

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE INGENIERIA AGRÍCOLA



**“DISTRIBUCIÓN DE UNIFORMIDAD DEL AGUA DE RIEGO
PARA DIFERENTES CONDICIONES DE VIENTO Y
ASPERSORES EN LAS ÁREAS VERDES - UNALM”**

Presentado por:

CAROL SILVIA ALEJOS ASENCIO

**TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE:
INGENIERA AGRÍCOLA**

Lima – Perú

2018

DEDICATORIA

A Dios por haberme dado la vida y por permitirme cumplir mis metas.

Dedico esta Tesis a mis padres Juan Alejos Toribio y Silvia Asencio Tapia que siempre me apoyaron incondicionalmente en la parte moral y económica para poder llegar a ser un profesional de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

A mis hermanas Magali Alejos Asencio y Gladys Alejos Asencio por el apoyo que siempre me brindaron día a día en el transcurso de cada año de mi carrera Universitaria.

A mis familiares y amigos en general por ser las personas que más han influenciado en mi vida, dándome los mejores consejos, guiándome y haciéndome una persona de bien.

AGRADECIMIENTOS

- Primeramente, doy gracias a Dios por permitirme tener tan buena experiencia dentro de mi universidad, gracias a mi universidad por convertirme en ser un profesional en lo que tanto me apasiona, y como recuerdo y prueba viviente en la historia; esta tesis, que perdurará dentro de los conocimientos y desarrollo de las demás generaciones que están por llegar.
- A la Universidad Nacional Agraria La Molina, a la Facultad de Ingeniería Agrícola y a los profesores por la formación ética y profesional impartida a lo largo de la carrera.
- Agradezco a mi asesor Mg. Sc. David Ascencios y la Ing. Karem Meza por su paciencia, dedicación, consejos y velar que el presente documento sea un aporte científico y técnico en servicio del agro. Al doctor Néstor Montalvo, Ing. Guillermo Aguilar, Ing. Antonio Enciso y al técnico Alan Santibáñez, por su disponibilidad y estar presto a apoyar en la investigación.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN

ABSTRACT

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1.	SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN	3
2.1.1.	Sistema de riego instalado en la UNALM.	3
2.2.	ESPACIAMIENTO ENTRE ASPERSORES	4
2.3.	PLUVIOMETRÍA O VELOCIDAD DE APLICACIÓN	5
2.4.	INDICADORES DE UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCIÓN.....	5
2.4.1.	Coficiente de uniformidad (CU)	5
2.4.2.	Uniformidad de distribución (DU)	6
2.4.3.	Diferencias entre DU y CU.....	7
2.4.4.	Antecedentes de Uniformidad	7
2.5.	EFICIENCIA DE APLICACIÓN	9
2.6.	VELOCIDAD DEL VIENTO	9
2.7.	PÉRDIDAS POR EVAPORACIÓN Y ARRASTRE	10
2.7.1.	Arrastre de las gotas de agua por efecto del viento (wind drift)	11
2.8.	CRITERIOS PARA UN BUEN DISEÑO DE RIEGO Y CONDICIONES DE VIENTO	11
2.9.	PRESIÓN DE TRABAJO	12
2.10.	PRINCIPIOS PARA UN BUEN RIEGO	13
2.11.	ANEMÓMETRO MODELO AM-900.....	14
2.12.	MANÓMETRO	16
2.13.	INTERPOLACIÓN DE LA DISTANCIA INVERSA PONDERADA (IDW) .	16
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	18
3.1.	UBICACIÓN DEL ÁREA EXPERIMENTAL.....	18
3.2.	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO ACTUAL	19
3.3.	CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS	20
3.4.	MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS EN EL PROYECTO	21
3.4.1.	Materiales de campo	21
3.4.2.	Equipos	22
3.5.	MÉTODOS	22

3.5.1. Fase de pre - campo	22
3.5.2. Fase de campo	23
3.5.3. Fase de gabinete	25
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
4.1. PÉRDIDA POR EVAPORACIÓN Y ARRASTRE (PEA)	26
4.2. PÉRDIDAS POR PRESIÓN	27
4.3. DISTRIBUCIÓN DE UNIFORMIDAD Y COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD EN ROTORES.....	31
4.4. DISTRIBUCIÓN DE UNIFORMIDAD Y COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD EN DIFUSORES.....	37
4.5. GRÁFICAS PLUVIOMETRICAS	37
4.5.1. Análisis de válvula 3.....	37
4.5.2. Análisis de válvula 64,65 y 66	40
4.5.3. Análisis de válvula 26.....	41
4.5.4. Análisis de válvula 27.....	45
4.5.5. Análisis de válvula 39 y 40.....	47
4.5.6. Análisis de válvula 46.....	51
4.5.7. Análisis de válvula 70, 71, 72 y 73.....	53
4.6. Análisis de máximas y mínimas velocidades de viento.	58
V. CONCLUSIONES	60
VI. RECOMENDACIONES.....	61
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
VIII. ANEXOS.....	66

