3.58	3.62
2do Aspersor	3.64	3.57	3.55	3.59
3er Aspersor	3.62	3.54	3.53	3.56
PROMEDIO	3.64	3.57	3.55	3.59

#### 4.2.4. Caudal de aspersor del bloque B, sector 4.

La Tabla 13, se muestra que los aspersores trabajan con caudales de 2.45 m<sup>3</sup>/h a 2.48 m<sup>3</sup>/h, y los promedios por aspersor durante los tres horarios distintos, se mantienen con valores como 2.48 m<sup>3</sup>/h para el 1er aspersor, 2do aspersor 2.46 m<sup>3</sup>/h y el último aspersor con un caudal de 2.45 m<sup>3</sup>/h.

**Tabla 13:** Caudal de cada aspersor medidas en la parcela del bloque B-4.

Caudal m <sup>3</sup> /hora	Hora de Evaluación			Promedio
	5:30 - 7:30	12:00-14:00	16:00-18:00	
1er Aspersor	2.54	2.43	2.47	2.48
2do Aspersor	2.52	2.42	2.45	2.46
3er Aspersor	2.51	2.41	2.43	2.45
PROMEDIO	2.52	2.42	2.45	2.46

Los caudales obtenidos de los 12 aspersores dentro de los cuatro sectores evaluados, oscilan desde 2.34 m<sup>3</sup>/h. a 3.67 m<sup>3</sup>/h. La descarga más alta se presentó en el horario de las 5:30 horas y la más baja en el horario de las 18 horas. Los caudales están en función de la presión, si la presión es mayor, el caudal se incrementa; sin embargo se tienen datos de especificaciones técnicas del tipo de aspersor, en donde indican que ante una presión de 30 PSI (2.07 bar) se tiene una descarga de 6.40 m<sup>3</sup>/h. y frente a presiones de 40 PSI (2.76 bar) el caudal de descarga incrementa a 7.81 m<sup>3</sup>/h. Es necesario mencionar que según el proyecto planteado se menciona que cada aspersor trabajaría con un caudal nominal de 6.36 m<sup>3</sup>/h. muy similar al catálogo del aspersor SIME JOLLY considerando una presión de 2 bar. En definitiva actualmente se tiene aspersores con descargas del 50 % menos que los propuestos, estos valores bajos se lo atribuimos a las pérdidas que existen actualmente en las conexiones del lateral de riego y los elevadores de los aspersores, además que algunos usuarios de

preferencia inundan sus parcelas con los laterales de riego durante todo su turno de riego, causas por el cual el caudal disminuye en ciertos sectores de riego.

#### 4.3. PRESIÓN DE TRABAJO DE ASPERSORES

La presión se midió a 05 minutos antes de empezar la evaluación de pluviometría, para poder tener una correcta lectura del mismo al estabilizarse las presiones en los tres aspersores a evaluar.

##### 4.3.1. Presión de aspersor del bloque A, sector 1.

En la Tabla 14, se puede observar las horas de evaluación que se consideraron. Las presiones de los tres aspersores evaluados varían según su ubicación. El primer y segundo aspersor mantuvieron con una presión de 2.5 bar (25 m.c.a), y el tercer aspersor 2.4 bar (24 m.c.a) de presión.

**Tabla 14:** Presiones medidas en la parcela del bloque A-1.

Presión de Aspersor/Bloque A-2	Hora de Evaluación			Promedio
	5:30 - 7:30	12:00-14:00	16:00-18:00	
1er Aspersor bar	2.50	2.50	2.50	2.50
2do Aspersor bar	2.50	2.50	2.50	2.50
3er Aspersor bar	2.40	2.40	2.40	2.40
PROMEDIO	2.47	2.47	2.47	2.47

##### 4.3.2. Presión de aspersor del bloque A, sector 3.

La presión fue tomada en los tres horarios de evaluación tal como se muestra en la Tabla 15, variando según su ubicación. La presión del primer aspersor fue de 2.5 bar (25 m.c.a); sin embargo el segundo y tercer aspersor mantuvieron una presión de 2.40 bar (24 m.c.a).

**Tabla 15:** Presiones medidas en la parcela del bloque A-3.

Presión de Aspersor		Hora de Evaluación			Promedio
		5:30 - 7:30	12:00-14:00	16:00-18:00	
1er Aspersor	bar	2.50	2.50	2.50	2.50
2do Aspersor	bar	2.40	2.40	2.40	2.40
3er Aspersor	bar	2.40	2.40	2.40	2.40
PROMEDIO		2.43	2.43	2.43	2.43

#### 4.3.3. Presión de aspersor del bloque B, sector 2.

Los tres aspersores evaluados mantuvieron una presión de 2.5 bar (25 m.c.a), tal como se muestra en la Tabla 16.

**Tabla 16:** Presiones medidas en la parcela del bloque B-2

Presión de Aspersor		Hora de Evaluación			Promedio
		5:30 - 7:30	12:00-14:00	16:00-18:00	
1er Aspersor	bar	2.50	2.50	2.50	2.50
2do Aspersor	bar	2.50	2.50	2.50	2.50
3er Aspersor	bar	2.50	2.50	2.50	2.50
PROMEDIO		2.50	2.50	2.50	2.50

#### 4.3.4. Presión de aspersor del bloque B, sector 4.

En la Tabla 17, figuran los valores obtenidos de las presiones según ubicación de aspersor y hora de evaluación, en donde el primer y segundo aspersor evaluado coincidió con una presión de 2.5 bar (25 m.c.a), mientras el tercer aspersor redujo su presión a 2.4 bar (24 m.c.a).

**Tabla 17:** Presiones medidas en la parcela del bloque B-4.

Presión de Aspersor	Hora de Evaluación			Promedio
	5:30 - 7:30	12:00-14:00	16:00-18:00	
1er Aspersor bar	2.50	2.50	2.50	2.50
2do Aspersor bar	2.50	2.50	2.50	2.50
3er Aspersor bar	2.40	2.40	2.40	2.40
PROMEDIO	2.47	2.47	2.47	2.47

Las presiones se mantienen con valores de 2.4 y 2.5 bar, cabe mencionar que el desnivel topográfico es suficiente para poder operar a nivel de todo el sistema; en el proyecto se menciona, que los aspersores trabajaran con presiones no menores a 2 bar, por lo tanto este dato nos indica que actualmente los aspersores vienen trabajando con presiones recomendadas por el proyecto; sin embargo no se mencionado la presión máxima de trabajo. Según catálogo los aspersores Sime Jolly con dos boquillas (10mmx4mm), trabajan con presiones de 30 a 70 PSI equivalentes a 2 hasta 4.8 bar respectivamente.

#### 4.4. VELOCIDAD DE VIENTO

La velocidad del viento se observó durante las dos horas de evaluación mediante el uso del anemómetro portátil.

##### 4.4.1. Velocidad de viento del bloque A, sector 1.

En la Tabla 18, se observa las distintas velocidades y la dirección del viento. La velocidad más alta fue de 5.4 m/s registrada en el horario de las 16:00 a 18:00 horas, y la mínima velocidad 0.5 m/s se registró en el horario de las 5:30 – 7:30 horas

Los promedios de la velocidad del viento son: a las 5:30-7:30 horas es de 0.7 m/s, a las 12:00-14:00 horas de 2.80 m/s, y a las 16:00 -18:00 horas se registró 2.5 m/s.

**Tabla 18:** Velocidad del viento (m/s), en la parcela del bloque A-1.

Velocidad de Viento		Hora de Evaluación					
		5:30 - 7:30		12:00-14:00		16:00-18:00	
Máxima	m/s	1.3	W	5.1	W	5.4	W
Mínima	m/s	0.5	W	1.7	W	1.8	W
<b>PROMEDIO</b>		0.7	W	2.8	W	2.5	W

#### 4.4.2. Velocidad de viento del bloque A, sector 3.

En la Tabla 19, nos muestra las distintas velocidades y la dirección del viento. La velocidad más alta 10.7 m/s fue registrada en el horario de las 16:00 a 18:00 horas, y la mínima velocidad 0.9 m/s se registró en el horario de las 5:30 – 7:30 horas.

Los promedios de la velocidad del viento son: a las 5:30-7:30 horas es de 2.0 m/s, a las 12:00-14:00 horas de 5.30 m/s, y a las 16:00 -18:00 horas se registró 7.4 m/s.

**Tabla 19:** Velocidad del viento (m/s), en la parcela del bloque A-3.

Velocidad de Viento		Hora de Evaluación					
		5:30 - 7:30		12:00-14:00		16:00-18:00	
Máxima	m/s	2.5	W	6	W	10.7	W
Mínima	m/s	0.9	W	2.3	W	6.3	W
<b>PROMEDIO</b>		2	W	5.3	W	7.4	W



#### 4.4.3. Velocidad de viento del bloque B, sector 2.

En la Tabla 20, se observa las distintas velocidades y la dirección del viento. La velocidad más alta 6.0 m/s fue registrada en el horario de las 12.00-14:00 horas, y la mínima velocidad 0.3 m/s se registró en el horario de las 5:30 – 7:30 horas.

Los promedios de la velocidad del viento son: a las 5:30-7:30 horas es de 0.5 m/s, a las 12.00-14:00 horas de 3.80 m/s, y a las 16:00 -18:00 horas se registró 3.1 m/s.

**Tabla 20:** Velocidad del viento (m/s), en la parcela del bloque B-2.

Velocidad de Viento		Hora de Evaluación					
		5:30 - 7:30		12:00-14:00		16:00-18:00	
Máxima	m/s	1.5	W	6	W	5.2	W
Mínima	m/s	0.3	W	2.9	W	0.9	W
<b>PROMEDIO</b>		0.5	W	3.8	W	3.1	W

#### 4.4.4. Velocidad de viento del bloque B, sector 4.

La Tabla 21, nos muestra las distintas velocidades y la dirección del viento. La velocidad más alta fue de 9.7 m/s registrada en el horario de las 16:00 -18:00 horas, y la mínima velocidad 0.4 m/s se registró en el horario de las 5:30 – 7:30 horas.

Los promedios de la velocidad del viento son: a las 5:30-7:30 horas es de 1.9 m/s, a las 12.00-14:00 horas de 5.1 m/s, y a las 16:00 -18:00 horas se registró 7.2 m/s.

**Tabla 21:** Velocidad del viento (m/s), en la parcela del bloque B-4.

Velocidad de Viento		Hora de Evaluación					
		5:30 - 7:30		12:00-14:00		16:00-18:00	
Máxima	m/s	2.2	W	6.3	W	9.7	W
Mínima	m/s	0.4	W	3.1	W	3.8	W
<b>PROMEDIO</b>		1.9	W	5.1	W	7.2	W

La velocidad del viento se incrementó pasados el medio día, la dirección del mismo tuvo incidencia desde el oeste, esta dirección de viento se pudo observar durante todo el periodo de evaluación de campo. El promedio de las velocidades máximas fue de 5.05 m/s y se presentaron en el horario de las 16 a 18 horas, además hubo vientos con velocidades de 10.7, 9.7 m/s. En cuanto al horario de las 12 a 14 horas muy similar al horario anterior mantuvo velocidad promedio de 4.25 m/s, por otro lado en el horario de 5:30 a 7:30 horas de la mañana el promedio de los vientos mantuvieron velocidades leves de 1.28 m/s, cabe resaltar que para Laserna et al., (2016), los valores de CU aumentan ligeramente en condiciones de baja velocidad del viento menores a 2 m/s. [...], seleccionar una separación máxima de aspersores de hasta 30 metros podría originar una disminución importante en el valor de CU cuando aumenta la velocidad del viento por encima de 4 m/s, obteniendo valores del CU 10-15% más bajos que con separaciones entre aspersores de 21 m y 24 m. Para Poma (2014) a mayor incidencia de la velocidad de viento, los valores de la evapotranspiración de referencia llegan a incrementarse, además es importante señalar que los horarios de mayor incidencia tanto en la velocidad del viento como en la ETo, pues es recomendable efectuar el riego.

De acuerdo con Sapir y Sneh (2005), la categorización de los vientos es de 0 a 1.0 m/s sin viento, 1.0 a 2.5 m/s vientos medianos, 2.5 a 4.0 m/s vientos fuertes y

superiores a 4.0 m/s son considerados vientos muy fuertes que no recomienda regar por encima del follaje.

#### 4.5. HUMEDAD RELATIVA

La humedad relativa (%) se registró a cada hora, razón por lo cual se tiene tres datos por dos horas de evaluación,

##### 4.5.1. Humedad relativa del bloque A, sector 1.

La humedad relativa máxima registrada fue en el horario de la mañana y las mínimas por las tardes obteniendo promedios de 75.8 % en 5:30-7:30 horas, 52.4 % en 12:00-14:00 y 42 % en el horario de 16:00-18:00. Como se muestra en la Tabla 22.

**Tabla 22:** Humedad Relativa (%), en la parcela del bloque A-1.

Humedad Relativa (%)		Hora de Evaluación		
		5:30 - 7:30	12:00-14:00	16:00-18:00
Inicio	05:30 Hr	77.2	53	42
Intermedio	06:30 Hr	76	52.8	41.5
Final	07:30 Hr	74.2	51.3	42.3
PROMEDIO		75.8	52.4	42.0

##### 4.5.2. Humedad relativa del bloque A, sector 3.

Como se muestra en la Tabla 23, el dato obtenido en humedad relativa máxima fue registrada en horarios de la mañana y las mínimas durante el mediodía, obteniendo promedios de 60.4 % en 5:30-7:30 horas, 16.4 % en 12:00-14:00 y 25.8 % en el horario de 16:00-18:00.

**Tabla 23:** Humedad Relativa (%), en la parcela del bloque A-3.

Humedad Relativa (%)		Hora de Evaluación		
		5:30 - 7:30	12:00-14:00	16:00-18:00
Inicio	05:30 Hr	62.5	17.0	26.0
Intermedio	06:30 Hr	60.5	16.3	25.6
Final	07:30 Hr	58.2	15.8	25.9
<b>PROMEDIO</b>		60.4	16.4	25.8

#### 4.5.3. Humedad relativa del bloque B, sector 2.

La humedad relativa máxima registrada en horarios de la mañana y tardes; las mínimas por el medio día, teniendo promedios de 65.5 % en 5:30-7:30 horas, 35.2 % en 12:00-14:00 y 76.6 % en el horario de 16:00-18:00. Ver Tabla 24.

**Tabla 24:** Humedad Relativa (%), en la parcela del bloque B-2.

Humedad Relativa (%)		Hora de Evaluación		
		5:30 - 7:30	12:00-14:00	16:00-18:00
Inicio	05:30 Hr	66.4	36.3	77.8
Intermedio	06:30 Hr	65.3	35	75.4
Final	07:30 Hr	64.7	34.2	76.6
<b>PROMEDIO</b>		65.5	35.2	76.6

#### 4.5.4. Humedad relativa del bloque B, sector 4.

Como se muestra en la Tabla 25, la humedad relativa máxima registrada en horarios de la mañana y tardes; las mínimas por el medio día, teniendo promedios de 37.1 % en 5:30-7:30 horas, 15.1 % en 12:00-14:00 y 25.6 % en el horario de 16:00-18:00.

**Tabla 25:** Humedad Relativa (%), en la parcela del bloque B-4.

Humedad Relativa (%)		Hora de Evaluación		
		5:30 - 7:30	12:00-14:00	16:00-18:00
Inicio	05:30 Hr	38.0	16.0	24.7
Intermedio	06:30 Hr	37.4	15.3	25.8
Final	07:30 Hr	36	14.1	26.2
<b>PROMEDIO</b>		37.1	15.1	25.6

La humedad relativa es inversamente proporcional a la temperatura, donde su valor mínimo corresponde a las horas de mayor calor y el máximo en las madrugadas, varía según el horario y la condición climática del día a día, por lo general el altiplano mantiene humedad relativa baja por el aire seco típico de nuestra región, durante los meses de diciembre hasta abril se mantienen humedades relativas promedio de 66% y un 49 % como promedio de los meses de mayo hasta noviembre, dividiéndose en dos épocas (lluvias y secano). Los valores altos se registraron en el horario de las 5:30 horas con 59.7%, mientras estos valores tendieron a disminuir al mediodía con 29.8%, volviendo a incrementarse durante las 16 a 18 horas con 42.5%.

#### 4.6. TEMPERATURA DEL AMBIENTE

##### 4.6.1. Temperatura del bloque A, sección 1.

La temperatura es muy variables en la zona evaluada, donde se registraron temperaturas mínimas de 8.1 °C en primeras horas del día, y máximas de 16.5 °C durante el mediodía. Los promedios obtenidos fueron de 8.5 °C en 5:30-7:30 horas, 15.6 °C en 12:00-14:00 y 13.4°C en el horario de 16:00-18:00 (Tabla 26).

**Tabla 26:** Temperatura (°C), en la parcela del bloque A-1.

Temperatura °C del Ambiente	Hora de Evaluación		
	5:30 - 7:30	12:00-14:00	16:00-18:00
Mínima °C	8.1	14.6	12.9
Máxima °C	8.9	16.5	13.9
<b>PROMEDIO</b>	8.5	15.6	13.4

#### 4.6.2. Temperatura del bloque A, sección 3.

La temperatura mínima registrada fue de 7.5 °C en el horario de 5:30 -7:30 horas y máximas de 17.3 °C en el horario de mediodía. Se obtuvieron promedios de 14.0 °C en 5:30-7:30 horas, 16.2 °C en 12:00-14:00 y 8.3 °C en el horario de 16:00-18:00. Ver Tabla 27.

**Tabla 27:** Temperatura (°C), en la parcela del bloque A-3.

Temperatura del Ambiente	Hora de Evaluación		
	5:30 - 7:30	12:00-14:00	16:00-18:00
Mínima °C	13.5	15.0	7.5
Máxima °C	14.4	17.3	9.1
<b>PROMEDIO</b>	14.0	16.2	8.3

#### 4.6.3. Temperatura del bloque B, sección 2.

La temperatura es muy variables en la zona evaluada, se tuvo temperaturas mínimas de 6.2 °C en el horario de 16:00-18:00horas y máximas de 16.4 °C en el horario de 12.00 -14:00 horas. Se obtuvieron promedios de 14.4 °C en 5:30-7:30 horas, 17.2 °C en 12:00-14:00 y 8.0°C en el horario de 16:00-18:00. Ver Tabla 28.