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Rangos posibles para una correcta uniformidad.....	8
Cuadro 2: Espaciamiento de diámetro a distintas condiciones de viento.....	11
Cuadro 3: Características del anemómetro.....	15
Cuadro 4: Resultados de pérdidas por evaporación y arrastres.....	27
Cuadro 5: Presión en arco de riego en las válvulas analizadas	28
Cuadro 6: Resultados de velocidad de viento, DU y CU para rotores	34
Cuadro 7: Resultados de velocidad de viento, DU y CU para rotores	35
Cuadro 8: Resultados de velocidad de viento, DU y CU para difusores.....	37
Cuadro 9: Resultados de velocidad de viento, DU y CU para rotores a diferente distancia de separación entre recipientes	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Representación gráfica de la colecta de agua para el cálculo de DU.....	5
Figura 2: Clasificación del sistema de riego	8
Figura 3: El viento no permite un mojado parejo del suelo regado por aspersión	10
Figura 4: Distribución del agua en función de la presión de trabajo de los aspersores	12
Figura 5: Los cuatro principios claves de un buen riego.....	13
Figura 6: Anemómetro de copa modelo AM-900	15
Figura 7: Manómetro para arco de riego.....	16
Figura 8: Vecindad de IDW del punto seleccionado.....	16
Figura 9: Ubicación geográfica de los jardines evaluados	18
Figura 10: Componentes del sistema de riego.....	19
Figura 11: Análisis de características de suelo.....	20
Figura 12: Análisis Químico del Agua.....	21
Figura 13: Distribución de vasijas en área de difusores	24
Figura 14: Distribución de vasijas en área de rotores	24
Figura 15: Plano de cobertura válvula 72.....	29
Figura 16: Perdidas de presión válvula 72	29
Figura 17: Plano de cobertura válvula 27.....	30
Figura 18: Pérdidas de presión válvula 27	30
Figura 19: Perdidas de presión válvula 70	31
Figura 20: Perdidas de presión válvula 73	32
Figura 21: DU y CU para el primer horario de riego	33
Figura 22: DU y CU para el segundo horario de riego	36
Figura 23: DU y CU para el tercer horario de riego.....	36
Figura 24: Ubicación de la válvula 3 – UNALM.....	38
Figura 25: Interpolación de la pluviometría (mm/hr) válvula 3	39
Figura 26: Plano de cobertura del área evaluada V-3	40
Figura 27: Plano de cobertura del área evaluada estadio - UNALM V64-65-66	40
Figura 28: Prueba de uniformidad V 64-65-66	41
Figura 29: Interpolación de la pluviometría (mm/hr) en el estadio V64-65-66	42
Figura 30: Mapa de cobertura válvula 26.....	43
Figura 31: Prueba de uniformidad válvula 26.....	43
Figura 32: Interpolación de la pluviometría en mm/hr V-26	44

Figura 33: Mapa de cobertura válvula 27.....	45
Figura 34: Zonas afectadas adyacentes al jardín V-27.....	45
Figura 35: Interpolación de la pluviometría en mm/hr válvula 27.....	46
Figura 36: Ubicación válvula 39 y 40-UNALM.....	47
Figura 37: Mapa de cobertura válvula 39.....	47
Figura 38: Interpolación de la pluviometría válvula 39.....	48
Figura 39: Presencia de árbol en la válvula 39.....	49
Figura 40: Mapa de cobertura válvula 40.....	49
Figura 41: Interpolación de la pluviometría válvula 40.....	50
Figura 42: Ubicación válvula 46.....	51
Figura 43: Mapa de cobertura válvula 46.....	51
Figura 44: Interpolación de la pluviometría válvula 46.....	52
Figura 45: Mapa de cobertura válvula 70-71-72-73.....	53
Figura 46: Segundo horario de riego de 3:00 a 3:30 p.m. válvulas 70-71-73.....	54
Figura 47: Efecto del viento en el segundo horario de riego de 3:00 a 3:30 p.m. válvulas 70-72-73.....	55
Figura 48: Interpolación de la pluviometría válvula 46.....	56
Figura 49: Interpolación de la pluviometría válvula 70-71-73.....	57
Figura 50: Análisis de velocidad viento versus horas para cuatro primeros meses del año.....	58
Figura 51: Interpolación de la pluviometría válvula 70-72-73.....	59
Figura 52: Velocidad de viento para los tres horarios de riego.....	66
Figura 53: Pluviometría para la válvula 26.....	67
Figura 54: Pluviometría para la válvula 27.....	67
Figura 55: Pluviometría para la válvula 39.....	67
Figura 56: Pluviometría para la válvula 40.....	67
Figura 57: Pluviometría para la válvula 46.....	68
Figura 58: Pluviometría para la válvula 64-65-66.....	68
Figura 59: Pluviometría para la válvula 70-71-72-73.....	68
Figura 60: Ubicación y limpieza de rotores.....	69
Figura 61: Limpieza de arco de riego.....	69
Figura 62: Instalación del anemómetro en campo.....	70
Figura 63: Punto de presión en arco de riego.....	71
Figura 64: Medida de presión en la salida del arco de riego.....	71
Figura 65: Toma de datos de la velocidad de viento en campo.....	72
Figura 66: Toma de datos en los tres turnos de riego.....	72

Figura 67: Medida de volumen recolectado	72
Figura 68: Rendimiento a distintas presiones del aspersor 3504	73
Figura 69: Rendimiento a distintas presiones del aspersor 6504	73
Figura 70: Plantilla para toma de datos en campo V 64-65-66	74
Figura 71: Plantilla para toma de datos en campo V 70-71-73	75
Figura 72: Plantilla para toma de datos en campo Válvula 26	76
Figura 73: Plantilla para toma de datos en campo Válvula 27	77
Figura 74: Plantilla para toma de datos en campo Válvula 46	78
Figura 75: Plantilla para toma de datos en campo Válvula 3	79

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: GRÁFICAS DE VELOCIDAD DE VIENTO.....	66
ANEXO 2: PLUVIOMETRÍA A NIVEL DE VÁLVULA Y SEGÚN EL TIPO DE BOQUILLA Y ÁNGULO	67
ANEXO 4: PANEL FOTOGRÁFICO	69
ANEXO 5: CATÁLOGO RAINBIRD	73
ANEXO 6: FORMATO DE CAMPO.....	74

RESUMEN

La escasez creciente del recurso hídrico en Lima para las áreas verdes urbanas nos obliga a aplicar de forma adecuada la cantidad necesaria de agua para satisfacer el requerimiento de las áreas verdes, teniendo en consideración el momento de riego, la cantidad, el sistema de riego y las condiciones climáticas. En la presente investigación se evaluó la uniformidad de distribución del agua de riego para diferentes velocidades de viento y tipos de aspersores en las áreas verdes de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). Se identificó las subunidades representativas a evaluar, el momento de riego considerando el viento en la mañana, tarde y noche; los tipos de aspersores según la forma y tamaño del área. La Uniformidad de Distribución (DU) para los rotores de serie 3504 fue de 53% a 66.95% para velocidades de viento de 2.6 m/s a 0 m/s respectivamente, clasificando con una buena uniformidad en el rango histórico, para la serie 5000 de 54.36% a 76.89% para velocidades de viento de 2.78 m/s a 0.75 m/s clasificando como una buena uniformidad de riego, para falcon 6504 fueron 54.07% a 79.52%, para velocidades de viento que oscilaron 4.7 m/s a 0 m/s respectivamente, logrando obtener una excelente uniformidad de riego y para difusores de la serie VAN fueron 35.38% a 50 % con velocidades de viento promedio de 0.8 m/s a 1.61 m/s respectivamente, clasificando como un riego con mala uniformidad. Otro de los factores que se calculó fue las pérdidas por evaporación y arrastre (PEA) con valores de viento superiores a 0.8 m/s la PEA fue 13.72 % afectando al riego al ser un valor superior al 10%. Se recomienda continuar con esta investigación realizando el análisis de eficiencias de aplicación utilizando información de humedades obtenidas en el perfil del suelo. Para complementar el análisis de uniformidad se puede hacer uso de imágenes tomadas por drones donde nos facilite visualizar la calidad del césped.

Palabras clave: Uniformidad de distribución, velocidad de viento y aspersor.

ABSTRACT

The growing scarcity of water resources in Lima for urban green areas obliges us to adequately apply the necessary amount of water to meet the requirements of green areas, taking into account the time of irrigation, the quantity, the irrigation system and the climatic conditions. In the present investigation the uniformity of distribution of irrigation water for different wind speeds and types of sprinklers in the green areas of the National Agrarian University La Molina (UNALM) was evaluated. The representative subunits to be evaluated were identified, the moment of irrigation considering the wind in the morning, afternoon and evening; the types of sprinklers according to the shape and size of the area. The Uniformity of Distribution (DU) for the rotors of series 3504 was of 53% to 66.95% for wind speeds of 2.6 m / s to 0 m / s respectively, classifying with a good uniformity in the historical range, for the 5000 series of 54.36% to 76.89% for wind speeds of 2.78 m / s to 0.75 m / s classifying as a good uniformity of irrigation, for falcon 6504 were 54.07% to 79.52%, for wind speeds that ranged from 4.7 m / s to 0 m / s respectively, obtaining an excellent irrigation uniformity and for diffusers of the VAN series were 35.38% to 50% with average wind speeds of 0.8 m / s to 1.61 m / s respectively, classifying as an irrigation with poor uniformity. Another factor that was calculated was the losses by evaporation and drag (PEA) with wind values higher than 0.8 m / s the PEA was 13.72% affecting the irrigation to be a value higher than 10%. It is recommended to continue with this research carrying out the analysis of application efficiencies using moisture information obtained in the soil profile. To complement the uniformity analysis we can make use of images taken by drones where we can see the quality of the grass

Keywords: Uniformity of distribution, wind speed and sprinkler.

I. INTRODUCCIÓN

Lima con una población de aproximadamente diez millones de personas, utilizan el 1.5% del agua dulce disponible del país (INEI 2015), los cuales tienen los siguientes usos: doméstico, industria y agrícola (Maldonado 2017). Existen distritos donde se utiliza el agua potable para el riego, sin embargo, más de un millón de habitantes no tiene este servicio (Instituto Metropolitano Planificación 2010).

La OMS recomienda un mínimo de 9 m² de área verde por habitante para tener una buena calidad de vida de la ciudad, lo cual no se alcanza debido al sobrepoblación y falta de planificación siendo escaso el recurso suelo y agua, obteniendo una relación de área verde por habitante en Lima de 3.5 m²/habitante.

La Universidad Nacional Agraria La Molina, tiene 17 ha de césped que son irrigados por un sistema automatizado de riego por aspersión, compuesto por rotores 5000, 3504, 6504 y difusores serie VAN. Para la adecuada gestión del agua es necesario determinar el coeficiente de distribución de uniformidad de riego que debe ser evaluada de forma continua. Para evaluar los sistemas de riego se utiliza la uniformidad de distribución (DU). Esta uniformidad se ve afectada por un diseño deficiente, falta o exceso de presión del agua, válvulas defectuosas, vástagos rotos u obstruidas, líneas obstruidas, velocidad y dirección de vientos excesivos (Sheffield 2016). La velocidad de viento es el factor más incontrolable y tiene el mayor impacto en la uniformidad de distribución. El viento interrumpe la trayectoria de las gotas e induce la evaporación de estas. Por esa razón es importante realizar evaluaciones de uniformidad para determinar si el sistema está funcionando de manera adecuada (Yacoubi et al. 2012).

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar la uniformidad de distribución (DU) del agua de riego para diferentes velocidades de viento y tipos de aspersores en las áreas verdes de la UNALM. Así mismo, se proponen las medidas correctivas para mejorar la aplicación del riego y el correcto aprovechamiento del recurso hídrico.

OBJETIVO PRINCIPAL

- Evaluar la uniformidad de distribución del agua de riego para diferentes velocidades de viento y tipos de aspersores en las áreas verdes de la UNALM.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las áreas verdes de trabajo, horas de evaluación y tipos de aspersores a evaluar en función de las dimensiones del jardín.
- Calcular y evaluar la distribución de uniformidad del agua de riego bajo diferentes velocidades de viento y tipos de aspersores.
- Proponer las medidas correctivas para mejorar la distribución de uniformidad del agua de riego.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN

Este método 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 (Morales 2018).