**Tabla 28:** Temperatura (°C), en la parcela del bloque B-2.

Temperatura °C del Ambiente	Hora de Evaluación		
	5:30 - 7:30	12:00-14:00	16:00-18:00
Mínima °C	13.1	16.4	6.2
Máxima °C	15.6	17.9	9.7
<b>PROMEDIO</b>	14.4	17.2	8.0

#### 4.6.4. Temperatura del bloque B, sección 4.

La temperatura es muy variables en la zona evaluada, se tuvo temperaturas mínimas de 7.2 °C en el horario de 16:00-18:00 horas y máximas de 18.0 °C en el horario de 12.00 -14:00 horas. Se obtuvieron promedios de 13.8 °C en 5:30-7:30 horas, 17.5 °C en 12:00-14:00 y 9.4°C en el horario de 16:00-18:00 horas (Tabla 29).

**Tabla 29:** Temperatura (°C), en la parcela del bloque B-4.

Temperatura del Ambiente	Hora de Evaluación		
	5:30 - 7:30	12:00-14:00	16:00-18:00
Mínima °C	13.1	16.9	7.2
Máxima °C	14.5	18.0	11.6
<b>PROMEDIO</b>	13.8	17.5	9.4

Las temperaturas son propias de la zona, estación del año y del mes de evaluación, no se han obtenido datos drásticos como grados Celsius bajo cero. Las temperaturas mínimas se presentaron pasado las 16 horas con 9.8°C, al mediodía se registraron las máximas temperaturas con 16.6°C por otro lado en el horario de las primeras horas del día el promedio de temperatura fue de 12.7°C., según datos de las estaciones evaluadas las temperaturas más críticas pueden se presentan en los meses



de mayo hasta setiembre con un promedio de  $-5.5^{\circ}\text{C}$ , durante todo año la temperatura máxima promedio es  $16.2^{\circ}\text{C}$  mientras la media registrada es  $7.4^{\circ}\text{C}$ .

#### **4.7. COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE CHRISTIANSEN Y UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCIÓN**

El total de los datos obtenidos fueron de 256 lecturas de pluviómetros por sector, de los cuales se hizo la simulación de traslape, a partir de tres aspersores en campo. Se Redujeron a 128 datos según el traslape, con un marco de riego de 20x20 metros, correspondiente como se muestra en la Tabla 31.



#### 4.7.1. Parcela del bloque A-1.

##### 4.7.1.1. Cálculo del CUC y DU, en el horario de 05:30 - 07:30 hora

**Tabla 30:** Datos de pluviometría del bloque A-1, en el horario de 05:30-07:30 h.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
A	10	2	2	2	8	12	20	30	21	10	8	5	5	5	5	12
B	20	5	5	5	12	25	30	27	30	20	18	12	5	5	20	35
C	38	27	22	23	40	70	67	67	68	55	50	38	21	23	38	40
D	60	65	93	75	75	68	63	63	65	61	61	53	90	75	65	60
E	70	75	122	85	70	55	88	135	130	74	70	74	121	85	75	65
F	84	103	150	100	84	127	140	124	115	130	127	100	126	100	103	120
G	121	178	163	121	117	182	117	178	130	115	130	180	127	121	123	130
H	150	179	163	120	149	173	150	260	247	135	137	179	138	120	164	135
I	140	197	165	136	127	197	140	275	227	129	134	196	142	136	154	130
J	125	155	185	125	120	215	160	153	150	146	165	152	148	125	132	125
K	100	89	166	163	123	85	234	185	215	200	124	89	150	163	121	90
L	94	84	138	149	115	86	100	125	145	94	75	84	142	149	104	84
M	90	83	45	105	108	105	98	110	95	101	75	83	100	105	99	40
N	75	35	5	12	65	80	92	100	94	85	65	35	21	12	65	20
O	35	5	5	5	7	28	54	67	58	40	8	5	5	5	18	12
P	12	2	2	5	5	8	30	45	45	35	10	5	5	5	5	8

\*Los puntos rojos muestran la posición de los aspersores.

**Tabla 31:** Datos superpuestos para un marco cuadrado de 20x20m, parcela del bloque A-1, en el horario de 05:30-07:30 h.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
A	150	199	167	138	135	209	160	305	248	139	142	201	147	141	159	142
B	145	160	190	130	132	240	190	180	180	166	183	164	153	130	152	160
C	138	116	188	186	163	155	301	252	283	255	174	127	171	186	159	130
D	154	149	231	224	190	154	163	188	210	155	136	137	232	224	169	144
E	160	158	167	190	178	160	186	245	225	175	145	157	221	190	174	105
F	159	138	155	112	149	207	232	224	209	215	192	135	147	112	168	140
G	156	183	168	126	124	210	171	245	188	155	138	185	132	126	141	142
H	162	181	165	125	154	181	180	305	292	170	147	184	143	125	169	143

**Tabla 32:** Cálculo del CUC y DU del bloque A-1, en el horario de 05:30-07:30 h.

1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
N°	Lectura (ml) (q)	(q-q <sub>prom</sub> )	q (25%)	N°	Lectura (ml) (q)	(q-q <sub>prom</sub> )	q (25%)	N°	Lectura (ml) (q)	(q-q <sub>prom</sub> )	q (25%)	N°	Lectura (ml) (q)	(q-q <sub>prom</sub> )	q (25%)	
1	305	131.35	-	33	190	16.35	-	65	163	10.65	-	97	143	30.65	143	
2	305	131.35	-	34	188	14.35	-	66	163	10.65	-	98	143	30.65	143	
3	301	127.35	-	35	188	14.35	-	67	162	11.65	-	99	142	31.65	142	
4	292	118.35	-	36	188	14.35	-	68	160	13.65	-	100	142	31.65	142	
5	283	109.35	-	37	186	12.35	-	69	160	13.65	-	101	142	31.65	142	
6	255	81.35	-	38	186	12.35	-	70	160	13.65	-	102	141	32.65	141	
7	252	78.35	-	39	186	12.35	-	71	160	13.65	-	103	141	32.65	141	
8	248	74.35	-	40	185	11.35	-	72	160	13.65	-	104	140	33.65	140	
9	245	71.35	-	41	184	10.35	-	73	159	14.65	-	105	139	34.65	139	
10	245	71.35	-	42	183	9.35	-	74	159	14.65	-	106	138	35.65	138	
11	240	66.35	-	43	183	9.35	-	75	159	14.65	-	107	138	35.65	138	
12	232	58.35	-	44	181	7.35	-	76	158	15.65	-	108	138	35.65	138	
13	232	58.35	-	45	181	7.35	-	77	157	16.65	-	109	138	35.65	138	
14	231	57.35	-	46	180	6.35	-	78	156	17.65	-	110	137	36.65	137	
15	225	51.35	-	47	180	6.35	-	79	155	18.65	-	111	136	37.65	136	
16	224	50.35	-	48	180	6.35	-	80	155	18.65	-	112	135	38.65	135	
17	224	50.35	-	49	178	4.35	-	81	155	18.65	-	113	135	38.65	135	
18	224	50.35	-	50	175	1.35	-	82	155	18.65	-	114	132	41.65	132	
19	221	47.35	-	51	174	0.35	-	83	154	19.65	-	115	132	41.65	132	
20	215	41.35	-	52	174	0.35	-	84	154	19.65	-	116	130	43.65	130	
21	210	36.35	-	53	171	2.65	-	85	154	19.65	-	117	130	43.65	130	
22	210	36.35	-	54	171	2.65	-	86	153	20.65	-	118	130	43.65	130	
23	209	35.35	-	55	170	3.65	-	87	152	21.65	-	119	127	46.65	127	
24	209	35.35	-	56	169	4.65	-	88	150	23.65	-	120	126	47.65	126	
25	207	33.35	-	57	169	4.65	-	89	149	24.65	-	121	126	47.65	126	
26	201	27.35	-	58	168	5.65	-	90	149	24.65	-	122	125	48.65	125	
27	199	25.35	-	59	168	5.65	-	91	147	26.65	-	123	125	48.65	125	
28	192	18.35	-	60	167	6.65	-	92	147	26.65	-	124	124	49.65	124	
29	190	16.35	-	61	167	6.65	-	93	147	26.65	-	125	116	57.65	116	
30	190	16.35	-	62	166	7.65	-	94	145	28.65	-	126	112	61.65	112	
31	190	16.35	-	63	165	8.65	-	95	145	28.65	-	127	112	61.65	112	
32	190	16.35	-	64	164	9.65	-	96	144	29.65	-	128	105	68.65	105	
													<b>TOTAL</b>	<b>22227.00</b>	<b>4032.56</b>	<b>4220.00</b>
													<b>PROMEDIO</b>	<b>173.65</b>		<b>131.88</b>

**Datos obtenidos:**

Suma total de las lecturas de pluviómetros = 22 227.00 ml

Número total de lecturas = 128

Promedio de lecturas = 22 227 ml/128 = 173.65 ml

Sumatoria de cada lectura (Abs) menos el promedio total = 4 032.56 ml

Sumatoria de ¼ de datos menores del total = 4 220.00 ml

Promedio del 25% de datos menores = 4 220/32 = 131.88 ml

$$CUC = \left[ 1 - \frac{\sum(q_i - \bar{q})}{n * \bar{q}} \right] * 100$$

$$DU = \left( \frac{q_{25\%}}{q_{100\%}} \right) * 100$$

$$CUC = \left[ 1 - \frac{(4\ 032.56)}{128 * 173.65} \right] * 100 = 81.86 \%$$

$$DU = \left[ \frac{131.88}{173.65} \right] * 100 = 75.94 \%$$

#### 4.7.1.2. Cálculo del CUC y DU, en el horario de 12:00-14:00 horas.

**Tabla 33:** Datos de pluviometría del bloque A-1, en el horario de 12:00-14:00 h.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
A	5	4	5	9	9	10	10	12	12	10	5	2	5	12	10	15
B	10	5	9	33	25	24	28	31	26	15	10	5	15	37	28	20
C	35	28	57	39	28	35	38	39	45	34	34	28	57	39	30	45
D	40	70	56	54	35	45	55	61	61	55	45	70	63	57	35	50
E	62	80	70	49	49	75	110	130	130	84	60	80	74	53	50	75
F	98	114	88	74	70	125	143	140	140	135	114	112	90	73	70	84
G	136	120	86	58	114	160	165	170	165	145	123	123	86	60	120	130
H	158	142	92	83	145	185	187	225	230	175	130	146	98	86	145	150
I	160	144	107	100	122	247	213	253	245	174	136	145	112	103	125	144
J	130	120	111	102	100	190	240	225	205	172	130	122	114	102	104	120
K	110	100	108	102	98	123	260	280	232	158	104	76	112	115	100	111
L	120	110	100	81	98	100	110	115	128	90	50	50	70	86	98	100
M	98	35	35	62	70	90	84	80	70	55	35	37	35	65	73	80
N	74	25	18	14	26	35	50	55	47	40	29	28	20	16	27	30
O	35	20	5	5	5	15	20	30	28	25	15	20	9	5	5	15
P	20	10	5	5	5	5	5	10	9	5	5	5	4	2	2	5

**Tabla 34:** Datos superpuestos para un marco cuadrado de 20x20m, parcela del bloque A-1, en el horario de 12:00-14:00 h.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
A	165	148	112	109	131	257	223	265	257	184	141	147	117	115	135	159
B	140	125	120	135	125	214	268	256	231	187	140	127	129	139	132	140
C	145	128	165	141	126	158	298	319	277	192	138	104	169	154	130	156
D	160	180	156	135	133	145	165	176	189	145	95	120	133	143	133	150
E	160	115	105	111	119	165	194	210	200	139	95	117	109	118	123	155
F	172	139	106	88	96	160	193	195	187	175	143	140	110	89	97	114
G	171	140	91	63	119	175	185	200	193	170	138	143	95	65	125	145
H	178	152	97	88	150	190	192	235	239	180	135	151	102	88	147	155

**Tabla 35:** Cálculo del CUC y DU del bloque A-1, en el horario de 12:00-14:00 h.

1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
N°	Lectura (ml) (q)	(q-q <sub>prom</sub> )	q (25%)	N°	Lectura (ml) (q)	(q-q <sub>prom</sub> )	q (25%)	N°	Lectura (ml) (q)	(q-q <sub>prom</sub> )	q (25%)	N°	Lectura (ml) (q)	(q-q <sub>prom</sub> )	q (25%)	
1	319	166.13	-	33	175	22.13	-	65	143	9.87	-	97	120	32.87	120	
2	298	145.13	-	34	175	22.13	-	66	143	9.87	-	98	120	32.87	120	
3	277	124.13	-	35	172	19.13	-	67	141	11.87	-	99	119	33.87	119	
4	268	115.13	-	36	171	18.13	-	68	141	11.87	-	100	119	33.87	119	
5	265	112.13	-	37	170	17.13	-	69	140	12.87	-	101	118	34.87	118	
6	257	104.13	-	38	169	16.13	-	70	140	12.87	-	102	117	35.87	117	
7	257	104.13	-	39	165	12.13	-	71	140	12.87	-	103	117	35.87	117	
8	256	103.13	-	40	165	12.13	-	72	140	12.87	-	104	115	37.87	115	
9	239	86.13	-	41	165	12.13	-	73	140	12.87	-	105	115	37.87	115	
10	235	82.13	-	42	165	12.13	-	74	139	13.87	-	106	114	38.87	114	
11	231	78.13	-	43	160	7.13	-	75	139	13.87	-	107	112	40.87	112	
12	223	70.13	-	44	160	7.13	-	76	139	13.87	-	108	111	41.87	111	
13	214	61.13	-	45	160	7.13	-	77	138	14.87	-	109	110	42.87	110	
14	210	57.13	-	46	159	6.13	-	78	138	14.87	-	110	109	43.87	109	
15	200	47.13	-	47	158	5.13	-	79	135	17.87	-	111	109	43.87	109	
16	200	47.13	-	48	156	3.13	-	80	135	17.87	-	112	106	46.87	106	
17	195	42.13	-	49	156	3.13	-	81	135	17.87	-	113	105	47.87	105	
18	194	41.13	-	50	155	2.13	-	82	135	17.87	-	114	104	48.87	104	
19	193	40.13	-	51	155	2.13	-	83	133	19.87	-	115	102	50.87	102	
20	193	40.13	-	52	154	1.13	-	84	133	19.87	-	116	97	55.87	97	
21	192	39.13	-	53	152	0.87	-	85	133	19.87	-	117	97	55.87	97	
22	192	39.13	-	54	151	1.87	-	86	132	20.87	-	118	96	56.87	96	
23	190	37.13	-	55	150	2.87	-	87	131	21.87	-	119	95	57.87	95	
24	189	36.13	-	56	150	2.87	-	88	130	22.87	-	120	95	57.87	95	
25	187	34.13	-	57	148	4.87	-	89	129	23.87	-	121	95	57.87	95	
26	187	34.13	-	58	147	5.87	-	90	128	24.87	-	122	91	61.87	91	
27	185	32.13	-	59	147	5.87	-	91	127	25.87	-	123	89	63.87	89	
28	184	31.13	-	60	145	7.87	-	92	126	26.87	-	124	88	64.87	88	
29	180	27.13	-	61	145	7.87	-	93	125	27.87	-	125	88	64.87	88	
30	180	27.13	-	62	145	7.87	-	94	125	27.87	-	126	88	64.87	88	
31	178	25.13	-	63	145	7.87	-	95	125	27.87	-	127	65	87.87	65	
32	176	23.13	-	64	143	9.87	-	96	123	29.87	-	128	63	89.87	63	
													<b>TOTAL</b>	<b>19567.00</b>	<b>4519.81</b>	<b>3289.00</b>
													<b>PROMEDIO</b>	<b>152.87</b>		<b>102.78</b>

**Datos obtenidos:**

Suma total de las lecturas de pluviómetros = 19 567.00 ml

Número total de lecturas = 128

Promedio de lecturas = 19 567 ml/128 = 152.87 ml

Sumatoria de cada lectura (Abs) menos el promedio total= 4 519.81

Sumatoria de ¼ de datos menores del total = 3 289.00 ml

Promedio del 25% de datos menores = 3 289/32 = 102.78 ml

$$CUC = \left[ 1 - \frac{\sum(q_i - \bar{q})}{n * \bar{q}} \right] * 100$$

$$DU = \left( \frac{q_{25\%}}{q_{100\%}} \right) * 100$$

$$CUC = \left[ 1 - \frac{(4\ 519.81)}{128 * 152.87} \right] * 100 = 76.90 \%$$

$$DU = \left[ \frac{102.78}{152.87} \right] * 100 = 67.24 \%$$

#### 4.7.1.3. Cálculo del CUC y DU, en el horario de 16:00-18:00 horas.

**Tabla 36:** Datos de pluviometría del bloque A-1, en el horario de 16:00-18:00 h.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
A	20	10	5	8	10	15	18	20	30	15	12	8	5	20	15	25
B	30	14	8	29	25	25	70	80	100	23	19	15	10	34	27	40
C	39	25	40	37	35	55	105	90	110	40	30	26	43	40	36	55
D	60	36	52	46	48	80	90	120	200	95	33	37	55	48	48	85
E	83	55	53	55	57	100	105	185	246	75	60	58	56	59	59	98
F	100	65	70	68	80	104	125	130	105	85	75	66	73	70	83	100
G	105	98	80	59	103	135	140	182	135	95	75	100	84	61	106	135
H	98	95	71	74	123	155	180	185	172	110	80	98	76	78	125	140
I	100	95	76	82	98	220	165	195	165	114	80	97	76	84	100	125
J	95	90	76	83	95	165	215	175	148	115	87	94	78	86	98	110
K	80	60	70	83	88	86	145	170	140	115	76	63	73	85	90	100
L	60	38	39	51	70	75	80	80	75	55	35	40	42	55	74	95
M	34	27	22	39	52	57	57	55	48	35	27	30	27	42	56	70
N	20	19	10	5	8	20	30	34	31	25	20	22	15	8	12	20
O	5	5	2	2	2	2	5	12	13	17	9	4	5	2	5	8
P	2	2	1	1	1	1	1	8	8	5	2	2	1	1	1	2

**Tabla 37:** Datos superpuestos para un marco cuadrado de 20x20m, parcela del bloque A-1, en el horario de 16:00-18:00 h.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
A	120	105	81	90	108	235	183	215	195	129	92	105	81	104	115	150
B	125	104	84	112	120	190	285	255	248	138	106	109	88	120	125	150
C	119	85	110	120	123	141	250	260	250	155	106	89	116	125	126	155
D	120	74	91	97	118	155	170	200	275	150	68	77	97	103	122	180
E	117	82	75	94	109	157	162	240	294	110	87	88	83	101	115	168
F	120	84	80	73	88	124	155	164	136	110	95	88	88	78	95	120
G	110	103	82	61	105	137	145	194	148	112	84	104	89	63	111	143
H	100	97	72	75	124	156	181	193	180	115	82	100	77	79	126	142