2.1.1. Sistema de riego instalado en la UNALM.

El sistema de riego por aspersión es fijo, opera de forma automática con tuberías enterradas, con aspersores del tipo pop-up que se instala por debajo del nivel del terreno y que emergen a la superficie por acción de la presión durante el riego. El sistema de riego inicia en la caseta de control, que se encuentra cercano al reservorio de 9372 m³ ubicado en la zona del campo ferial. El sistema inicia en el cabezal de bombeo y filtrado. El riego se presuriza a través de una electrobomba sumergible de eje vertical, que cumpla con los requerimientos de presión y caudal del diseño ($P= 69$ m.c.a y $Q= 20.5$ l/s) (De la Cueva y Hurtado 2013).

El equipo de bombeo está constituido por uno o más bombas, con función de impulsar el agua hacia el sistema de riego a través de las tuberías, desde la fuente de agua (pozo o reservorio) por todo el sistema hasta los emisores, permitiéndole a éstos un correcto funcionamiento (Llueu 2015).

En los jardines evaluados los tipos de rotores y difusores instalados son: Aspersores serie 3504, serie 5000, serie Falcon y difusores de la serie 10 VAN (toberas de sector ajustable) y 12 VAN.

Los aspersores de serie 3504 cuenta con una alta tecnología que suministra gotas de agua más grandes dando patrones de riego más uniformes lo que elimina el exceso por nebulización con el consiguiente ahorro de agua. Permite ajustar el arco a través de la

parte superior del rotor para el que solo se necesita un destornillador de punta plana (Rain Bird 2017).

Las especificaciones:

- Alcance: 4,6-10,7m
- Alcance mínimo utilizando el tornillo de reducción del alcance: 2,9 m
- Presión: 1.7-3.8 bares
- Caudal: 0.12-1.04 m³/h
- Ajuste del sector: 40°-360°

Los aspersores de serie 5000 suministran gotas de agua más grandes dando patrones de riego más uniformes lo que elimina el exceso por nebulización con el consiguiente ahorro de agua, tiene un orificio de ajuste de arco autolimpiante que evita acumulaciones de residuos. Especificaciones:

- Alcance: de 7,6 a 15.2 m
- Alcance con tornillo reductor de alcance: 5.7 m
- Presión: de 1,7 a 4,5 bar
- Caudales: de 0,17 a 2,19 m³/h

Los difusores de serie 1800 son ideales para zonas irregulares gracias al ajuste preciso del sector de riego. Para 10 y 15 VAN el ajuste del sector va desde 0° a 360°. Trabajan a una presión de 1 a 2,1 bares, con un alcance de 0,9 hasta 5,5 m.

Los aspersores tipo Falcon 6504 presentan las siguientes especificaciones de funcionamiento:

- Tasa de precipitación: De 9 a 29 mm/h
- Alcance: De 11,9 a 19,8 m
- Presión: De 2,1 a 6,2 bar
- Caudal: De 0,66 a 4,93 m³/h
- Entrada roscada BSP hembra 1" (26/34)

Rotativa serie R1318; con un alcance de 4 m a 7 m alcanza presiones de hasta 4 bares.

2.2. ESPACIAMIENTO ENTRE ASPERSORES

El traslape entre aspersores debe ser 100% lo que significa espaciarlos en función al radio de cada aspersor. El espaciamiento cuadrático es el más débil en distribución, el punto débil es la distancia entre los aspersores de la diagonal y el espaciamiento triangular más eficiente es el equilátero, en triangulo es la distribución más uniforme y la precipitación

es mayor. Pero el espaciamiento cuadrático es el más común y es utilizado debido a los límites de los espacios urbanos (RainBird 2018).

2.3. PLUVIOMETRÍA O VELOCIDAD DE APLICACIÓN

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/m².hora.

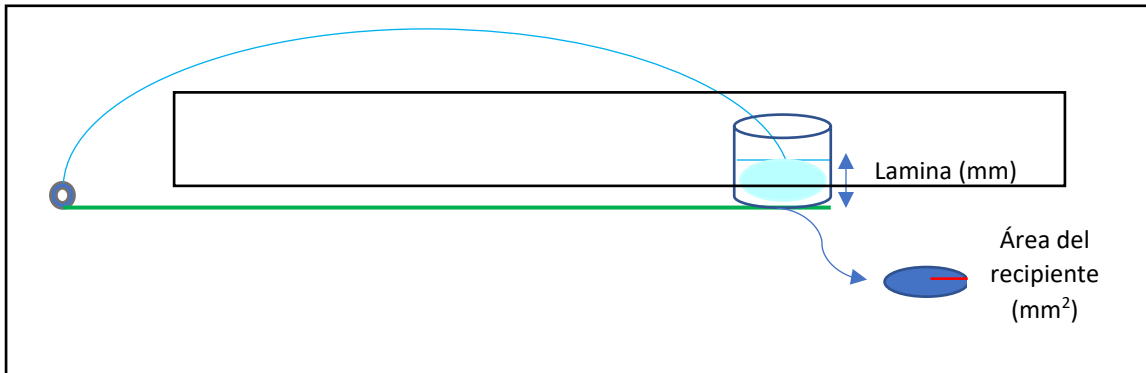


Figura 1: Representación gráfica de la colecta de agua para el cálculo de DU

FUENTE: Elaboración propia

Para el cálculo de la velocidad de aplicación del aspersor se aplican las siguientes fórmulas:

$$Volumen(mm^3) = \text{Área del recipiente}(mm^2) \times \text{Lamina}(mm)$$

$$Velocidad \left(\frac{mm}{hr} \right) = \frac{Lamina(mm)}{Tiempo \text{ de riego}(hr)}$$

2.4. INDICADORES DE UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCIÓN

La uniformidad de la distribución de agua es una medida de la variabilidad de la altura de agua aplicada sobre un área dada. Los indicadores y métodos empleados para cuantificar la uniformidad son los que se presentan a continuación.