**Tabla 38:** Cálculo del CUC y DU del bloque A-1, en el horario de 16:00-18:00 h.

1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
N°	Lectura (ml) (q)	(q-Qprom)	q (25%)	N°	Lectura (ml) (q)	(q-Qprom)	q (25%)	N°	Lectura (ml) (q)	(q-Qprom)	q (25%)	N°	Lectura (ml) (q)	(q-Qprom)	q (25%)	
1	294	166.16	-	33	150	22.16	-	65	115	12.84	-	97	90	37.84	90	
2	285	157.16	-	34	148	20.16	-	66	112	15.84	-	98	89	38.84	89	
3	275	147.16	-	35	145	17.16	-	67	112	15.84	-	99	89	38.84	89	
4	260	132.16	-	36	143	15.16	-	68	111	16.84	-	100	88	39.84	88	
5	255	127.16	-	37	142	14.16	-	69	110	17.84	-	101	88	39.84	88	
6	250	122.16	-	38	141	13.16	-	70	110	17.84	-	102	88	39.84	88	
7	250	122.16	-	39	138	10.16	-	71	110	17.84	-	103	88	39.84	88	
8	248	120.16	-	40	137	9.16	-	72	110	17.84	-	104	88	39.84	88	
9	240	112.16	-	41	136	8.16	-	73	109	18.84	-	105	87	40.84	87	
10	235	107.16	-	42	129	1.16	-	74	109	18.84	-	106	85	42.84	85	
11	215	87.16	-	43	126	1.84	-	75	108	19.84	-	107	84	43.84	84	
12	200	72.16	-	44	126	1.84	-	76	106	21.84	-	108	84	43.84	84	
13	195	67.16	-	45	125	2.84	-	77	106	21.84	-	109	84	43.84	84	
14	194	66.16	-	46	125	2.84	-	78	105	22.84	-	110	83	44.84	83	
15	193	65.16	-	47	125	2.84	-	79	105	22.84	-	111	82	45.84	82	
16	190	62.16	-	48	124	3.84	-	80	105	22.84	-	112	82	45.84	82	
17	183	55.16	-	49	124	3.84	-	81	104	23.84	-	113	82	45.84	82	
18	181	53.16	-	50	123	4.84	-	82	104	23.84	-	114	81	46.84	81	
19	180	52.16	-	51	122	5.84	-	83	104	23.84	-	115	81	46.84	81	
20	180	52.16	-	52	120	7.84	-	84	103	24.84	-	116	80	47.84	80	
21	170	42.16	-	53	120	7.84	-	85	103	24.84	-	117	79	48.84	79	
22	168	40.16	-	54	120	7.84	-	86	101	26.84	-	118	78	49.84	78	
23	164	36.16	-	55	120	7.84	-	87	100	27.84	-	119	77	50.84	77	
24	162	34.16	-	56	120	7.84	-	88	100	27.84	-	120	77	50.84	77	
25	157	29.16	-	57	120	7.84	-	89	97	30.84	-	121	75	52.84	75	
26	156	28.16	-	58	120	7.84	-	90	97	30.84	-	122	75	52.84	75	
27	155	27.16	-	59	119	8.84	-	91	97	30.84	-	123	74	53.84	74	
28	155	27.16	-	60	118	9.84	-	92	95	32.84	-	124	73	54.84	73	
29	155	27.16	-	61	117	10.84	-	93	95	32.84	-	125	72	55.84	72	
30	155	27.16	-	62	116	11.84	-	94	94	33.84	-	126	68	59.84	68	
31	150	22.16	-	63	115	12.84	-	95	92	35.84	-	127	63	64.84	63	
32	150	22.16	-	64	115	12.84	-	96	91	36.84	-	128	61	66.84	61	
													<b>TOTAL</b>	<b>16364.00</b>	<b>4879.13</b>	<b>2575.00</b>
													<b>PROMEDIO</b>	<b>127.84</b>		<b>80.47</b>

**Datos obtenidos:**

Suma total de las lecturas de pluviómetros = 16 364.00 ml

Número total de lecturas = 128

Promedio de lecturas = 16 364 ml/128 = 127.84 ml

Sumatoria de cada lectura (Abs) menos el promedio total = 4 879.13 ml

Sumatoria de ¼ de datos menores del total = 2 575.00 ml

Promedio del 25% de datos menores = 2 575/32 = 80.47 ml

$$CUC = \left[ 1 - \frac{\sum(q_i - \bar{q})}{n * \bar{q}} \right] * 100$$

$$DU = \left( \frac{q_{25\%}}{q_{100\%}} \right) * 100$$

$$CUC = \left[ 1 - \frac{(4\ 879.13)}{128 * 127.84} \right] * 100 = 70.18 \%$$

$$DU = \left[ \frac{80.47}{127.84} \right] * 100 = 62.94 \%$$

#### 4.7.2. Parcela del bloque A-3.

##### 4.7.2.1. Cálculo del CUC y DU, en el horario de 05:30 - 07:30 horas.

**Tabla 39:** Datos de pluviometría del bloque A-3, en el horario de 05:30-07:30 h.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
A	5	2	1	1	4	5	8	10	10	8	5	2	1	2	5	5
B	25	10	2	5	8	10	20	25	25	30	23	12	8	5	8	15
C	50	40	13	15	40	50	54	68	67	68	72	20	19	15	38	43
D	65	65	60	90	64	60	60	65	65	64	67	75	72	97	65	70
E	72	70	80	115	97	100	75	132	135	89	70	72	84	120	80	90
F	110	97	100	146	102	123	130	123	125	141	128	82	95	150	100	120
G	120	110	140	164	177	129	112	140	173	118	178	118	123	167	178	165
H	130	123	142	167	178	141	132	251	268	154	170	150	124	170	180	178
I	140	120	160	164	195	140	125	231	276	142	173	126	138	167	192	180
J	135	100	176	192	154	164	146	149	154	210	195	118	130	200	150	160
K	100	98	165	174	102	150	200	185	215	233	124	125	165	176	100	120
L	102	90	131	148	97	90	94	126	145	102	112	125	149	150	100	100
M	95	80	40	68	85	80	98	100	115	110	100	112	100	90	88	90
N	72	50	14	11	26	80	83	85	94	95	86	70	80	40	60	50
O	23	30	8	5	5	28	41	58	64	55	50	30	20	35	30	25
P	15	12	5	2	5	8	20	20	25	30	20	12	10	15	20	12

**Tabla 40:** Datos superpuestos para un marco cuadrado de 20x20m, parcela del bloque A-3, en el horario de 05:30-07:30 h.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
A	145	122	161	165	199	145	133	241	286	150	178	128	139	169	197	185
B	160	110	178	197	162	174	166	174	179	240	218	130	138	205	158	175
C	150	138	178	189	142	200	254	253	282	301	196	145	184	191	138	163
D	167	155	191	238	161	150	154	191	210	166	179	200	221	247	165	170
E	167	150	120	183	182	180	173	232	250	199	170	184	184	210	168	180
F	182	147	114	157	128	203	213	208	219	236	214	152	175	190	160	170
G	143	140	148	169	182	157	153	198	237	173	228	148	143	202	208	190
H	145	135	147	169	183	149	152	271	293	184	190	162	134	185	200	190

**Tabla 41:** Cálculo del CUC y DU del bloque A-3, en el horario de 05:30-07:30 h.

1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
N°	Lectura (ml) (q)	(q-q <sub>prom</sub> )	q (25%)	N°	Lectura (ml) (q)	(q-q <sub>prom</sub> )	q (25%)	N°	Lectura (ml) (q)	(q-q <sub>prom</sub> )	q (25%)	N°	Lectura (ml) (q)	(q-q <sub>prom</sub> )	q (25%)	
1	301	120.66	_	33	199	18.66	_	65	175	5.34	_	97	152	28.34	152.00	
2	293	112.66	_	34	198	17.66	_	66	174	6.34	_	98	150	30.34	150.00	
3	286	105.66	_	35	197	16.66	_	67	174	6.34	_	99	150	30.34	150.00	
4	282	101.66	_	36	197	16.66	_	68	173	7.34	_	100	150	30.34	150.00	
5	271	90.66	_	37	196	15.66	_	69	173	7.34	_	101	150	30.34	150.00	
6	254	73.66	_	38	191	10.66	_	70	170	10.34	_	102	149	31.34	149.00	
7	253	72.66	_	39	191	10.66	_	71	170	10.34	_	103	148	32.34	148.00	
8	250	69.66	_	40	191	10.66	_	72	170	10.34	_	104	148	32.34	148.00	
9	247	66.66	_	41	190	9.66	_	73	169	11.34	_	105	147	33.34	147.00	
10	241	60.66	_	42	190	9.66	_	74	169	11.34	_	106	147	33.34	147.00	
11	240	59.66	_	43	190	9.66	_	75	169	11.34	_	107	145	35.34	145.00	
12	238	57.66	_	44	190	9.66	_	76	168	12.34	_	108	145	35.34	145.00	
13	237	56.66	_	45	189	8.66	_	77	167	13.34	_	109	145	35.34	145.00	
14	236	55.66	_	46	185	4.66	_	78	167	13.34	_	110	145	35.34	145.00	
15	232	51.66	_	47	185	4.66	_	79	166	14.34	_	111	143	37.34	143.00	
16	228	47.66	_	48	184	3.66	_	80	166	14.34	_	112	143	37.34	143.00	
17	221	40.66	_	49	184	3.66	_	81	165	15.34	_	113	142	38.34	142.00	
18	219	38.66	_	50	184	3.66	_	82	165	15.34	_	114	140	40.34	140.00	
19	218	37.66	_	51	184	3.66	_	83	163	17.34	_	115	139	41.34	139.00	
20	214	33.66	_	52	183	2.66	_	84	162	18.34	_	116	138	42.34	138.00	
21	213	32.66	_	53	183	2.66	_	85	162	18.34	_	117	138	42.34	138.00	
22	210	29.66	_	54	182	1.66	_	86	161	19.34	_	118	138	42.34	138.00	
23	210	29.66	_	55	182	1.66	_	87	161	19.34	_	119	135	45.34	135.00	
24	208	27.66	_	56	182	1.66	_	88	160	20.34	_	120	134	46.34	134.00	
25	208	27.66	_	57	180	0.34	_	89	160	20.34	_	121	133	47.34	133.00	
26	205	24.66	_	58	180	0.34	_	90	158	22.34	_	122	130	50.34	130.00	
27	203	22.66	_	59	179	1.34	_	91	157	23.34	_	123	128	52.34	128.00	
28	202	21.66	_	60	179	1.34	_	92	157	23.34	_	124	128	52.34	128.00	
29	200	19.66	_	61	178	2.34	_	93	155	25.34	_	125	122	58.34	122.00	
30	200	19.66	_	62	178	2.34	_	94	154	26.34	_	126	120	60.34	120.00	
31	200	19.66	_	63	178	2.34	_	95	153	27.34	_	127	114	66.34	114.00	
32	199	18.66	_	64	175	5.34	_	96	152	28.34	_	128	110	70.34	110.00	
													<b>TOTAL</b>	<b>23084.00</b>	<b>3693.50</b>	<b>4446.00</b>
													<b>PROMEDIO</b>	<b>180.34</b>		<b>138.94</b>

**Datos obtenidos:**

Suma total de las lecturas de pluviómetros = 23 084.00 ml

Número total de lecturas = 128

Promedio de lecturas = 23 084ml/128 = 180.34 ml

Sumatoria de cada lectura (Abs) menos el promedio total = 3 693.50 ml

Sumatoria de ¼ de datos menores del total = 4 446.00 ml

Promedio del 25% de datos menores = 4 446/32 = 138.94 ml



$$CUC = \left[ 1 - \frac{\sum(q_i - \bar{q})}{n * \bar{q}} \right] * 100$$

$$DU = \left( \frac{q_{25\%}}{q_{100\%}} \right) * 100$$

$$CUC = \left[ 1 - \frac{(3\ 693.50)}{128 * 180.34} \right] * 100 = 84 \%$$

$$DU = \left[ \frac{138.94}{180.34} \right] * 100 = 77.04 \%$$

#### 4.7.2.2. Cálculo del CUC y DU, en el horario de 12:00-14:00 horas.

**Tabla 42:** Datos de pluviometría del bloque A-3, en el horario de 12:00-14:00 h.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
D	10	2	8	0	8	10	9	40	35	25	8	2	0	0	5	12
E	45	92	30	2	10	26	55	81	120	138	135	96	80	5	20	25
F	130	125	130	10	35	31	102	143	165	143	155	124	132	45	37	80
G	140	143	129	90	42	28	153	200	218	169	218	145	130	100	50	90
H	145	174	144	165	45	56	160	198	200	135	159	172	143	169	48	110
I	170	205	157	139	50	75	152	186	190	139	163	201	155	142	50	140
J	150	142	133	125	44	74	142	146	176	197	200	146	130	127	110	120
K	142	132	117	100	26	29	101	197	212	130	235	135	120	100	90	100
L	90	131	102	90	17	16	42	113	124	139	145	130	99	80	50	99
M	81	64	90	43	10	11	23	40	80	76	74	68	45	26	45	80
N	45	52	50	20	5	5	9	8	35	56	42	55	20	15	30	45
O	30	26	30	9	2	1	2	8	20	20	32	28	10	8	20	25
P	12	10	12	2	1	0	1	5	8	10	12	15	5	5	10	20

**Tabla 43:** Datos superpuestos para un marco cuadrado de 20x20m, parcela del bloque

A-3, en el horario de 12:00-14:00 h.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
A	170	205	157	139	50	75	152	186	190	139	163	201	155	142	50	140
B	150	142	133	125	44	74	142	146	176	197	200	146	130	127	110	120
C	142	132	117	100	26	29	101	197	212	130	235	135	120	100	90	105
D	100	133	110	90	25	26	51	153	159	164	153	132	99	80	55	111
E	126	156	120	45	20	37	78	121	200	214	209	164	125	31	65	105
F	175	177	180	30	40	36	111	151	200	199	197	179	152	60	67	125
G	170	169	159	99	44	29	155	208	238	189	250	173	140	108	70	115
H	157	184	156	167	46	56	161	203	208	145	171	187	148	174	58	130

**Tabla 44:** Cálculo del CUC y DU del bloque A-3, en el horario de 12:00-14:00 h.

1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
N°	Lectura (ml) (q)	(q-q <sub>prom</sub> )	q (25%)	N°	Lectura (ml) (q)	(q-q <sub>prom</sub> )	q (25%)	N°	Lectura (ml) (q)	(q-q <sub>prom</sub> )	q (25%)	N°	Lectura (ml) (q)	(q-q <sub>prom</sub> )	q (25%)	
1	250	119.92	-	33	170	39.92	-	65	139	8.92	-	97	99	31.08	99.00	
2	238	107.92	-	34	169	38.92	-	66	135	4.92	-	98	90	40.08	90.00	
3	235	104.92	-	35	167	36.92	-	67	133	2.92	-	99	90	40.08	90.00	
4	214	83.92	-	36	164	33.92	-	68	133	2.92	-	100	80	50.08	80.00	
5	212	81.92	-	37	164	33.92	-	69	132	1.92	-	101	78	52.08	78.00	
6	209	78.92	-	38	163	32.92	-	70	132	1.92	-	102	75	55.08	75.00	
7	208	77.92	-	39	161	30.92	-	71	130	0.08	-	103	74	56.08	74.00	
8	208	77.92	-	40	159	28.92	-	72	130	0.08	-	104	70	60.08	70.00	
9	205	74.92	-	41	159	28.92	-	73	130	0.08	-	105	67	63.08	67.00	
10	203	72.92	-	42	157	26.92	-	74	127	3.08	-	106	65	65.08	65.00	
11	201	70.92	-	43	157	26.92	-	75	126	4.08	-	107	60	70.08	60.00	
12	200	69.92	-	44	156	25.92	-	76	125	5.08	-	108	58	72.08	58.00	
13	200	69.92	-	45	156	25.92	-	77	125	5.08	-	109	56	74.08	56.00	
14	200	69.92	-	46	155	24.92	-	78	125	5.08	-	110	55	75.08	55.00	
15	199	68.92	-	47	155	24.92	-	79	121	9.08	-	111	51	79.08	51.00	
16	197	66.92	-	48	153	22.92	-	80	120	10.08	-	112	50	80.08	50.00	
17	197	66.92	-	49	153	22.92	-	81	120	10.08	-	113	50	80.08	50.00	
18	197	66.92	-	50	152	21.92	-	82	120	10.08	-	114	46	84.08	46.00	
19	190	59.92	-	51	152	21.92	-	83	117	13.08	-	115	45	85.08	45.00	
20	189	58.92	-	52	151	20.92	-	84	115	15.08	-	116	44	86.08	44.00	
21	187	56.92	-	53	150	19.92	-	85	111	19.08	-	117	44	86.08	44.00	
22	186	55.92	-	54	148	17.92	-	86	111	19.08	-	118	40	90.08	40.00	
23	184	53.92	-	55	146	15.92	-	87	110	20.08	-	119	37	93.08	37.00	
24	180	49.92	-	56	146	15.92	-	88	110	20.08	-	120	36	94.08	36.00	
25	179	48.92	-	57	145	14.92	-	89	108	22.08	-	121	31	99.08	31.00	
26	177	46.92	-	58	142	11.92	-	90	105	25.08	-	122	30	100.08	30.00	
27	176	45.92	-	59	142	11.92	-	91	105	25.08	-	123	29	101.08	29.00	
28	175	44.92	-	60	142	11.92	-	92	101	29.08	-	124	29	101.08	29.00	
29	174	43.92	-	61	142	11.92	-	93	100	30.08	-	125	26	104.08	26.00	
30	173	42.92	-	62	140	9.92	-	94	100	30.08	-	126	26	104.08	26.00	
31	171	40.92	-	63	140	9.92	-	95	100	30.08	-	127	25	105.08	25.00	
32	170	39.92	-	64	139	8.92	-	96	99	31.08	-	128	20	110.08	20.00	
													<b>TOTAL</b>	<b>16650.00</b>	<b>5755.06</b>	<b>1676.00</b>
													<b>PROMEDIO</b>	<b>130.08</b>		<b>52.38</b>