2.4.1. Coeficiente de uniformidad (CU)

Este indicador definido por (Christiansen 1942) es uno de los más empleados en la evaluación de jardines con sistemas de riego por aspersión. Se define como:

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

Donde

CU: Coeficiente de uniformidad [%]

Xi: Altura de agua medida en cada uno de recipientes de la parcela [mm]

m: Media de la altura de agua de todos los recipientes [mm]

n: Número de recipientes

Existen diversas consideraciones de este indicador que han de tomarse en cuenta cuando se interpretan sus valores. Por un lado, el valor absoluto que se introduce en la ecuación implica que se da la misma consideración al exceso de riego como al defecto de este. Es decir, las desviaciones por encima o por debajo de la media se valoran con una variación que no considera su signo, no sabiendo si se representa un exceso o un defecto de agua en el riego. Por otro lado, el CU aporta una medida que compara la desviación absoluta de la medida con la media de la aplicación. Es por ello, que este indicador muestra en promedio cómo es de uniforme el patrón de aplicación. No indica en qué zonas concretas hay problemas y la intensidad del problema.

En todo caso, valores bajos de CU indican una incorrecta combinación de número y tamaño de boquilla, presión de trabajo o de distribución espacial de aspersores. Sin restarle importancia a este indicador, pero por todo lo expuesto anteriormente, se emplearán otros coeficientes que completen los resultados obtenidos (Martínez 2014).

2.4.2. Uniformidad de distribución (DU)

La uniformidad por superficie de sistema de riego se puede evaluar también con este coeficiente (Merriam y Keller 1978), 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:

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

Donde:

DU Uniformidad de distribución [%]

X_{1q} Altura de agua medida en el cuartil inferior [mm]

X_m Media de la altura de agua de todos los recipientes [mm]

Este método se centra en evaluar la magnitud de las áreas que menos cantidad de agua reciben. Sin embargo, este indicador no tiene en cuenta la localización de los menores valores de aplicación. El cuartil inferior de alturas de agua puede estar distribuido en un área relativamente grande o puede proceder de un foco concreto y aislado. Por tanto, los resultados que aporten esta medida se acompañarán de análisis gráficos de la pluviometría anteriormente descritos.

2.4.3. Diferencias entre DU y CU

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 (Wenting y Pute 2011).

Tanto el DU como el CU son parámetros que se ven muy afectados por las condiciones de ensayo. Es importante evaluar la uniformidad del riego dentro de las condiciones normales de la programación del riego (Martínez 2014).

2.4.4. Antecedentes de Uniformidad

Para la evaluación de la uniformidad del riego Sheffield (2016) determina la calidad de un riego en función a la siguiente clasificación. La asociación de riego mediante varias auditorías de riego del paisaje establece la distribución de los cuartos bajos. En el Cuadro 1 se muestran los rangos posibles para una correcta uniformidad.

Para Sheffield (2016) un sistema de aspersión, los valores CU oscilaron entre 75-85%. Diversos estudios mostraron que a medida que la velocidad del viento aumenta, los valores de CU disminuyen.

También este artículo presenta una comparación de métodos para calcular la uniformidad en la auditoría de riego de jardines.

Clasificación	DU (%)	CU (%)
Excelente	>65	>75
Bueno	50-65	55-75
Malo	<50	<55

Figura 2: Clasificación del sistema de riego

FUENTE: Sheffield (2016)

Cuadro 1: Rangos posibles para una correcta uniformidad

Tipo de rociador	Posible	Objetivo	Histórico
ROTORES	0.75-0.85	0.65-0.75	0.55-0.65
DIFUSORES	0.65-0.75	0.55-0.65	0.45-0.55

FUENTE: Asociación de riego (2013)

El enfoque del artículo es la diferencia entre el Coeficiente de uniformidad (CU) de Christiansen y la Uniformidad de distribución del cuarto bajo (DU). Para esto se analizaron 236 estaciones individuales en 35 campos atléticos deportivos. Para fines de comparación, los cálculos de estas mismas estaciones se presentan, para la mayoría de los paisajes, que el método CU producía valores de eficiencia más altos que el método DU. En algunos casos, la diferencia de eficiencia entre los dos métodos fue tan alta como 20% (Swanson 2017).

La Uniformidad de Distribución (UD) varía en los sistemas de riego de paisaje en función de varios factores, incluido el diseño del sistema, el tipo de equipo de rociadores utilizado y las prácticas de instalación y mantenimiento. En este estudio de la Universidad de Florida, usaron DU como indicador en una comparación de sistemas de irrigación residencial de rotor y rociador se auditaron 25 sistemas residenciales. Al comparar los valores CU y DU para sistemas residenciales, los promedios fueron de 59% y 45% para rotores y aerosoles, respectivamente, y que el método CU produjo consistentemente mayores eficiencias de DU. Mientras que los rotores tenían un DU más alto que los cabezales de aspersión, los autores informaron que todos los resultados de DU fueron más bajos de lo que esperaba. La uniformidad del sistema en un riego residencial se puede mejorar minimizando la ocurrencia de baja presión en el sistema de riego y asegurándose de que se utiliza un espaciado adecuado en el diseño y la instalación (Baum et al. 2005).

En otras pruebas realizadas en la Universidad politécnica de Valencia se encontró como resultado para los jardines una baja uniformidad de riego, donde a pesar de que la distribución de los aspersores es bastante correcta, entonces esta baja uniformidad es debida a que en la parcela existen aspersores defectuosos. Algunos de ellos no llegan a emerger totalmente del suelo y el chorro, que impacta con la superficie del suelo y con el césped, no distribuye correctamente el agua; y otros directamente no llegan a emerger y, por tanto, no aportan agua. Además, algunos elementos del jardín como árboles y arbustos obstaculizan la correcta difusión del agua en la parcela, provocando así charcos que rodean los árboles y zonas donde no llega el agua (González 2015).

2.5. EFICIENCIA DE APLICACIÓN

La eficiencia de aplicación (E_a) del riego es un concepto de rendimiento y se refiere a la proporción del agua aplicada que queda almacenada en la zona radicular del cultivo.

La E_a se puede determinar por la expresión siguiente:

$$E_a(\%) = 100 \frac{\text{Volumen emitido por aspersores}}{\text{Volumen almacenado en zona radicular}}$$

En el caso en que no haya escorrentía ni pérdidas por percolación profunda en el riego por aspersión, la E_a se puede determinar a partir de los datos de la pluviometría de los aspersores (P en mm/hora), del tiempo de riego (T en horas) y de la altura media de agua recogida en la red de pluviómetros (m en mm) mediante la expresión siguiente:

$$E_a(\%) = 100 * \frac{PT}{m}$$

La eficiencia de aplicación de agua irrigada es un parámetro que cuantifica cuanto del agua aplicada es realmente utilizada (María et al. 2005).

2.6. VELOCIDAD DEL VIENTO

La velocidad y dirección del viento (W) como variable meteorológica son los principales parámetros con mayor impacto en la distribución de agua de riego por aspersión, resulta importante en el arrastre del viento y las pérdidas por evaporación (Tarjuelo et al. 2000). La distribución de agua de un aspersor se distorsiona y reduce en condiciones de viento, el agua aplicada puede perderse parcialmente por evaporación, esencialmente por el arrastre fuera de la superficie de riego.

La consecuencia de estos problemas podrían ser el riego excesivo o insuficiente riego en los jardines (Laserna et al. 2016).

En estos casos se recomienda regar en horas de menor o ausencia total del viento. El efecto del viento se compensa disminuyendo la separación entre aspersores, pero implica un mayor número de ellos en el sistema (Varas y Sandoval 1989).

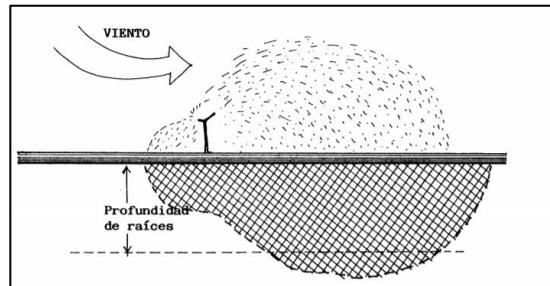


Figura 3: El viento no permite un mojado parejo del suelo regado por aspersión

FUENTE: Varas y Sandoval (1989)

2.7. PÉRDIDAS POR EVAPORACIÓN Y ARRASTRE

Los principios del riego se han desarrollado al punto que la eficiencia de aplicación es controlada principalmente por la cantidad de pérdidas por evaporación y arrastre (PEA) que está presentando el sistema de riego. Las pérdidas en el riego, principalmente en las zonas áridas y semiáridas, pueden sumar a una proporción considerable agua descargada por los emisores (Bavi et al. 2009).

La magnitud de las PEA se ven afectadas por distintos factores como el modelo del emisor y las condiciones climáticas (Lopez et al. 2011).

Durante el riego por aspersión, una parte del agua emitida por el aspersor puede perderse por evaporación y arrastre por el viento (PEA). Estas pérdidas causan la reducción de la evapotranspiración (ET) durante el riego, así como unos cambios microclimáticos y fisiológicos. Esta reducción de la ET puede ser beneficiosa para los cultivos sobre todo durante los riegos diurnos (Stambouli et al. 2008).

Para la obtención del déficit de la presión de vapor de agua se utilizó la ecuación (1) desarrollada por Trimmer (1987).

$$(1) \quad e_s - e_a = 0.61 \exp\left(17,27 \frac{T}{237,3 + T}\right) \left(1 - \frac{HR}{100}\right)$$

Donde: e_s = Déficit de la presión de vapor de agua, kPa.

Para el cálculo de las PEA se utiliza la siguiente formula; la presión de trabajo del emisor (kPa), la velocidad del viento (m/s) y el déficit de la presión de vapor de agua (kPa) (Lopez et al. 2011).

$$PEA = p^2 + \frac{(1,98v^2 + 4,66v) + v(e_s - e_a) + \left(\frac{-1,98v^2 - 0,49}{p - 0,44}\right)}{p}$$

2.7.1. Arrastre de las gotas de agua por efecto del viento (wind drift)

El chorro de agua que sale de una boquilla puede tener velocidades que van desde casi cero cercas del exterior hasta una velocidad máxima cerca del centro de la corriente. En un rociador, esto es ayudado mecánicamente por la rotación del rociador y la interrupción La resistencia del aire tiende a distorsionar la forma esférica de una gota al aplanar el lado curvo de la gota, el viento afecta el patrón de distribución de un aspersor según la velocidad y la dirección del viento(Mohamed et al. 2016).

En el Cuadro 2, se muestran los parámetros de un sistema de rociadores al efecto de viento. Se define un viento bajo de 0-7 kph, un viento moderado de 7-14 kph y un viento fuerte de 14 kph o más.