**Datos obtenidos:**

Suma total de las lecturas de pluviómetros = 16 650.00 ml

Número total de lecturas = 128 ml

Promedio de lecturas = 16 650ml/128 = 130.08 ml

Sumatoria de cada lectura (Abs) menos el promedio total = 5 755.06 ml

Sumatoria de ¼ de datos menores del total = 1 676.00 ml

Promedio del 25% de datos menores = 1 676/32 = 52.38 ml

$$CUC = \left[ 1 - \frac{\sum(q_i - \bar{q})}{n * \bar{q}} \right] * 100$$

$$DU = \left( \frac{q_{25\%}}{q_{100\%}} \right) * 100$$

$$CUC = \left[ 1 - \frac{(5\ 755.06)}{128 * 130.08} \right] * 100 = 65.44 \%$$

$$DU = \left[ \frac{52.38}{130.08} \right] * 100 = 40.26 \%$$

#### 4.7.2.1. Cálculo del CUC y DU, en el horario de 16:00 – 18:00 horas.

**Tabla 45:** Datos de pluviometría del bloque A-3, en el horario de 16:00-18:00 h.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D	2	2	0	0	0	0	10	35	40	32	16	5	0	0	0	0
E	120	110	24	0	0	6	26	68	117	140	142	102	24	0	0	5
F	135	128	143	13	5	15	30	141	173	153	152	130	141	14	20	40
G	140	146	134	122	13	35	30	196	220	172	221	150	138	124	100	90
H	190	180	149	155	62	42	54	189	210	165	163	186	154	163	150	110
J	200	210	159	144	46	40	69	187	203	153	170	219	160	152	154	130
K	203	148	135	115	44	36	71	146	180	200	201	150	136	118	102	120
L	180	143	120	92	36	15	25	197	218	135	242	145	123	97	90	100
M	134	135	102	55	32	10	12	113	134	140	148	137	122	62	70	50
N	80	73	52	24	17	7	8	40	95	90	78	80	55	45	50	40
O	40	63	16	12	7	5	2	20	55	75	43	69	40	25	20	15
P	24	22	8	1	1	1	1	8	34	34	32	26	12	15	10	10
Q	10	10	5	1	1	1	1	5	15	15	15	10	5	5	5	5

**Tabla 46:** Datos superpuestos para un marco cuadrado de 20x20m, parcela del bloque A-3, en el horario de 16:00-18:00 h.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
A	200	210	159	144	46	40	69	187	203	153	170	219	160	152	154	130
B	203	148	135	115	44	36	71	146	180	200	201	150	136	118	102	120
C	180	143	120	92	36	15	25	197	218	135	242	145	123	97	90	100
D	136	137	102	55	32	10	22	148	174	172	164	142	122	62	70	50
E	200	183	76	24	17	13	34	108	212	230	220	182	79	45	50	45
F	175	191	159	25	12	20	32	161	228	228	195	199	181	39	40	55
G	164	168	142	123	14	36	31	204	254	206	253	176	150	139	110	100
H	200	190	154	156	63	43	55	194	225	180	178	196	159	168	155	115

**Tabla 47:** Cálculo del CUC y DU del bloque A-3, en el horario de 16:00-18:00 h.

1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
N°	Lectura (ml) (q)	(q-q <sub>prom</sub> )	q (25%)	N°	Lectura (ml) (q)	(q-q <sub>prom</sub> )	q (25%)	N°	Lectura (ml) (q)	(q-q <sub>prom</sub> )	q (25%)	N°	Lectura (ml) (q)	(q-q <sub>prom</sub> )	q (25%)	
1	254	125.75	-	33	180	51.75	-	65	142	13.75	-	97	62	66.25	62.00	
2	253	124.75	-	34	180	51.75	-	66	142	13.75	-	98	55	73.25	55.00	
3	242	113.75	-	35	180	51.75	-	67	139	10.75	-	99	55	73.25	55.00	
4	230	101.75	-	36	178	49.75	-	68	137	8.75	-	100	55	73.25	55.00	
5	228	99.75	-	37	176	47.75	-	69	136	7.75	-	101	50	78.25	50.00	
6	228	99.75	-	38	175	46.75	-	70	136	7.75	-	102	50	78.25	50.00	
7	225	96.75	-	39	174	45.75	-	71	135	6.75	-	103	46	82.25	46.00	
8	220	91.75	-	40	172	43.75	-	72	135	6.75	-	104	45	83.25	45.00	
9	219	90.75	-	41	170	41.75	-	73	130	1.75	-	105	45	83.25	45.00	
10	218	89.75	-	42	168	39.75	-	74	123	5.25	-	106	44	84.25	44.00	
11	212	83.75	-	43	168	39.75	-	75	123	5.25	-	107	43	85.25	43.00	
12	210	81.75	-	44	164	35.75	-	76	122	6.25	-	108	40	88.25	40.00	
13	206	77.75	-	45	164	35.75	-	77	120	8.25	-	109	40	88.25	40.00	
14	204	75.75	-	46	161	32.75	-	78	120	8.25	-	110	39	89.25	39.00	
15	203	74.75	-	47	160	31.75	-	79	118	10.25	-	111	36	92.25	36.00	
16	203	74.75	-	48	159	30.75	-	80	115	13.25	-	112	36	92.25	36.00	
17	201	72.75	-	49	159	30.75	-	81	115	13.25	-	113	36	92.25	36.00	
18	200	71.75	-	50	159	30.75	-	82	110	18.25	-	114	34	94.25	34.00	
19	200	71.75	-	51	156	27.75	-	83	108	20.25	-	115	32	96.25	32.00	
20	200	71.75	-	52	155	26.75	-	84	102	26.25	-	116	32	96.25	32.00	
21	200	71.75	-	53	154	25.75	-	85	102	26.25	-	117	31	97.25	31.00	
22	199	70.75	-	54	154	25.75	-	86	100	28.25	-	118	25	103.25	25.00	
23	197	68.75	-	55	153	24.75	-	87	100	28.25	-	119	25	103.25	25.00	
24	196	67.75	-	56	152	23.75	-	88	97	31.25	-	120	24	104.25	24.00	
25	195	66.75	-	57	150	21.75	-	89	92	36.25	-	121	22	106.25	22.00	
26	194	65.75	-	58	150	21.75	-	90	90	38.25	-	122	20	108.25	20.00	
27	191	62.75	-	59	148	19.75	-	91	79	49.25	-	123	17	111.25	17.00	
28	190	61.75	-	60	148	19.75	-	92	76	52.25	-	124	15	113.25	15.00	
29	187	58.75	-	61	146	17.75	-	93	71	57.25	-	125	14	114.25	14.00	
30	183	54.75	-	62	145	16.75	-	94	70	58.25	-	126	13	115.25	13.00	
31	182	53.75	-	63	144	15.75	-	95	69	59.25	-	127	12	116.25	12.00	
32	181	52.75	-	64	143	14.75	-	96	63	65.25	-	128	10	118.25	10.00	
													<b>TOTAL</b>	<b>16416.00</b>	<b>7331.50</b>	<b>1103.00</b>
													<b>PROMEDIO</b>	<b>128.25</b>		<b>34.47</b>

**Datos obtenidos:**

Suma total de las lecturas de pluviómetros = 16 416.00 ml

Número total de lecturas = 128

Promedio de lecturas = 16 416 ml/128 = 128.25ml

Sumatoria de cada lectura (Abs) menos el promedio total = 7 331.50 ml

Sumatoria de ¼ de datos menores del total = 1 103.00 ml

Promedio del 25% de datos menores = 1 103/32 = 34.47 ml

$$CUC = \left[ 1 - \frac{\sum(q_i - \bar{q})}{n * \bar{q}} \right] * 100$$

$$DU = \left( \frac{q_{25\%}}{q_{100\%}} \right) * 100$$

$$CUC = \left[ 1 - \frac{(7\ 331.50)}{128 * 128.25} \right] * 100 = 55.34\%$$

$$DU = \left[ \frac{34.47}{128.25} \right] * 100 = 26.88 \%$$

#### 4.7.3. Parcela del bloque B-2.

##### 4.7.3.1. Cálculo del CUC y DU, en el horario de 05:30 - 07:30 horas.

**Tabla 48:** Datos de pluviometría del bloque B-2, en el horario de 05:30-07:30 h.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
A	5	0	0	0	1	1	5	5	5	4	5	0	0	0	5	5
B	12	1	1	1	5	26	60	75	78	86	30	1	1	1	12	20
C	70	45	14	20	75	123	156	150	136	130	106	46	16	23	80	50
D	100	99	62	108	165	120	120	130	135	143	134	101	65	110	168	90
E	130	123	148	113	120	98	125	218	176	96	122	120	150	116	123	110
F	145	133	181	160	132	214	177	140	165	215	90	134	180	163	130	141
G	150	132	185	155	160	174	120	115	125	130	185	136	183	158	163	178
H	120	109	175	159	175	125	100	142	160	100	143	112	171	160	173	158
J	125	100	195	141	155	104	86	100	125	95	145	90	194	145	157	165
K	100	100	175	124	110	143	93	85	100	115	120	105	178	125	109	136
L	99	127	89	124	87	103	75	144	150	190	80	129	90	127	110	143
M	80	108	38	85	110	101	81	85	75	95	125	111	42	90	103	120
N	60	30	20	18	64	119	125	116	130	130	115	34	25	22	63	80
O	12	20	5	19	10	38	64	80	75	45	22	19	8	14	19	30
P	5	1	1	1	1	8	10	11	12	10	8	1	1	1	5	10
Q	1	0	0	0	0	2	2	2	2	2	1	0	0	0	1	5

**Tabla 49:** Datos superpuestos para un marco cuadrado de 20x20m, parcela del bloque

B-2, en el horario de 05:30-07:30 h.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
A	130	100	195	141	156	105	91	105	130	99	150	90	194	145	162	170
B	112	101	176	125	115	169	153	160	178	201	150	106	179	126	121	156
C	169	172	103	144	162	226	231	294	286	320	186	175	106	150	190	193
D	180	207	100	193	275	221	201	215	210	238	259	212	107	200	271	210
E	190	153	168	131	184	217	250	334	306	226	237	154	175	138	186	190
F	157	153	186	179	142	252	241	220	240	260	112	153	188	177	149	171
G	155	133	186	156	161	182	130	126	137	140	193	137	184	159	168	188
H	121	109	175	159	175	127	102	144	162	102	144	112	171	160	174	163

**Tabla 50:** Cálculo del CUC y DU del bloque B-2, en el horario de 05:30-07:30 h.

1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
N°	Lectura (ml) (q)	(q-q <sub>prom</sub> )	q (25%)	N°	Lectura (ml) (q)	(q-q <sub>prom</sub> )	q (25%)	N°	Lectura (ml) (q)	(q-q <sub>prom</sub> )	q (25%)	N°	Lectura (ml) (q)	(q-q <sub>prom</sub> )	q (25%)	
1	334	162.51	_	33	193	21.51	_	65	168	3.49	_	97	137	34.49	137.00	
2	320	148.51	_	34	193	21.51	_	66	163	8.49	_	98	137	34.49	137.00	
3	306	134.51	_	35	190	18.51	_	67	162	9.49	_	99	133	38.49	133.00	
4	294	122.51	_	36	190	18.51	_	68	162	9.49	_	100	131	40.49	131.00	
5	286	114.51	_	37	190	18.51	_	69	162	9.49	_	101	130	41.49	130.00	
6	275	103.51	_	38	188	16.51	_	70	161	10.49	_	102	130	41.49	130.00	
7	271	99.51	_	39	188	16.51	_	71	160	11.49	_	103	130	41.49	130.00	
8	260	88.51	_	40	186	14.51	_	72	160	11.49	_	104	127	44.49	127.00	
9	259	87.51	_	41	186	14.51	_	73	159	12.49	_	105	126	45.49	126.00	
10	252	80.51	_	42	186	14.51	_	74	159	12.49	_	106	126	45.49	126.00	
11	250	78.51	_	43	186	14.51	_	75	157	14.49	_	107	125	46.49	125.00	
12	241	69.51	_	44	184	12.51	_	76	156	15.49	_	108	121	50.49	121.00	
13	240	68.51	_	45	184	12.51	_	77	156	15.49	_	109	121	50.49	121.00	
14	238	66.51	_	46	182	10.51	_	78	156	15.49	_	110	115	56.49	115.00	
15	237	65.51	_	47	180	8.51	_	79	155	16.49	_	111	112	59.49	112.00	
16	231	59.51	_	48	179	7.51	_	80	154	17.49	_	112	112	59.49	112.00	
17	226	54.51	_	49	179	7.51	_	81	153	18.49	_	113	112	59.49	112.00	
18	226	54.51	_	50	178	6.51	_	82	153	18.49	_	114	109	62.49	109.00	
19	221	49.51	_	51	177	5.51	_	83	153	18.49	_	115	107	64.49	107.00	
20	220	48.51	_	52	176	4.51	_	84	153	18.49	_	116	106	65.49	106.00	
21	217	45.51	_	53	175	3.51	_	85	150	21.49	_	117	106	65.49	106.00	
22	215	43.51	_	54	175	3.51	_	86	150	21.49	_	118	105	66.49	105.00	
23	212	40.51	_	55	175	3.51	_	87	150	21.49	_	119	105	66.49	105.00	
24	210	38.51	_	56	175	3.51	_	88	149	22.49	_	120	103	68.49	103.00	
25	210	38.51	_	57	174	2.51	_	89	145	26.49	_	121	102	69.49	102.00	
26	207	35.51	_	58	172	0.51	_	90	144	27.49	_	122	102	69.49	102.00	
27	201	29.51	_	59	171	0.49	_	91	144	27.49	_	123	101	70.49	101.00	
28	201	29.51	_	60	171	0.49	_	92	144	27.49	_	124	100	71.49	100.00	
29	200	28.51	_	61	170	1.49	_	93	142	29.49	_	125	100	71.49	100.00	
30	195	23.51	_	62	169	2.49	_	94	141	30.49	_	126	99	72.49	99.00	
31	194	22.51	_	63	169	2.49	_	95	140	31.49	_	127	91	80.49	91.00	
32	193	21.51	_	64	168	3.49	_	96	138	33.49	_	128	90	81.49	90.00	
													<b>TOTAL</b>	<b>21951.00</b>	<b>4872.91</b>	<b>3651.00</b>
													<b>PROMEDIO</b>	<b>171.49</b>		<b>114.09</b>

**Datos obtenidos:**

Suma total de las lecturas de pluviómetros = 21 951.00 ml

Número total de lecturas = 128

Promedio de lecturas = 21 951 ml/128= 171.49 ml

Sumatoria de cada lectura (Abs) menos el promedio total = 4 872.91 ml

Sumatoria de ¼ de datos menores del total = 3 651.00 ml

Promedio del 25% de datos menores = 3 651/32 = 114.09 ml

$$CUC = \left[ 1 - \frac{\sum(q_i - \bar{q})}{n * \bar{q}} \right] * 100$$

$$DU = \left( \frac{q_{25\%}}{q_{100\%}} \right) * 100$$

$$CUC = \left[ 1 - \frac{(4\ 872.91)}{128 * 171.49} \right] * 100 = 77.80 \%$$

$$DU = \left[ \frac{114.09}{171.49} \right] * 100 = 66.53 \%$$

#### 4.7.3.2. Cálculo del CUC y DU, en el horario de 12:00 – 14:00 horas.

**Tabla 51:** Datos de pluviometría del bloque B-2, en el horario de 12:00-14:00 h.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
A	10	5	5	5	8	8	8	14	15	8	5	2	2	5	5	8
B	28	14	15	14	15	37	28	50	35	30	22	14	37	10	12	30
C	45	35	74	64	70	50	48	60	67	46	48	30	70	64	67	48
D	70	80	94	67	60	78	60	80	106	67	50	78	92	70	64	66
E	81	66	71	58	81	110	83	165	177	115	40	63	69	60	80	80
F	96	88	54	82	93	186	134	211	205	195	60	85	53	86	90	100
G	90	106	85	112	228	257	250	220	241	232	96	101	82	110	220	110
H	100	125	79	115	270	274	240	233	120	219	138	122	80	118	268	128
J	132	134	103	133	236	240	255	228	145	184	176	130	100	130	232	148
K	140	145	118	152	235	200	146	207	175	148	169	142	120	150	228	165
L	138	165	123	103	145	220	225	190	143	102	128	161	125	100	143	146
M	110	103	110	112	128	102	100	84	70	28	80	100	113	104	130	107
N	65	73	69	85	69	64	50	45	26	18	50	74	71	80	65	90
O	40	22	38	37	38	37	29	23	15	10	32	20	34	34	32	69
P	35	23	14	20	20	23	14	8	8	5	7	18	11	16	15	20
Q	8	10	5	8	8	8	5	2	2	2	2	2	2	2	5	8

**Tabla 52:** Datos superpuestos para un marco cuadrado de 20x20m, parcela del bloque B-2, en el horario de 12:00-14:00 h.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
A	142	139	108	138	244	248	263	242	160	192	181	132	102	135	237	156
B	168	159	133	166	250	237	174	257	210	178	191	156	157	160	240	195
C	183	200	197	167	215	270	273	250	210	148	176	191	195	164	210	194
D	180	183	204	179	188	180	160	164	176	95	130	178	205	174	194	173
E	146	139	140	143	150	174	133	210	203	133	90	137	140	140	145	170
F	136	110	92	119	131	223	163	234	220	205	92	105	87	120	122	169
G	125	129	99	132	248	280	264	228	249	237	103	119	93	126	235	130
H	108	135	84	123	278	282	245	235	122	221	140	124	82	120	273	136

**Tabla 53:** Cálculo del CUC y DU del bloque B-2, en el horario de 12:00-14:00 h.

1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
N°	Lectura (ml) (q)	(q- $\Phi_{prom}$ )	q (25%)	N°	Lectura (ml) (q)	(q- $\Phi_{prom}$ )	q (25%)	N°	Lectura (ml) (q)	(q- $\Phi_{prom}$ )	q (25%)	N°	Lectura (ml) (q)	(q- $\Phi_{prom}$ )	q (25%)	
1	282	109	-	33	210	37	-	65	167	6	-	97	133	40	133.00	
2	280	107	-	34	205	32	-	66	166	7	-	98	132	41	132.00	
3	278	105	-	35	205	32	-	67	164	9	-	99	132	41	132.00	
4	273	100	-	36	204	31	-	68	164	9	-	100	131	42	131.00	
5	273	100	-	37	203	30	-	69	163	10	-	101	130	43	130.00	
6	270	97	-	38	200	27	-	70	160	13	-	102	130	43	130.00	
7	264	91	-	39	197	24	-	71	160	13	-	103	129	44	129.00	
8	263	90	-	40	195	22	-	72	160	13	-	104	126	47	126.00	
9	257	84	-	41	195	22	-	73	159	14	-	105	125	48	125.00	
10	250	77	-	42	194	21	-	74	157	16	-	106	124	49	124.00	
11	250	77	-	43	194	21	-	75	156	17	-	107	123	50	123.00	
12	249	76	-	44	192	19	-	76	156	17	-	108	122	51	122.00	
13	248	75	-	45	191	18	-	77	150	23	-	109	122	51	122.00	
14	248	75	-	46	191	18	-	78	148	25	-	110	120	53	120.00	
15	245	72	-	47	188	15	-	79	146	27	-	111	120	53	120.00	
16	244	71	-	48	183	10	-	80	145	28	-	112	119	54	119.00	
17	242	69	-	49	183	10	-	81	143	30	-	113	119	54	119.00	
18	240	67	-	50	181	8	-	82	142	31	-	114	110	63	110.00	
19	237	64	-	51	180	7	-	83	140	33	-	115	108	65	108.00	
20	237	64	-	52	180	7	-	84	140	33	-	116	108	65	108.00	
21	237	64	-	53	179	6	-	85	140	33	-	117	105	68	105.00	
22	235	62	-	54	178	5	-	86	140	33	-	118	103	70	103.00	
23	235	62	-	55	178	5	-	87	139	34	-	119	102	71	102.00	
24	234	61	-	56	176	3	-	88	139	34	-	120	99	74	99.00	
25	228	55	-	57	176	3	-	89	138	35	-	121	95	78	95.00	
26	223	50	-	58	174	1	-	90	137	36	-	122	93	80	93.00	
27	221	48	-	59	174	1	-	91	136	37	-	123	92	81	92.00	
28	220	47	-	60	174	1	-	92	136	37	-	124	92	81	92.00	
29	215	42	-	61	173	0	-	93	135	38	-	125	90	83	90.00	
30	210	37	-	62	170	3	-	94	135	38	-	126	87	86	87.00	
31	210	37	-	63	169	4	-	95	133	40	-	127	84	89	84.00	
32	210	37	-	64	168	5	-	96	133	40	-	128	82	91	82.00	
													<b>TOTAL</b>	<b>22082.00</b>	<b>5475.09</b>	<b>3587.00</b>
													<b>PROMEDIO</b>	<b>172.52</b>		<b>112.09</b>

**Datos obtenidos:**

Suma total de las lecturas de pluviómetros = 22 082.00 ml

Número total de lecturas = 128

Promedio de lecturas = 22 082 ml/128 = 172.52 ml

Sumatoria de cada lectura (Abs) menos el promedio total = 5 475.09 ml

Sumatoria de ¼ de datos menores del total = 3 587.00 ml

Promedio del 25% de datos menores = 3 587/32 = 112.09 ml



$$CUC = \left[ 1 - \frac{\sum(q_i - \bar{q})}{n * \bar{q}} \right] * 100$$

$$DU = \left( \frac{q_{25\%}}{q_{100\%}} \right) * 100$$

$$CUC = \left[ 1 - \frac{(5\ 475.09)}{128 * 172.52} \right] * 100 = 75.21 \%$$

$$DU = \left[ \frac{112.09}{172.52} \right] * 100 = 64.98 \%$$

#### 4.7.3.1. Cálculo del CUC y DU, en el horario de 16:00 – 18:00 horas.

**Tabla 54:** Datos de pluviometría del bloque B-2, en el horario de 16:00-18:00 h.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
A	24	30	35	28	28	38	35	58	50	30	28	20	24	20	28	30
B	60	52	60	68	64	76	72	90	92	76	75	48	63	64	60	78
C	78	81	90	83	78	86	92	95	95	90	81	78	87	80	75	92
D	96	88	112	94	100	95	105	124	115	100	95	90	110	95	96	120
E	124	135	130	120	123	135	151	201	200	145	106	138	131	117	120	145
F	143	136	143	130	190	160	150	158	195	200	96	140	140	133	189	180
G	140	162	135	145	165	142	126	136	165	170	142	160	134	144	160	162
H	149	160	129	128	191	121	125	122	145	152	140	162	131	125	180	158
I	120	130	130	145	182	125	121	125	125	135	137	135	129	147	177	142
J	100	129	120	140	150	140	120	115	132	149	142	134	119	137	153	135
K	92	92	110	113	119	125	145	120	130	131	137	98	100	104	114	110
L	83	75	90	100	93	85	110	125	100	110	80	80	88	95	90	100
M	75	58	65	78	75	72	80	73	85	84	65	60	60	70	65	72
N	57	40	42	45	51	70	70	70	68	57	55	42	37	40	38	51
O	38	30	12	8	12	24	40	40	50	49	45	28	15	20	25	38
P	10	8	5	2	5	5	10	10	8	10	8	5	5	8	8	10

**Tabla 55:** Datos superpuestos para un marco cuadrado de 20x20m, parcela del bloque

B-2, en el horario de 16:00-18:00 h.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
A	144	160	165	173	210	163	156	183	175	165	165	155	153	167	205	172
B	160	181	180	208	214	216	192	205	224	225	217	182	182	201	213	213
C	170	173	200	196	197	211	237	215	225	221	218	176	187	184	189	202
D	179	163	202	194	193	180	215	249	215	210	175	170	198	190	186	220
E	199	193	195	198	198	207	231	274	285	229	171	198	191	187	185	217
F	200	176	185	175	241	230	220	228	263	257	151	182	177	173	227	231
G	178	192	147	153	177	166	166	176	215	219	187	188	149	164	185	200
H	159	168	134	130	196	126	135	132	153	162	148	167	136	133	188	168

**Tabla 56:** Cálculo del CUC y DU del bloque B-2, en el horario de 16:00-18:00 h.

1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
N°	Lectura (ml) (q)	(q- $\phi_{prom}$ )	q (25%)	N°	Lectura (ml) (q)	(q- $\phi_{prom}$ )	q (25%)	N°	Lectura (ml) (q)	(q- $\phi_{prom}$ )	q (25%)	N°	Lectura (ml) (q)	(q- $\phi_{prom}$ )	q (25%)	
1	285	95.66	-	33	210	20.66	-	65	187	2.34	-	97	168	21.34	168.00	
2	274	84.66	-	34	210	20.66	-	66	187	2.34	-	98	167	22.34	167.00	
3	263	73.66	-	35	208	18.66	-	67	186	3.34	-	99	167	22.34	167.00	
4	257	67.66	-	36	207	17.66	-	68	185	4.34	-	100	166	23.34	166.00	
5	249	59.66	-	37	205	15.66	-	69	185	4.34	-	101	166	23.34	166.00	
6	241	51.66	-	38	205	15.66	-	70	185	4.34	-	102	165	24.34	165.00	
7	237	47.66	-	39	202	12.66	-	71	184	5.34	-	103	165	24.34	165.00	
8	231	41.66	-	40	202	12.66	-	72	183	6.34	-	104	165	24.34	165.00	
9	231	41.66	-	41	201	11.66	-	73	182	7.34	-	105	164	25.34	164.00	
10	230	40.66	-	42	200	10.66	-	74	182	7.34	-	106	163	26.34	163.00	
11	229	39.66	-	43	200	10.66	-	75	182	7.34	-	107	163	26.34	163.00	
12	228	38.66	-	44	200	10.66	-	76	181	8.34	-	108	162	27.34	162.00	
13	227	37.66	-	45	199	9.66	-	77	180	9.34	-	109	160	29.34	160.00	
14	225	35.66	-	46	198	8.66	-	78	180	9.34	-	110	160	29.34	160.00	
15	225	35.66	-	47	198	8.66	-	79	179	10.34	-	111	159	30.34	159.00	
16	224	34.66	-	48	198	8.66	-	80	178	11.34	-	112	156	33.34	156.00	
17	221	31.66	-	49	198	8.66	-	81	177	12.34	-	113	155	34.34	155.00	
18	220	30.66	-	50	197	7.66	-	82	177	12.34	-	114	153	36.34	153.00	
19	220	30.66	-	51	196	6.66	-	83	176	13.34	-	115	153	36.34	153.00	
20	219	29.66	-	52	196	6.66	-	84	176	13.34	-	116	153	36.34	153.00	
21	218	28.66	-	53	195	5.66	-	85	176	13.34	-	117	151	38.34	151.00	
22	217	27.66	-	54	194	4.66	-	86	175	14.34	-	118	149	40.34	149.00	
23	217	27.66	-	55	193	3.66	-	87	175	14.34	-	119	148	41.34	148.00	
24	216	26.66	-	56	193	3.66	-	88	175	14.34	-	120	147	42.34	147.00	
25	215	25.66	-	57	192	2.66	-	89	173	16.34	-	121	144	45.34	144.00	
26	215	25.66	-	58	192	2.66	-	90	173	16.34	-	122	136	53.34	136.00	
27	215	25.66	-	59	191	1.66	-	91	173	16.34	-	123	135	54.34	135.00	
28	215	25.66	-	60	190	0.66	-	92	172	17.34	-	124	134	55.34	134.00	
29	214	24.66	-	61	189	0.34	-	93	171	18.34	-	125	133	56.34	133.00	
30	213	23.66	-	62	188	1.34	-	94	170	19.34	-	126	132	57.34	132.00	
31	213	23.66	-	63	188	1.34	-	95	170	19.34	-	127	130	59.34	130.00	
32	211	21.66	-	64	187	2.34	-	96	168	21.34	-	128	126	63.34	126.00	
													<b>TOTAL</b>	<b>24235.00</b>	<b>3049.69</b>	<b>4895.00</b>
													<b>PROMEDIO</b>	<b>189.34</b>		<b>152.97</b>

**Datos obtenidos:**

Suma total de las lecturas de pluviómetros = 24 235.00 ml

Número total de lecturas = 128

Promedio de lecturas = 24 235 ml/128 = 189.34 ml

Sumatoria de cada lectura (Abs) menos el promedio total = 3 049.69 ml

Sumatoria de ¼ de datos menores del total = 4 895.00 ml

Promedio del 25% de datos menores = 4 895/32 = 152.97 ml

$$CUC = \left[ 1 - \frac{\sum(q_i - \bar{q})}{n * \bar{q}} \right] * 100$$

$$DU = \left( \frac{q_{25\%}}{q_{100\%}} \right) * 100$$

$$CUC = \left[ 1 - \frac{(3\ 049.69)}{128 * 189.34} \right] * 100 = 87.42 \%$$

$$DU = \left[ \frac{152.97}{189.34} \right] * 100 = 80.79 \%$$

#### 4.7.4. Parcela del bloque B-4.

##### 4.7.4.1. Cálculo del CUC y DU, en el horario de 05:30 - 07:30 horas.

**Tabla 57:** Datos de pluviometría del bloque B-4, en el horario de 05:30-07:30 h.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
A	2	0	0	0	0	5	5	5	5	2	0	0	0	0	0	7
B	10	7	0	0	7	20	27	23	35	10	2	0	0	0	5	35
C	27	22	20	25	40	65	63	64	66	53	46	20	18	20	38	63
D	40	53	78	70	75	68	59	58	62	58	58	50	76	68	75	78
E	58	70	115	86	65	52	83	127	127	71	67	66	112	85	68	86
F	76	95	142	98	79	122	137	120	110	127	123	91	141	95	80	100
G	110	155	152	114	113	179	109	167	127	111	127	156	154	111	110	132
H	132	175	155	118	147	168	139	255	234	132	131	172	156	113	145	155
I	158	190	160	132	122	193	137	266	224	126	133	188	158	130	120	168
J	179	140	180	125	113	210	154	147	146	142	159	139	178	123	110	175
K	137	99	161	160	90	80	228	176	210	195	121	103	160	157	91	139
L	122	85	130	139	98	83	98	118	136	90	71	82	131	137	95	110
M	97	73	45	95	106	100	86	99	83	97	70	76	40	91	98	97
N	70	31	10	12	65	76	80	97	80	81	62	26	0	7	63	76
O	35	5	0	0	7	24	48	58	53	36	5	0	0	0	5	45
P	10	0	0	0	2	10	15	20	20	15	0	0	0	0	0	10

**Tabla 58:** Datos superpuestos para un marco cuadrado de 20x20m, parcela del bloque B-4, en el horario de 05:30-07:30 h.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
A	160	190	160	132	122	198	142	271	229	128	133	188	158	130	120	175
B	189	147	180	125	120	230	181	170	181	152	161	139	178	123	115	210
C	164	121	181	185	130	145	291	240	276	248	167	123	178	177	129	202
D	162	138	208	209	173	151	157	176	198	148	129	132	207	205	170	188
E	155	143	160	181	171	152	169	226	210	168	137	142	152	176	166	183
F	146	126	152	110	144	198	217	217	190	208	185	117	141	102	143	176
G	145	160	152	114	120	203	157	225	180	147	132	156	154	111	115	177
H	142	175	155	118	149	178	154	275	254	147	131	172	156	113	145	165

**Tabla 59:** Cálculo del CUC y DU del bloque B-4, en el horario de 05:30-07:30 h.

1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
N°	Lectura (ml) (q)	(q- $q_{prom}$ )	q (25%)	N°	Lectura (ml) (q)	(q- $q_{prom}$ )	q (25%)	N°	Lectura (ml) (q)	(q- $q_{prom}$ )	q (25%)	N°	Lectura (ml) (q)	(q- $q_{prom}$ )	q (25%)
1	291	124.71	-	33	183	16.71	-	65	160	6.29	-	97	141	25.29	141.00
2	276	109.71	-	34	181	14.71	-	66	160	6.29	-	98	139	27.29	139.00
3	275	108.71	-	35	181	14.71	-	67	158	8.29	-	99	138	28.29	138.00
4	271	104.71	-	36	181	14.71	-	68	157	9.29	-	100	137	29.29	137.00
5	254	87.71	-	37	181	14.71	-	69	157	9.29	-	101	133	33.29	133.00
6	248	81.71	-	38	180	13.71	-	70	156	10.29	-	102	132	34.29	132.00
7	240	73.71	-	39	180	13.71	-	71	156	10.29	-	103	132	34.29	132.00
8	230	63.71	-	40	178	11.71	-	72	155	11.29	-	104	132	34.29	132.00
9	229	62.71	-	41	178	11.71	-	73	155	11.29	-	105	131	35.29	131.00
10	226	59.71	-	42	178	11.71	-	74	154	12.29	-	106	130	36.29	130.00
11	225	58.71	-	43	177	10.71	-	75	154	12.29	-	107	130	36.29	130.00
12	217	50.71	-	44	177	10.71	-	76	152	14.29	-	108	129	37.29	129.00
13	217	50.71	-	45	176	9.71	-	77	152	14.29	-	109	129	37.29	129.00
14	210	43.71	-	46	176	9.71	-	78	152	14.29	-	110	128	38.29	128.00
15	210	43.71	-	47	176	9.71	-	79	152	14.29	-	111	126	40.29	126.00
16	209	42.71	-	48	175	8.71	-	80	152	14.29	-	112	125	41.29	125.00
17	208	41.71	-	49	175	8.71	-	81	151	15.29	-	113	123	43.29	123.00
18	208	41.71	-	50	173	6.71	-	82	149	17.29	-	114	123	43.29	123.00
19	207	40.71	-	51	172	5.71	-	83	148	18.29	-	115	122	44.29	122.00
20	205	38.71	-	52	171	4.71	-	84	147	19.29	-	116	121	45.29	121.00
21	203	36.71	-	53	170	3.71	-	85	147	19.29	-	117	120	46.29	120.00
22	202	35.71	-	54	170	3.71	-	86	147	19.29	-	118	120	46.29	120.00
23	198	31.71	-	55	169	2.71	-	87	146	20.29	-	119	120	46.29	120.00
24	198	31.71	-	56	168	1.71	-	88	145	21.29	-	120	118	48.29	118.00
25	198	31.71	-	57	167	0.71	-	89	145	21.29	-	121	117	49.29	117.00
26	190	23.71	-	58	166	0.29	-	90	145	21.29	-	122	115	51.29	115.00
27	190	23.71	-	59	165	1.29	-	91	144	22.29	-	123	115	51.29	115.00
28	189	22.71	-	60	164	2.29	-	92	143	23.29	-	124	114	52.29	114.00
29	188	21.71	-	61	162	4.29	-	93	143	23.29	-	125	113	53.29	113.00
30	188	21.71	-	62	161	5.29	-	94	142	24.29	-	126	111	55.29	111.00
31	185	18.71	-	63	160	6.29	-	95	142	24.29	-	127	110	56.29	110.00
32	185	18.71	-	64	160	6.29	-	96	142	24.29	-	128	102	64.29	102.00
<b>TOTAL</b>													<b>21285.00</b>	<b>3769.05</b>	<b>3976.00</b>
<b>PROMEDIO</b>													<b>166.29</b>		<b>124.25</b>

**Datos obtenidos:**

Suma total de las lecturas de pluviómetros = 21 285.00 ml

Número total de lecturas = 128

Promedio de lecturas = 21 285 ml/128 = 166.29 ml

Sumatoria de cada lectura (Abs) menos el promedio total = 4 769.05 ml

Sumatoria de ¼ de datos menores del total = 3 976.00 ml

Promedio del 25% de datos menores = 3 976/32 = 124.25 ml



$$CUC = \left[ 1 - \frac{\sum(q_i - \bar{q})}{n * \bar{q}} \right] * 100$$

$$DU = \left( \frac{q_{25\%}}{q_{100\%}} \right) * 100$$

$$CUC = \left[ 1 - \frac{(3\ 769.05)}{128 * 166.29} \right] * 100 = 82.29 \%$$

$$DU = \left[ \frac{124.25}{166.29} \right] * 100 = 74.72 \%$$

#### 4.7.4.2. Cálculo del CUC y DU, en el horario de 12:00 – 14:00 horas.

**Tabla 60:** Datos de pluviometría del bloque B-4, en el horario de 12:00-14:00 h.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D	1	2	2	1	9	5	8	35	22	25	2	2	7	2	12	35
E	25	92	81	10	14	28	53	84	119	138	140	98	85	14	18	67
F	130	125	127	25	31	32	105	145	165	140	155	127	130	25	35	75
G	125	140	136	72	48	28	157	200	225	175	214	139	138	75	65	92
H	165	167	150	169	29	60	160	200	145	131	166	168	152	172	167	125
I	172	201	159	135	41	78	150	160	180	130	165	200	161	137	120	145
J	160	135	133	125	35	75	145	145	180	161	196	136	136	130	107	161
K	140	130	120	87	22	30	90	197	210	225	240	133	124	110	90	130
L	119	129	107	45	14	12	33	116	121	140	116	131	112	51	53	116
M	90	65	40	18	7	10	23	35	70	90	85	67	42	22	30	98
N	75	72	28	9	2	5	12	10	14	56	65	75	12	13	18	60
O	53	78	14	1	1	1	5	5	51	48	53	80	5	8	7	35
P	10	25	5	0	0	0	1	1	25	22	25	31	1	1	2	12