Cuadro 2: Espaciamiento de diámetro a distintas condiciones de viento

Condiciones del viento	Espaciado
Bajo	60-65% del diámetro mojado
Moderado	50% del diámetro mojado
Alto	30-50% del diámetro mojado

FUENTE: Solomon (1990)

2.8. CRITERIOS PARA UN BUEN DISEÑO DE RIEGO Y CONDICIONES DE VIENTO

El agua descargada de un solo aspersor no se distribuye uniformemente sobre toda el área; una mayor cantidad cae cerca del rociador y menos en la periferia. Para garantizar una precipitación uniforme en toda el área bajo riego, los rociadores siempre se colocan de manera que se superponen entre sí desde ambas direcciones. Para obtener una buena uniformidad de distribución por superposición, el espaciamiento de los rociadores (Sm) no debe exceder el 65 por ciento del rociador cobertura del diámetro bajo condiciones de

viento de ligeras a moderadas en el cuadrado y patrones rectangulares. En el patrón triangular, el espaciado puede ser se extendió hasta el 70 por ciento de la cobertura del diámetro. En viento fuerte condiciones, el espacio debe ser del 50 por ciento de la cobertura del diámetro con la dirección lateral perpendicular a la dirección del viento. Con un viento de fuerza de más de 3.5 m / s, no se recomienda regar. Las direcciones y velocidades del viento deben registrarse y clasificarse en consecuencia, (0-0.7 m /s Viento nulo, 0.7-2.5 m /s Ligero, 2.5-3.5 m /s Moderado a Fuerte, y > 3.5 m /s muy Fuerte). Rociar no es recomendado en condiciones de fuerte viento (Phocaides 2007).

2.9. PRESIÓN DE TRABAJO

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).

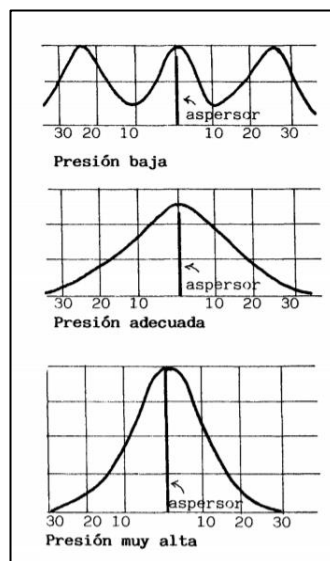


Figura 4: Distribución del agua en función de la presión de trabajo de los aspersores

FUENTE: Varas y Sandoval (1989)

La presión de funcionamiento y la velocidad del viento son los factores predominantes que afectan las pérdidas del sistema de rociadores. Según lo informado por Molle et al. (2011), las pérdidas debidas a la evaporación representaron el 30-50% de las pérdidas totales; el 50-70% restante se debió al viento, lo que ocasionó que pequeñas gotas se despegaran fuera de la zona objetivo. Playan et al. (2005) también reportó pérdidas de

evaporación y deriva de 15.4% y 8.5% para sistemas de sólidos durante riegos de día y de noche, respectivamente. Varios autores han informado que la evaporación y las pérdidas por deriva dependen de la operación y condiciones climáticas, principalmente en la velocidad del viento (Bishaw y Olimana 2015). El tamaño de las gotas puede ser controlado mediante la relación entre el diámetro de la boquilla y la presión de funcionamiento. Con las presiones bajas, las gotas son de mayor tamaño, mientras que, con presiones mayores, tienden a ser bastantes más pequeñas, lo que puede dar origen a pérdidas importantes por acción del viento (arrastre) y por evaporación. En estas condiciones, cuando los aspersores operen en climas áridos y ventosos, habrá que evitar las combinaciones de pequeña dimensión de la boquilla y de presión elevada que den origen a gotas de pequeño tamaño (Picornell et al. 2010).

2.10. PRINCIPIOS PARA UN BUEN RIEGO

Los siguientes son los cuatro principios clave que deben implementarse para garantizar que el riego de áreas de césped y paisajismo sea eficiente:

- La cantidad de agua aplicada debe ser apropiada para la planta y el suelo.
- Tiempo de aplicación de agua para adaptarse a la planta y el clima.
- El agua debe ser aplicada de manera uniforme y efectiva.
- El agua debe ser aplicada a la zona de la raíz de la planta sin derroche por escorrentía, drenaje profundo, cobertura ineficaz y otras fuentes.

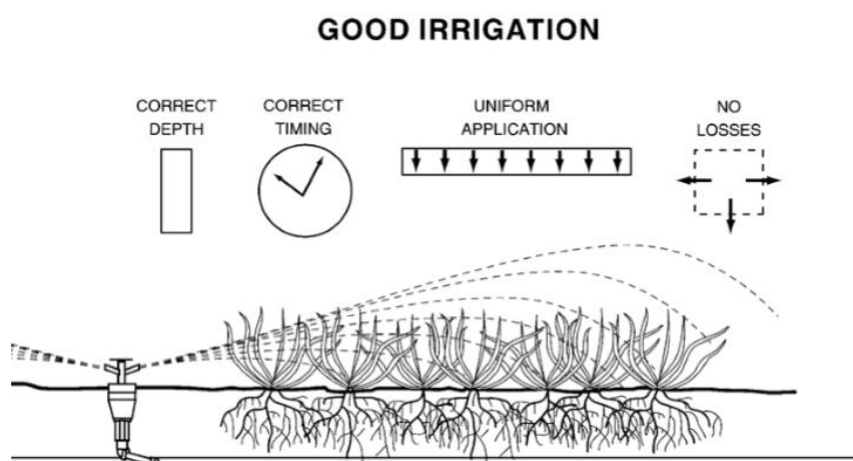


Figura 5: Los cuatro principios claves de un buen riego

FUENTE: Connellan (2002)