**Tabla 61:** Datos superpuestos para un marco cuadrado de 20x20m, parcela del bloque B-4, en el horario de 12:00 – 14:00 h.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
A	172	201	159	135	41	78	150	160	180	130	165	200	161	137	120	145
B	160	135	133	125	35	75	145	145	180	161	196	136	136	130	107	161
C	140	130	120	87	22	30	90	197	210	225	240	133	124	110	90	130
D	120	131	109	46	23	17	41	151	143	165	118	133	119	53	65	151
E	115	157	121	28	21	38	76	119	189	228	225	165	127	36	48	165
F	205	197	155	34	33	37	117	155	179	196	220	202	142	38	53	135
G	178	218	150	73	49	29	162	205	276	223	267	219	143	83	72	127
H	175	192	155	169	29	60	161	201	170	153	191	199	153	173	169	137

**Tabla 62:** Cálculo del CUC y DU del bloque B-4, en el horario de 12:00-14:00 h.

1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
N°	Lectura (ml) (q)	(q-Q-prom)	q (25%)	N°	Lectura (ml) (q)	(q-Q-prom)	q (25%)	N°	Lectura (ml) (q)	(q-Q-prom)	q (25%)	N°	Lectura (ml) (q)	(q-Q-prom)	q (25%)	
1	276	142.61	-	33	170	36.61	-	65	137	3.61	-	97	90	43.39	90.00	
2	267	133.61	-	34	169	35.61	-	66	137	3.61	-	98	87	46.39	87.00	
3	240	106.61	-	35	169	35.61	-	67	136	2.61	-	99	83	50.39	83.00	
4	228	94.61	-	36	165	31.61	-	68	136	2.61	-	100	78	55.39	78.00	
5	225	91.61	-	37	165	31.61	-	69	135	1.61	-	101	76	57.39	76.00	
6	225	91.61	-	38	165	31.61	-	70	135	1.61	-	102	75	58.39	75.00	
7	223	89.61	-	39	165	31.61	-	71	135	1.61	-	103	73	60.39	73.00	
8	220	86.61	-	40	162	28.61	-	72	133	0.39	-	104	72	61.39	72.00	
9	219	85.61	-	41	161	27.61	-	73	133	0.39	-	105	65	68.39	65.00	
10	218	84.61	-	42	161	27.61	-	74	133	0.39	-	106	60	73.39	60.00	
11	210	76.61	-	43	161	27.61	-	75	131	2.39	-	107	53	80.39	53.00	
12	205	71.61	-	44	161	27.61	-	76	130	3.39	-	108	53	80.39	53.00	
13	205	71.61	-	45	160	26.61	-	77	130	3.39	-	109	49	84.39	49.00	
14	202	68.61	-	46	160	26.61	-	78	130	3.39	-	110	48	85.39	48.00	
15	201	67.61	-	47	159	25.61	-	79	130	3.39	-	111	46	87.39	46.00	
16	201	67.61	-	48	157	23.61	-	80	127	6.39	-	112	41	92.39	41.00	
17	200	66.61	-	49	155	21.61	-	81	127	6.39	-	113	41	92.39	41.00	
18	199	65.61	-	50	155	21.61	-	82	125	8.39	-	114	38	95.39	38.00	
19	197	63.61	-	51	155	21.61	-	83	124	9.39	-	115	38	95.39	38.00	
20	197	63.61	-	52	153	19.61	-	84	121	12.39	-	116	37	96.39	37.00	
21	196	62.61	-	53	153	19.61	-	85	120	13.39	-	117	36	97.39	36.00	
22	196	62.61	-	54	151	17.61	-	86	120	13.39	-	118	35	98.39	35.00	
23	192	58.61	-	55	151	17.61	-	87	120	13.39	-	119	34	99.39	34.00	
24	191	57.61	-	56	150	16.61	-	88	119	14.39	-	120	33	100.39	33.00	
25	189	55.61	-	57	150	16.61	-	89	119	14.39	-	121	30	103.39	30.00	
26	180	46.61	-	58	145	11.61	-	90	118	15.39	-	122	29	104.39	29.00	
27	180	46.61	-	59	145	11.61	-	91	117	16.39	-	123	29	104.39	29.00	
28	179	45.61	-	60	145	11.61	-	92	115	18.39	-	124	28	105.39	28.00	
29	178	44.61	-	61	143	9.61	-	93	110	23.39	-	125	23	110.39	23.00	
30	175	41.61	-	62	143	9.61	-	94	109	24.39	-	126	22	111.39	22.00	
31	173	39.61	-	63	142	8.61	-	95	107	26.39	-	127	21	112.39	21.00	
32	172	38.61	-	64	140	6.61	-	96	90	43.39	-	128	17	116.39	17.00	
													<b>TOTAL</b>	<b>17074.00</b>	<b>6050.53</b>	<b>1540.00</b>
													<b>PROMEDIO</b>	<b>133.39</b>		<b>48.13</b>

**Datos obtenidos:**

Suma total de las lecturas de pluviómetros = 17 074.00 ml

Número total de lecturas = 128

Promedio de lecturas = 17 074 ml/128 = 133.39 ml

Sumatoria de cada lectura (Abs) menos el promedio total = 6 050.53 ml

Sumatoria de ¼ de datos menores del total = 1 540.00 ml

Promedio del 25% de datos menores = 1 540/32 = 48.13 ml

$$CUC = \left[ 1 - \frac{\sum(q_i - \bar{q})}{n * \bar{q}} \right] * 100$$

$$DU = \left( \frac{q_{25\%}}{q_{100\%}} \right) * 100$$

$$CUC = \left[ 1 - \frac{(6\ 050.53)}{128 * 133.39} \right] * 100 = 64.56 \%$$

$$DU = \left[ \frac{48.13}{133.39} \right] * 100 = 36.08 \%$$

#### 4.7.4.1. Cálculo del CUC y DU, en el horario de 16:00 – 18:00 horas.

**Tabla 63:** Datos de pluviometría del bloque B-4, en el horario de 16:00-18:00 h.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D	5	0	0	0	5	0	5	25	18	22	12	5	1	0	0	2
E	77	89	79	16	12	26	50	79	111	133	135	91	81	12	12	5
F	135	122	125	35	27	29	99	140	159	137	150	125	127	38	42	60
G	142	139	135	76	42	26	150	198	221	170	210	142	135	80	50	80
H	161	164	145	166	26	58	156	195	139	127	161	168	148	170	65	91
I	170	199	155	137	38	76	148	157	178	125	159	201	156	141	90	110
J	185	133	126	120	34	70	139	141	175	157	185	136	130	127	100	137
K	190	130	113	84	16	27	87	192	209	221	239	130	116	93	113	125
L	166	125	101	42	12	20	29	109	118	135	110	123	108	64	90	133
M	127	64	35	20	10	12	18	29	68	80	58	65	40	35	77	89
N	110	70	12	12	7	5	7	12	26	48	53	70	35	16	20	65
O	89	77	5	5	2	1	2	1	48	40	99	80	22	7	5	27
P	26	22	1	1	0	0	0	0	25	22	35	27	5	1	1	12

**Tabla 64:** Datos superpuestos para un marco cuadrado de 20x20m, parcela del bloque B-4, en el horario de 16:00-18:00 h.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
A	170	199	155	137	38	76	148	157	178	125	159	201	156	141	90	110
B	185	133	126	120	34	70	139	141	175	157	185	136	130	127	100	137
C	190	130	113	84	16	27	87	192	209	221	239	130	116	93	113	125
D	171	125	101	42	17	20	34	134	136	157	122	128	109	64	90	135
E	204	153	114	36	22	38	68	108	179	213	193	156	121	47	89	94
F	245	192	137	47	34	34	106	152	185	185	203	195	162	54	62	125
G	231	216	140	81	44	27	152	199	269	210	309	222	157	87	55	107
H	187	186	146	167	26	58	156	195	164	149	196	195	153	171	66	103

**Tabla 65:** Cálculo del CUC y DU del bloque B-4, en el horario de 16:00-18:00 h.

1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
N°	Lectura (ml) (q)	(q-Q-prom)	q (25%)	N°	Lectura (ml) (q)	(q-Q-prom)	q (25%)	N°	Lectura (ml) (q)	(q-Q-prom)	q (25%)	N°	Lectura (ml) (q)	(q-Q-prom)	q (25%)
1	309	177.89	_	33	175	43.89	_	65	135	3.89	_	97	89	42.11	89.00
2	269	137.89	_	34	171	39.89	_	66	134	2.89	_	98	87	44.11	87.00
3	245	113.89	_	35	171	39.89	_	67	133	1.89	_	99	87	44.11	87.00
4	239	107.89	_	36	170	38.89	_	68	130	1.11	_	100	84	47.11	84.00
5	231	99.89	_	37	167	35.89	_	69	130	1.11	_	101	81	50.11	81.00
6	222	90.89	_	38	164	32.89	_	70	130	1.11	_	102	76	55.11	76.00
7	221	89.89	_	39	162	30.89	_	71	128	3.11	_	103	70	61.11	70.00
8	216	84.89	_	40	159	27.89	_	72	127	4.11	_	104	68	63.11	68.00
9	213	81.89	_	41	157	25.89	_	73	126	5.11	_	105	66	65.11	66.00
10	210	78.89	_	42	157	25.89	_	74	125	6.11	_	106	64	67.11	64.00
11	209	77.89	_	43	157	25.89	_	75	125	6.11	_	107	62	69.11	62.00
12	204	72.89	_	44	157	25.89	_	76	125	6.11	_	108	58	73.11	58.00
13	203	71.89	_	45	156	24.89	_	77	125	6.11	_	109	55	76.11	55.00
14	201	69.89	_	46	156	24.89	_	78	122	9.11	_	110	54	77.11	54.00
15	199	67.89	_	47	156	24.89	_	79	121	10.11	_	111	47	84.11	47.00
16	199	67.89	_	48	155	23.89	_	80	120	11.11	_	112	47	84.11	47.00
17	196	64.89	_	49	153	21.89	_	81	116	15.11	_	113	44	87.11	44.00
18	195	63.89	_	50	153	21.89	_	82	114	17.11	_	114	42	89.11	42.00
19	195	63.89	_	51	152	20.89	_	83	113	18.11	_	115	38	93.11	38.00
20	195	63.89	_	52	152	20.89	_	84	113	18.11	_	116	38	93.11	38.00
21	193	61.89	_	53	149	17.89	_	85	110	21.11	_	117	36	95.11	36.00
22	192	60.89	_	54	148	16.89	_	86	109	22.11	_	118	34	97.11	34.00
23	192	60.89	_	55	146	14.89	_	87	108	23.11	_	119	34	97.11	34.00
24	190	58.89	_	56	141	9.89	_	88	107	24.11	_	120	34	97.11	34.00
25	187	55.89	_	57	141	9.89	_	89	106	25.11	_	121	34	97.11	34.00
26	186	54.89	_	58	140	8.89	_	90	103	28.11	_	122	27	104.11	27.00
27	185	53.89	_	59	139	7.89	_	91	101	30.11	_	123	27	104.11	27.00
28	185	53.89	_	60	137	5.89	_	92	100	31.11	_	124	26	105.11	26.00
29	185	53.89	_	61	137	5.89	_	93	94	37.11	_	125	22	109.11	22.00
30	185	53.89	_	62	137	5.89	_	94	93	38.11	_	126	20	111.11	20.00
31	179	47.89	_	63	136	4.89	_	95	90	41.11	_	127	17	114.11	17.00
32	178	46.89	_	64	136	4.89	_	96	90	41.11	_	128	16	115.11	16.00
<b>TOTAL</b>													<b>16782.00</b>	<b>6225.34</b>	<b>1584.00</b>
<b>PROMEDIO</b>													<b>131.11</b>		<b>49.50</b>

**Datos obtenidos:**

Suma total de las lecturas de pluviómetros = 16 782.00 ml

Número total de lecturas = 128

Promedio de lecturas = 16 782 ml/128 = 131.11 ml

Sumatoria de cada lectura (Abs) menos el promedio total = 6 225.34 ml

Sumatoria de ¼ de datos menores del total = 1 584.00 ml

Promedio del 25% de datos menores = 1 584/32 = 49.50 ml





$$CUC = \left[ 1 - \frac{\sum(q_i - \bar{q})}{n * \bar{q}} \right] * 100$$

$$DU = \left( \frac{q_{25\%}}{q_{100\%}} \right) * 100$$

$$CUC = \left[ 1 - \frac{(6\ 225.34)}{128 * 131.11} \right] * 100 = 62.90 \%$$

$$DU = \left[ \frac{49.50}{131.11} \right] * 100 = 37.75 \%$$

A partir de los resultados obtenidos, el coeficiente de uniformidad de Christiansen CUC promedio calculada en el horario de las 5:30 a 7:30 horas fue de 81.49% se considere una buena distribución del agua, con una uniformidad de distribución del 73.56 %, el valor DU se encuentran por debajo de lo recomendado por Merriam y Keller (80%); sin embargo aún se estaría considerando una regular aplicación del agua; en cuanto al CUC del horario de las 12 a 14 horas es 70.53% y 52.14 % de DU, por otro lado en el horario de las 16 a 18 horas el CUC y DU son 68.96% y 52.09% respectivamente, es necesario incidir en los dos últimos horarios que, se obtuvieron resultados que nos indican una baja distribución del agua a nivel parcelario. La figura 23, representa el comportamiento de CUC y DU con respecto a la presencia del viento. Las figuras 24 y 25 nos muestran cómo se visualizaría los datos obtenidos de pluviometría en el perfil del suelo.

En trabajos realizados por Durand (2017), la evaluación del coeficiente en riego por aspersión con línea lateral unitaria en cuatro (GGERT) Grupos de Gestión Empresarial de Riego Tecnificado GGERT Abrampampa que trabajan con laterales de riego de aluminio con aspersores VYR-36 de plástico, doble boquillas (3.6mmx2.4mm) con presión promedio de 2.47 bar, el coeficiente de uniformidad fue de 72.35%, mientras en el GGERT Staff se tiene una presión promedio de 2.92 bar. Los aspersores son de



polipropileno, de impacto, con boquillas de metal de 4.0 mm x 2.4 mm de diámetro, el promedio del coeficiente de uniformidad para el sector de Staff es de 80.03%, aproximándose a lo indicado por Christiansen, resultado que refleja una correcta aplicación y distribución del agua en el área bajo riego. GGERT La Ponderosa de las evaluaciones de campo tiene una presión promedio de 1.52 bar, los aspersores NAANDANJAIN 5022 SD-U son de baja pluviometría, con un diámetro de boquillas de 2.8 mm x 1.8 mm, y el promedio del coeficiente de uniformidad es de 61.38 % y en el GGERT Chipicpita se tiene una presión promedio de 3.04 bar, en el campo emplean aspersores RC-235/2 con dos boquillas, 4.0 x 2.4 mm, el promedio del coeficiente de uniformidad para el sector de Chipicpita es de 48.91%

Según De La Cruz (2015), la evaluación del coeficiente de uniformidad en riego por aspersión en Pacuri-Socos Ayacucho, determinó que el sub sector I obtuvo un coeficiente de uniformidad de Christiansen de 78.49% a 81.88%, mientras que en el sub sector II se tiene un coeficiente de uniformidad de Christiansen de 78.90% a 80.75%, en un horario de las 9 a 10:30 horas donde los vientos fueron ausentes, con aspersores SILVER BR  $\frac{3}{4}$ ", de 2.5 bar y 1.6 m<sup>3</sup>/h con un solapamiento del 100%.

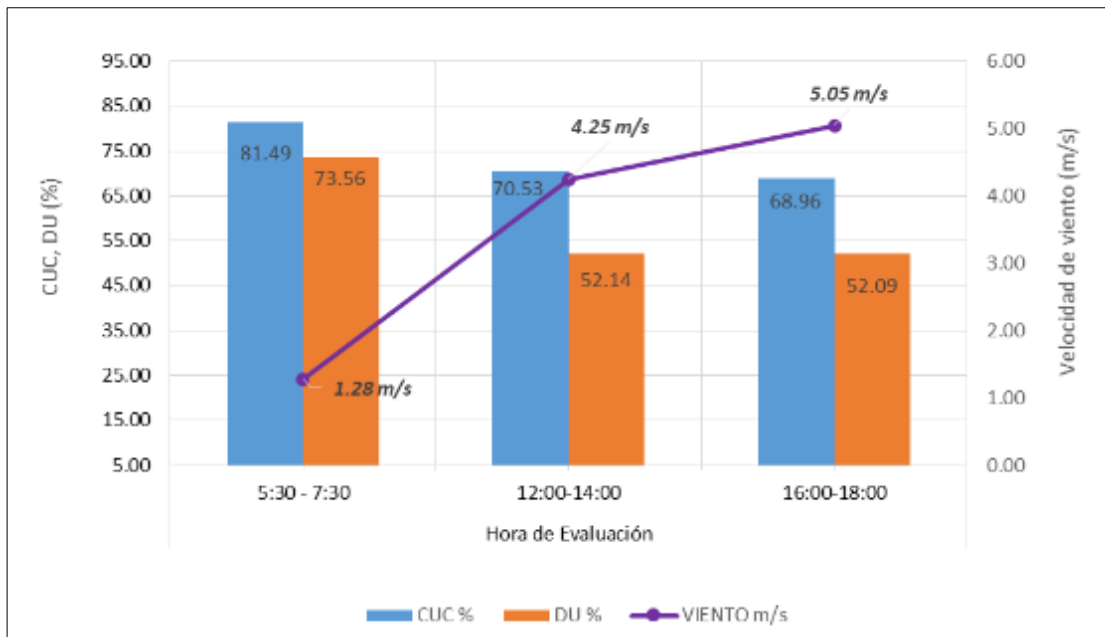
Para Poma (2014), para aspersores VYR50 con una boquilla de 4mm, desfoga un caudal de 738 l/h a una presión de trabajo de 1,38 bar el valor del coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CU) demuestra un valor demasiado bajo (73.94 %) catalogándolo como inaceptable según Ávila et al. (s.f.), y la Uniformidad de distribución reporta un valor bajo de Uniformidad de (61,04%), que es un valor inferior al recomendado por Keller y Bliesner (1990) que tiene como umbral mínimo (80%) reportado como aceptable. Un valor bajo de UD o CU indica que las pérdidas debido a la percolación profunda puede ser grande si un riego adecuado es aplicado a toda el área.

De acuerdo a Vilca (2013), un coeficiente de uniformidad de riego de 42.70% y una eficiencia de aplicación de 38.40 %, están muy por debajo del valor dado de Efa 75% en bibliografías, para aspersores VYRSA y NAAN instalados en andenes en la Comunidad de Quiaca Ayllu de la provincia de Sandia.

La Tabla 66, nos muestra el resultado de los valores obtenidos para el coeficiente de uniformidad de Christiansen y la uniformidad de distribución por cada horario, promedios por parcela y hora de prueba, así mismo las velocidades de viento registradas.

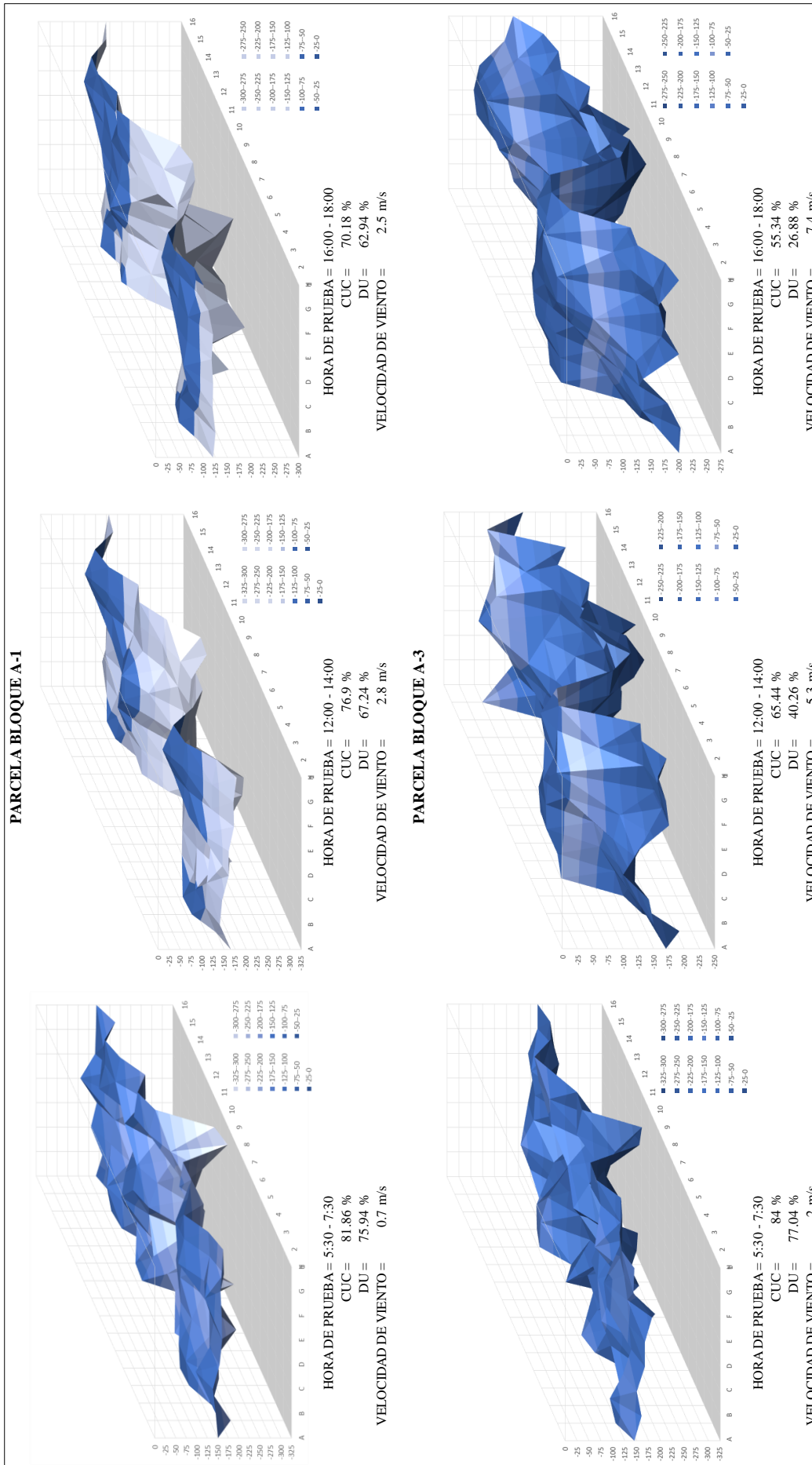
**Tabla 66:** CUC, DU y velocidad de viento obtenidos

Parcela	Horario de prueba (horas)	Christiansen (1942)			Merriam & Keller (1978)			Velocidad de viento			
		CUC (%)	Promedio/ Parcela	Promedio/ hora de prueba	Máx/ mín	DU (%)	Promedio/ Parcela	Promedio/ hora de prueba	Máx/ mín	Vel.viento (m/s)	Promedio/ hora de prueba
Bloque A-1	5:30 - 7:30	81.86		81.49	87.42	75.94		73.56	80.79	0.7	1.28
	12:00-14:00	76.90	76.31	70.53	55.34	67.24	68.71	52.14	26.88	2.8	4.25
	16:00-18:00	70.18		68.96		62.94		52.09		2.5	5.05
Bloque A-3	5:30 - 7:30	84.00				77.04				2	
	12:00-14:00	65.44	68.26			40.26	48.06			5.3	
	16:00-18:00	55.34				26.88				7.4	
Bloque B-2	5:30 - 7:30	77.80				66.53				0.5	
	12:00-14:00	75.21	80.14			64.98	70.77			3.8	
	16:00-18:00	87.42				80.79				3.1	
Bloque B-4	5:30 - 7:30	82.29				74.72				1.9	
	12:00-14:00	64.56	69.92			36.08	49.52			5.1	
	16:00-18:00	62.90				37.75				7.2	

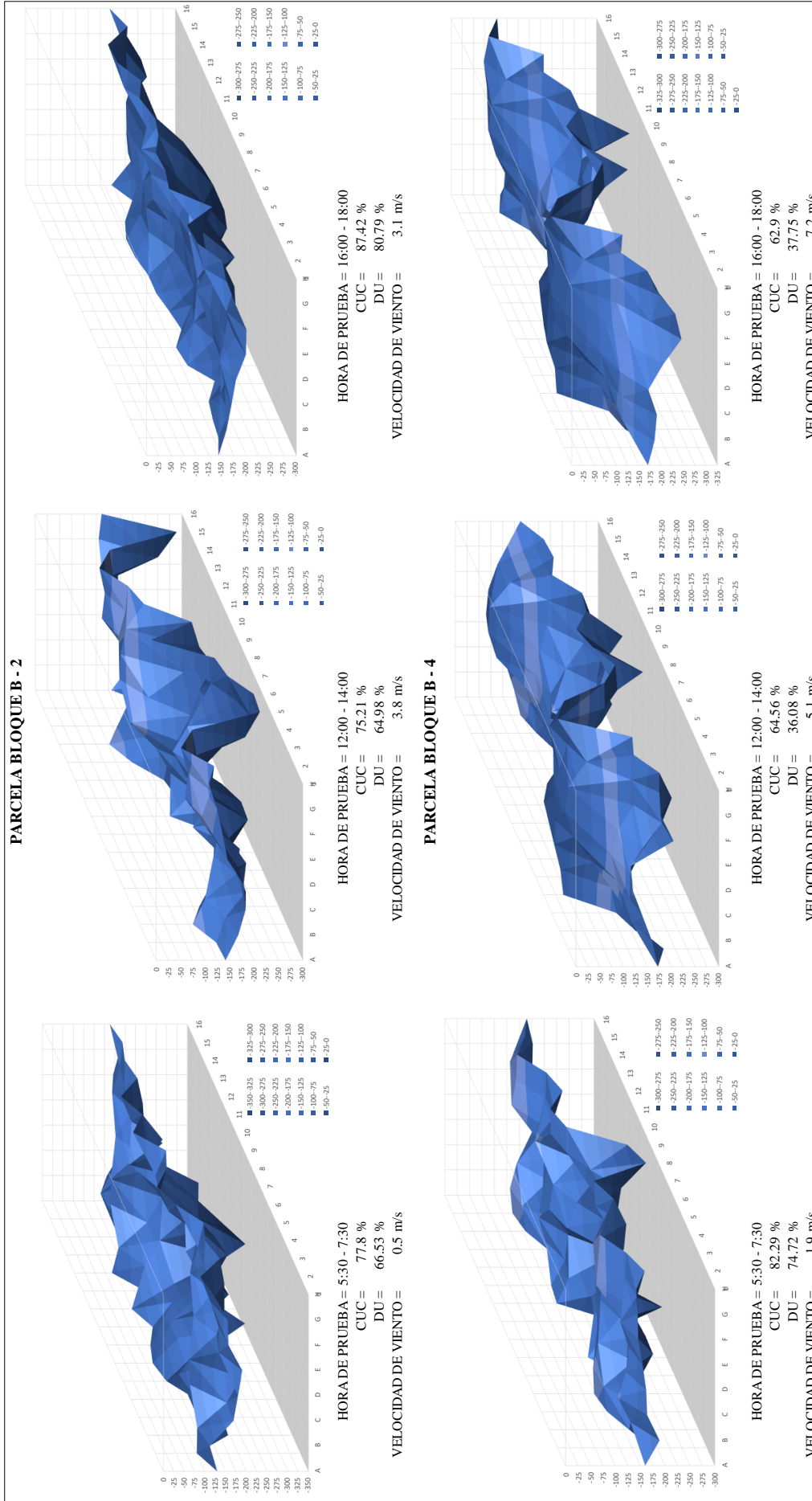


**Figura 23:** Relación de CUC, DU promedios y la velocidad del viento

Las representaciones gráficas fueron obtenidas en base a la pluviometría de los aspersores, donde muestran la incidencia del viento sobre la distribución del agua emitida a través de los aspersores, en los tres distintos horarios.



**Figura 24:** Representación de la infiltración del agua del bloque A



**Figura 25:** Representación de la infiltración del agua del bloque B



## V. CONCLUSIONES

- Mediante el método volumétrico se llegó a determinar que los aspersores de SIME JOLLY mini cañones de aluminio y de doble boquilla (10 mm y 4 mm), descargan caudales que varía desde 2.36 m<sup>3</sup>/h hasta 3.67 m<sup>3</sup>/h., se registraron presiones de 2.4 a 2.5 bar, datos que no se ajustan según información de catálogo, en comparación a la descarga del aspersor actual en referente al diseño inicial, se tendrían pérdidas del 42.3 % hasta 62.9 % del caudal de aspersor.
- Se obtuvieron valores aceptables del CUC (81.86 %, 84 %, 87.42 % y 82.29 %) y DU ( 75.94 %, 77.04 %, 80.79 %, y 74.72 %) durante las primeras horas del día en su mayoría; el CUC mínimo registrado fue 55.34 %, el cual nos muestra que un 55 % aproximadamente de la superficie regada recibió de manera uniforme la aplicación de agua con una desuniformidad del 45 %, mientras el 26.88 % fue el mínimo valor obtenido de la DU; sin embargo nos indica que  $\frac{3}{4}$  del área regada percibió el 26.88 % una distribución uniforme del agua y el  $\frac{1}{4}$  restante percibió valores menores con respecto a la media del total de datos pluviométricos, estos valores bajos se obtuvieron en el horario de 16 a 18 horas; sin embargo se logró obtener valores de uniformidad de distribución de agua aceptables a nivel parcelario considerando horarios específicos de riego.
- La velocidad del viento tuvo efecto en la distribución del agua, ocasionando bajas uniformidades en la evaluación, se obtuvieron valores mínimos de 0.3 m/s así mismo los vientos más abrasivos fueron de hasta 10.7 m/s, con dirección predominante del Oeste; las velocidades de viento menores a 2 m/s, no tuvieron incidencias en la uniforme aplicación del agua, mientras valores superiores de velocidad tienden a disminuir la distribución uniforme del agua, dados los resultados es remendable no regar al medio día, así mismo evitar los riegos por las tardes ante presencia de fuertes vientos.



## VI. RECOMENDACIONES

- Se exhorta tener en consideración el uso eficiente del recurso hídrico, teniendo en cuenta los factores climáticos adversos que puedan afectar en momentos de aplicación del riego en parcela, por ende el riego deberían realizarse durante las primeras horas de día para evitar pérdidas por arrastre del viento.
- Con la finalidad de mejorar los parámetros de calidad de riego, es oportuno realizar evaluaciones dentro del sistema de riego de manera periódica, de modo se tenga un registro de eficiencias, uniformidad, presiones y caudales, para poder identificar el funcionamiento eficaz del sistemas y contra restar pérdidas del recurso hídrico.
- Se recomienda orientar y proporcionar asistencia técnica a los productores de la zona, que son usuarios de riego, con el objetivo de mejorar el manejo, tiempo de riego, presión, vientos, evaporación, programación de riego para que no usen agua en turnos que no les corresponde, para evitar la baja de presión y caudales en el sistema. Así mismo el usuario debe tener conocimientos sobre la operación y mantenimiento a nivel del sistema de riego.
- Se recomienda continuar con esta investigación, llevando a cabo trabajos de análisis de eficiencias a nivel de todo el sistema, para poder verificar la existencia de fugas de agua, pérdidas por percolación profunda y/o saturación del suelo, con la finalidad de asegurar el uso eficiente del recurso hídrico.





## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alejos, C. (2018). *Distribución de uniformidad del agua de riego para diferentes condiciones de viento y aspersores en las áreas verdes*. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.
- Alvarez, E., Granados, N. y Rosales, O. (1994). *Determinación del coeficiente de uniformidad (Cu), en diferentes tipos de aspersores para generar datos preliminares de diseño en sistemas de riego por aspersión*. Universidad de El Salvador.
- Astorga, M. (1998). *Componentes de un sistema de riego por aspersión*. Gobierno Regional de Coquimbo e Instituto de Investigaciones Agropecuarias. CRI-Intihuasi. Chile.
- Belizario, G. (2014). *Impactos del cambio climático en la agricultura de la cuenca Ramis, Puno-Perú* [Universidad Nacional del Altiplano].  
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/256>
- Belizario, G. (2015). Efectos del cambio climático en la agricultura de la cuenca Ramis, Puno-Perú. *Rev. Investig. Altoandin.*, 17(1), 47–52.  
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18271/ria.2015.77>
- Belizario, G., Huaquisto, E., & Chirinos, T. (2013a). Efectos del cambio climático en la temperatura y precipitación - Capachica, Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 15(4), 15–24.
- Belizario, G., Huaquisto, E., & Chirinos, T. (2013b). Influencia del cambio climático en los elementos climáticos de la cuenca del río Coata-Puno. *Revista Investigaciones*



*Altoandinas,*

*15(1),*

*35–54.*

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5607224>

- Buendía, J., Palacios E., Chávez, J., y Rojas, B. (2004). *Impacto del funcionamiento de los sistemas de riego presurizados en la productividad de ocho cultivos, en Guanajuato., México.* 30(5).
- Chávez, H. (2011). *Comportamiento hidráulico del aspersor artesanal para la distribución optima del riego en regiones de valle.* Universidad Mayor de San Andrés, La Paz.
- Christiansen, J. (1942). *Irrigation by sprinkling.* University of California. Agricultural Experiment Station. Bulletin. California.
- Dechmi, F. (2002). *Gestión del agua en sistemas de riego por aspersión en el valle de Ebro: análisis de la situación actual y simulación de escenarios.* Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria, España.
- De La Cruz, M. (2015). *Evaluación del coeficiente de uniformidad y eficiencia de aplicación en el sistema de riego por aspersión Pacuri-Socos-Ayacucho.* Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.
- Durand, G. (2017). *Evaluación del coeficiente de uniformidad de Christiansen en riego por aspersión con línea lateral unitaria en el distrito Huambo.* Universidad Católica de Santa María. Arequipa.
- Fernández R., Oyonarte N., García J., Yruela M<sup>a</sup> C., Milla M., Ávila R. y Gavilán P. (2010). *Manual para Agricultores. Módulo 3: Riego por aspersión.* Junta de Andalucía. Sevilla.



- Laseran, S., Montero, J., Sheikhesmaeili, O. y Alcázar E. (2016). *Análisis de la uniformidad de riego en sistemas de aspersión semiportátil con aspersores de gran tamaño*. XXXIV Congreso Nacional de Riegos, Sevilla - España.
- Mamani, M. (2017). *Determinación del coeficiente de uniformidad de distribución del agua con el aspersor 5022-SD en la comunidad de Piscacucho*. Universidad Nacional San Antonio de Abad del Cusco.
- Mérida H. (2017). *Análisis de la eficiencia de distribución de agua del sistema de riego por aspersión de la aldea Quilenco*. Universidad Rafael Landívar, Guatemala.
- Merriam, J, Keller, J. (1978). *Farm Irrigation System Evaluation: A Guide for Management*.
- Ortega, L. (1994). *Boletín Técnico N° 216. Selección y manejo de equipos de riego por aspersión*. INIA-REMEHUA.
- 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*. Universidad Mayor de San Andrés de La Paz.
- Ramirez, S. (2018). *Diseño y caracterización de micro aspersores artesanales para riego en horticultura, en el centro de investigación y experimentación Cañasbamba*. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz.
- Santo, L., De Juan, J., Picornell, M. y Tarjuelo J. M. (2010). *El riego y sus tecnologías*. Centro de Engenharia dos Biosistemas. Portugal.
- Sapir, E., y Sneh. M. (2005). *Riego por aspersión*. 2da Edición. Estado de Israel.



Tarjuelo, J. (2005). *El riego por aspersión*. Universidad de Castilla. La Mancha, España.

Varas, E., Sandoval, J. (1989). *Riego por aspersión*. Convenio INIA-FNDR. Estación Experimental Carillanca-Chile.

Varas, E., Sandoval, J. (1991). *Manual de riego*. Instituto Experimental Agropecuarias. Estación Experimental Quilamapu, Chillán. Chile.

Vilca, L. (2013). *Propuesta de mejoramiento del sistema de riego por aspersión en andenes del sector Sahuarani de la comunidad de Quiaca Ayllu-Sandia*. Universidad Nacional del Altiplano, Puno.

Winpenny, J., Heinz, I. & Sasha Koo-Oshima, S. (2013). *Reutilización del agua en la agricultura: ¿Beneficios para todos?* FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma.

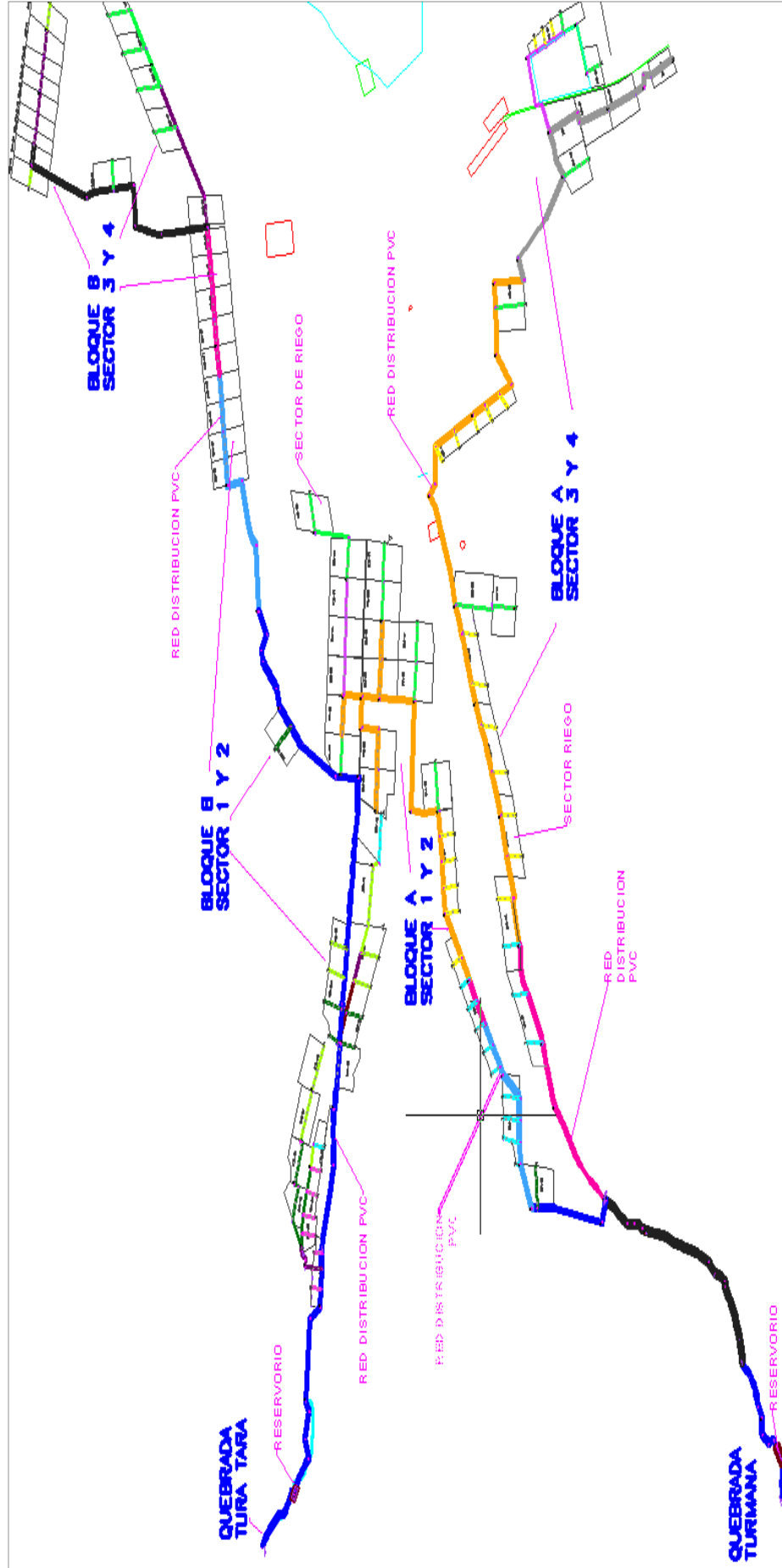
## **DOCUMENTOS ELECTRÓNICOS**

Plastigama. (2018). *Aspersores de riego*.

<https://www.orbesagricolasac.com/tienda/riego-para-mineria/canon-de-riego-sime-jolly/>

## ANEXOS

Anexo 1: Esquema hidráulico de proyecto de la comunidad de Macari



## **Anexo 2:** Localización de las parcelas demostrativas.

### **Anexo 2.1:** Parcela del bloque A, sector 1.



### **Anexo 2.2:** Parcela del bloque A, sector 3.





**Anexo 2.3:** Parcela del bloque B, sector 2.



**Anexo 2.4:** Parcela del bloque B, sector 4







Anexo 4: Especificaciones del Aspersor SIME - JOLLY

U	P	G	Q		O		□			△			
			l/m	m <sup>3</sup> /h	S	I	D	S	I	D	D <sub>1</sub>	S	I
Diametro ugello <b>Nozzle diameter</b> Diamètre de la buse <b>Diámetro de la tobera</b> Durchmesser der Hauptdüse	Pressione <b>Pressure</b> Pression <b>Presión</b> Wasserdruck im Beregnern	Giattata <b>Jet length</b> Portée <b>Chorro</b> Tragweite	Portata <b>Capacity</b> Débit <b>Capacidad</b> Kapazität		Superficie irrigata <b>Irrigated area</b> Surface arrosée <b>Superficie irrigada</b> Beregnete Fläche	Intensità oraria <b>Rainfall per hour</b> Pluviométrie horaire <b>Intensidad horaria</b> Wassermenge pro Stunde	Distanza irrigatori sull'ala piovana <b>Distance of the sprinklers on the pipeline</b> Distance des arroseurs sur la conduite de pluie <b>Distanza de los aspersores sobre el ala de lluvia</b> max. Distanz zwischen den Beregnern auf einem Rohr	Superficie irrigata <b>Irrigated area</b> Surface arrosée <b>Superficie irrigada</b> Beregnete Fläche	Intensità oraria <b>Rainfall per hour</b> Pluviométrie horaire <b>Intensidad horaria</b> Wassermenge pro Stunde	Distanza irrigatori sull'ala piovana <b>Distance of the sprinklers on the pipeline</b> Distance des arroseurs sur la conduite de pluie <b>Distanza de los aspersores sobre el ala de lluvia</b> max. Distanz zwischen den Beregnern auf einem Rohr	Distanza fra 2 piane contigue <b>Distance between 2 contiguous pipelines</b> Distance entre 2 conduites de pluie <b>Distanza entre 2 alae de lluvia contiguas</b> max. Distanz zwischen nabereinanderliegenden Beregnern	Superficie irrigata <b>Irrigated area</b> Surface arrosée <b>Superficie irrigada</b> Beregnete Fläche	Intensità oraria <b>Rainfall per hour</b> Pluviométrie horaire <b>Intensidad horaria</b> Wassermenge pro Stunde
8	1,5	16,5	62	3,7	855	4,3	23	529	7,0	28	24	672	5,5
4	2,0	17,5	71	4,2	962	4,4	24	576	7,3	30	26	780	5,4
	3,0	19,5	87	5,2	1194	4,3	27	729	7,1	33	29	957	5,4
	4,0	21	100	6,0	1384	4,3	29	841	7,1	36	31	1116	5,4
9	1,5	17	76	4,5	908	4,9	24	576	7,8	29	25	725	6,2
4	2,0	18	88	5,3	1017	5,2	25	625	8,5	31	27	837	6,3
	3,0	20	107	6,4	1256	5,0	28	784	8,2	34	30	1020	6,3
	4,0	21,5	124	7,4	1451	5,0	30	900	8,2	37	32	1184	6,2
	2,0	19	106	6,4	1134	5,6	26	676	9,5	32	28	896	7,1
10	3,0	21	130	7,8	1384	5,6	29	841	9,3	36	31	1116	7,0
4	4,0	22,5	151	9,0	1590	5,7	32	1024	8,8	39	34	1326	6,8
	5,0	23,5	170	10,2	1734	5,9	33	1089	9,3	40	35	1400	7,3
	2,0	21	149	8,9	1384	6,4	29	841	10,6	36	31	1116	8,0
12	3,0	23,5	182	10,9	1734	6,3	33	1089	10,0	40	35	1400	7,8
4	4,0	26	211	12,6	2123	5,9	36	1296	9,7	44	39	1716	7,3
	5,0	28	236	14,2	2461	5,8	39	1521	9,3	48	42	2016	7,0
	2,0	22,5	197	11,8	1590	7,4	32	1024	11,5	39	34	1326	8,9
14	3,0	24	241	14,4	1809	7,9	33	1089	13,2	41	36	1476	9,7
4	4,0	27	278	16,7	2289	7,2	38	1444	11,6	46	40	1840	9,1
	5,0	29	311	18,6	2640	7,0	40	1600	11,6	50	43	2150	8,6

**Anexo 5:** Modelo de planilla para traslape de datos pluviométricos.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<b>A</b>	A1+I1	A2+I2	A3+I3	A4+I4	A5+I5	A6+I6	A7+I7	A8+I8	A9+I9	A10+I10	A11+I11	A12+I12	A13+I13	A14+I14	A15+I15	A16+I16
<b>B</b>	B1+J1	B2+J2	B3+J3	B4+J4	B5+J5	B6+J6	B7+J7	B8+J8	B9+J9	B10+J10	B11+J11	B12+J12	B13+J13	B14+J14	B15+J15	B16+J16
<b>C</b>	C1+K1	C2+K2	C3+K3	C4+K4	C5+K5	C6+K6	C7+K7	C8+K8	C9+K9	C10+K10	C11+K11	C12+K12	C13+K13	C14+K14	C15+K15	C16+K16
<b>D</b>	D1+L1	D2+L2	D3+L3	D4+L4	D5+L5	D6+L6	D7+L7	D8+L8	D9+L9	D10+L10	D11+L11	D12+L12	D13+L13	D14+L14	D15+L15	D16+L16
<b>E</b>	E1+M1	E2+M2	E3+M3	E4+M4	E5+M5	E6+M6	E7+M7	E8+M8	E9+M9	E10+M10	E11+M11	E12+M12	E13+M13	E14+M14	E15+M15	E16+M16
<b>F</b>	F1+N1	F2+N2	F3+N3	F4+N4	F5+N5	F6+N6	F7+N7	F8+N8	F9+N9	F10+N10	F11+N11	F12+N12	F13+N13	F14+N14	F15+N15	F16+N16
<b>G</b>	G1+O1	G2+O2	G3+O3	G4+O4	G5+O5	G6+O6	G7+O7	G8+O8	G9+O9	G10+O10	G11+O11	G12+O12	G13+O13	G14+O14	G15+O15	G16+O16
<b>H</b>	H1+P1	H2+P2	H3+P3	H4+P4	H5+P5	H6+P6	H7+P7	H8+P8	H9+P9	H10+P10	H11+P11	H12+P12	H13+P13	H14+P14	H15+P15	H16+P16

**Anexo 6:** Datos meteorológicos de las estaciones más cercanas.

**Anexo 6.1:** Información de la estación meteorológica CO. Ayaviri.

**CUENCA:** RAMIS      **LATITUD:** 14°52'21.6"      **DISTRITO:** AYAVIRI  
**TIPO:** CO      **LONGITUD:** 70°35'34.4"      **ALTITUD:** 3928 MSNM      **RECORD:** 1964 - 2011

PARAMETROS	ENE.	FEB.	MAR.	ABRL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL	PROM.
Temperatura Maxima °C	15.7	15.8	15.9	16.3	16.2	15.6	15.5	16.4	17.5	18.1	18.0	17.0	197.9	16.5
Temperatura Minima °C	3.4	3.3	2.9	0.8	-3.6	-6.6	-7.2	-5.2	-1.6	0.7	1.7	2.8	-8.4	-0.7
Temperatura Media °C	9.6	9.6	9.4	8.5	6.3	4.5	4.2	5.5	8.0	9.4	9.9	9.9	94.7	7.9
Precipitación Total (mm)	144.3	122.6	104.3	45.1	7.1	3.7	2.1	8.0	15.0	45.0	63.3	101.5	662.0	101.8
Promedio de precipitación	4.7	4.4	3.4	1.5	0.2	0.1	0.1	0.3	0.5	1.5	2.1	3.3	21.9	1.8
HR.( 07-13-19) %	65	66	64	59	50	45	43	44	48	48	53	58	644.7	53.7
Evap. Promedio diario	3.3	3.2	3.0	3.1	2.9	2.9	2.9	3.7	4.1	4.5	4.5	3.8	41.9	3.5
Velocidad de Viento m/s.	6.6	6.4	6.1	4.9	3.1	2.3	2.0	2.9	3.9	4.6	5.3	6.1	54.3	4.5
Direc. Predominante V.	E	SE	SE	NE	NE	NW	NW	NW	NE	N	E	NW	—	—

**Anexo 6.2:** Información de la estación meteorológica CO. Llalli.

**CUENCA:** RAMIS      **LATITUD:** 14°56'11.5"      **DISTRITO:** LLALLI  
**TIPO:** CO      **LONGITUD:** 70°53'09.4"      **ALTITUD:** 3980 MSNM      **RECORD:** 1964 - 2011

PARAMETROS	ENE.	FEB.	MAR.	ABRL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL	PROM.
Temperatura Maxima °C	15.2	15.1	15.0	15.3	15.2	14.6	14.5	15.5	16.7	17.5	17.4	16.3	188.4	15.7
Temperatura Minima °C	3.0	3.1	2.5	0.2	-3.3	-6.1	-6.3	-5.0	-2.1	-0.2	0.5	2.1	-11.8	-1.0
Temperatura Media °C	9.1	9.1	11.1	7.8	5.9	4.3	4.1	5.3	7.3	8.3	8.9	9.2	90.2	7.5
Precipitación Total (mm)	173.8	154.7	141.9	52.8	9.3	2.4	2.9	9.4	19.6	47.0	62.8	124.7	801.2	123.3
Promedio de precipitación	5.6	5.5	4.6	1.8	0.3	0.1	0.1	0.3	0.7	1.5	2.1	4.0	26.5	2.2
HR.(07-13-19) %	65	66	66	59	50	47	45	44	45	48	49	58	641	53
Evap. Promedio diario	4.4	4.4	3.9	3.9	3.8	3.7	3.9	4.3	5.4	5.4	5.5	4.8	53.3	4.4
Velocidad de Viento m/s.	7.2	6.6	6.8	7.1	8.5	9.1	10.2	8.6	8.4	8.7	8.5	7.3	97.0	8.1

**Anexo 6.3:** Información de la estación meteorológica CP. Chuquibambilla

**CUENCA:** RAMIS      **LATITUD:** 14°47'05.2"      **DISTRITO:** CHUQUIBAMBILLA  
**TIPO:** CP      **LONGITUD:** 70°42'56.5"      **ALTITUD:** 3971 MSNM      **RECORD:** 1964 - 2011

PARAMETROS	ENE.	FEB.	MAR.	ABRIL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL	PROM.
Temperatura Maxima °C	15.8	15.8	15.9	16.2	15.8	15.3	15.3	16.4	17.1	17.8	17.9	16.8	196.2	16.3
Temperatura Minima °C	2.4	2.6	2.1	-0.5	-5.5	-9.1	-9.8	-7.9	-3.9	-1.6	-0.4	1.2	-30.3	-2.5
Temperatura Media °C	9.1	9.2	9.0	7.9	5.2	3.2	2.9	4.3	6.6	8.1	8.8	9.0	83.2	6.9
Precipitación Total (mm)	148.3	122.3	120.1	49.2	9.7	3.0	1.7	5.2	19.6	45.7	65.8	112.8	703.5	108.2
Promedio de precipitación	4.8	4.4	3.9	1.6	0.3	0.1	0.1	0.2	0.7	1.5	2.2	3.6	23.3	1.9
HR.(07-13-19) %	67	68	68	62	56	53	51	49	51	52	55	61	694.3	57.9
Evap. Promedio diario	3.9	4.1	4.0	4.0	3.9	3.9	4.1	4.4	4.9	5.1	5.0	4.5	51.9	4.3
Velocidad de Viento m/s.	2.1	2.0	1.9	1.8	1.7	1.8	2.0	2.1	2.4	2.2	2.2	2.1	24.1	2.0
Direc. Predominante V.	W	N	N	NW	W	W	W	W	W	W	W	W	—	—

FUENTE: SENAMHI.



### Anexo 7: Panel fotográfico.



Fotografía 1: Cálculo de descarga del aspersor, mediante el método volumétrico.



Fotografía 2: Medición de presión de trabajo del aspersor en evaluación.



Fotografía 3: Obtención de datos velocidad de viento, humedad relativa, temperatura in situ, mediante el anemómetro portátil.

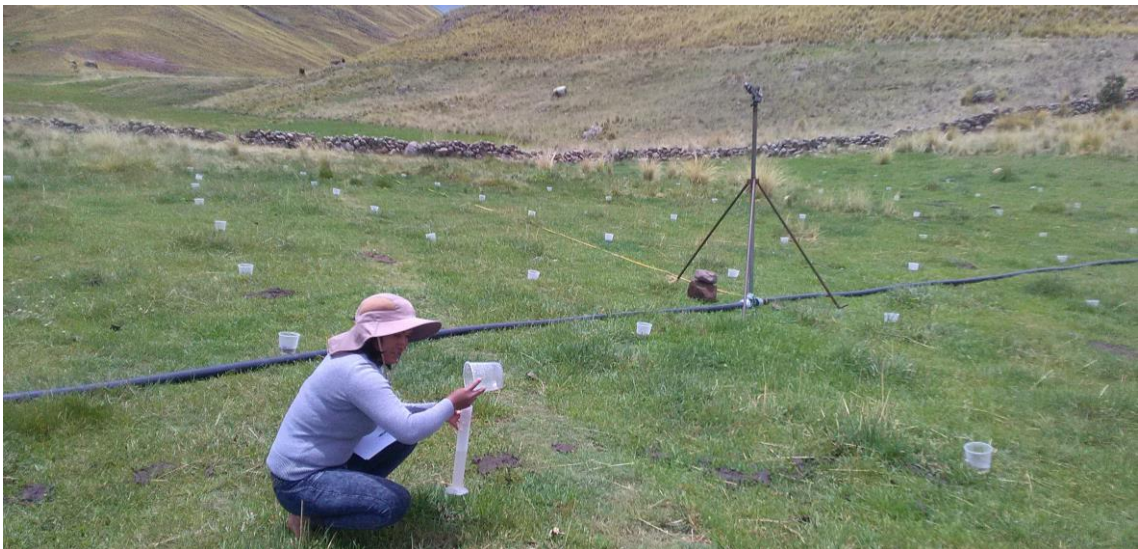




Fotografía 4: Colocación envases pluviométricos en red de 2.5x2.5m.



Fotografía 5: Colectores de agua durante dos horas de prueba.



Fotografía 6: Lectura del agua colectada, haciendo uso de la probeta graduada.





Fotografía 7: Funcionamiento de aspersores con presencia de vientos menores a la velocidad de 2.0m/s.



Fotografía 8: Distribución del agua de aspersor distorsionada por la acción del viento.



Fotografía 9: Válvula de paso del hidrante, disponible para tres mini-aspersores.