Un requisito fundamental de cualquier sistema de riego es que esté diseñado para aplicar el agua de manera eficiente y efectiva y que se mantenga para garantizar un alto nivel de rendimiento continuo. La uniformidad de la aplicación es esencial para los sistemas de riego por aspersión. Si los sistemas de rociadores no son uniformes, se desperdiciará. Es común observar áreas secas dentro de los patrones de riego. La mala uniformidad es generalmente la causa de esta condición. Los sistemas de riego por aspersión son engañosos en términos de la aplicación de agua. Pueden parecer muy parejos en la aplicación porque se está distribuyendo mucha agua en un área relativamente confinada. De hecho, todos los sistemas de riego por aspersión presentan cierto grado de irregularidad. Algunos son particularmente pobres. Las posibles razones de esta falta de uniformidad incluyen:

- Rociadores y aerosoles espaciados demasiado separados.
- Condiciones ambientales desfavorables como el viento.
- Presión de funcionamiento incorrecta.
- Tamaño de boquilla incorrecto.
- Malos tamaños de tubería y válvula - presión excesiva y variación de flujo en el sistema.
- La cabeza o el equipo de rociadores no funcionan de manera efectiva.

En resumen, un buen riego es la aplicación eficiente de la cantidad correcta de agua en el momento correcto y en el lugar correcto (Connellan 2002).

Así también, la uniformidad de los aspersores influye en las concentraciones de nutrientes en el suelo. Menor será la probabilidad que los nutrientes del cultivo se lixiviarán desde la zona de la raíz cuanto mayor sea la uniformidad del sistema de riego; los rendimientos de los cultivos podrían reducirse en aplicación no uniforme de agua. También es importante entender que el rendimiento de los rociadores influye en la uniformidad de riego (Dukes 2006).

2.11. ANEMÓMETRO MODELO AM-900

Instrumento utilizado para medir la velocidad del viento el anemómetro de copa, especial para mediciones de viento en intemperie. Nos muestra la velocidad instantánea en las unidades elegidas. En la figura 6 se muestra el anemómetro usado en las pruebas de campo.



Figura 6: Anemómetro de copa modelo AM-900

FUENTE: Catalogo Vortex

Cuadro 3: Características del anemómetro

TIPO DE SENSOR	Rotor de 3 cucharas produce una pulsación por vuelta.
RANGO DE VELOCIDAD	Aprox. 3 mph -125+mph (5 kph-200 kph)
SOPORTE DE MONTAJE	El anemómetro incluye un soporte de montaje de aluminio con 2 orificios para tornillos. El soporte es de aproximadamente 8" de largo.
CABLE	Largo estándar es de 8 m. Puede ser extendido usando cable de audio de 1/8" con conector de 2.5 mm.
PANTALLA	Pantalla LCD Removible Pantalla Dual muestra simultáneamente la velocidad actual y MAX, PROMEDIO, K,/MILLAS. Selección de mph,km/h,nudos (knots) Resistente al agua (No a prueba de agua)
ALIMENTACIÓN	Tiempo de vida de la batería de un año dependiendo del uso del equipo. Modo de bajo consumo de energía.
RITMO DE ACTUALIZACIÓN	Aprox. 1 Hz (1 segundo)
PRECISIÓN	+/- 1 mph o 0.44704 m/s o 1.6 km/h 4% de la medición, entre 10 a 50 mph

FUENTE: Manual Vortex- Modelo AM-900

2.12. MANÓMETRO

El manómetro es un instrumento utilizado para la medición de la presión en los fluidos, generalmente determinando la diferencia de la presión entre el fluido y la presión local. Para el buen funcionamiento de un sistema de riego por aspersión es necesario realizar un monitoreo constante de la presión tanto en la salida del arco de riego como en la cabeza del aspersor (Lacoma 2017). En la Figura 12 se muestra el manómetro que posee una boquilla que se adapta a la salida del arco de riego y nos permite medir la presión de una forma FÁCIL Y RÁPIDA DURANTE EL RIEGO.



Figura 7: Manómetro para arco de riego

FUENTE: Elaboración propia

2.13. INTERPOLACIÓN DE LA DISTANCIA INVERSA PONDERADA (IDW)

El software proporciona una herramienta de interpolación denominada IDW (Interpolación por distancia inversa ponderada). Lo que hace esta herramienta es determinar los valores de cada una de las celdas mediante una combinación de puntos (Villatoro, M. et al. 2008).

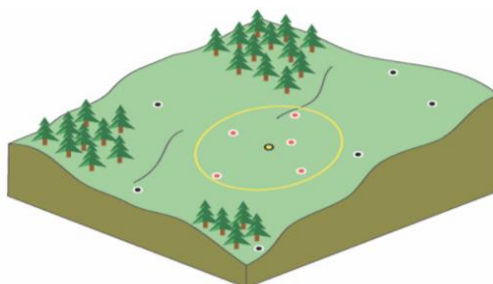


Figura 8: Vecindad de IDW del punto seleccionado

FUENTE: Manual ArcMap 10.5

La estima valores desconocidos al especificar la distancia de búsqueda, los puntos más cercanos, el ajuste de potencia y las barreras. La IDW es matemática (determinista) asumiendo que los valores más cercanos están más relacionados que otros con su función (González 2015).

El IDW utiliza un algoritmo simple basado en distancias es el método es más rápido en los cálculos que otros métodos que usa ArcGis 10.1 como el Kriging. En contraposición, el método IDW crea cerca de los puntos de muestreo patrones poco reales conocidos como “ojos de buey” en el ámbito estadístico. El método IDW es similar al Kriging ordinario, ya que da más peso a los valores cercanos a un punto, pero posee una menor complejidad del cálculo (González 2015).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN DEL ÁREA EXPERIMENTAL

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en los jardines de la Universidad Nacional Agraria La Molina, en los meses de enero, febrero, marzo y abril del presente año.

Departamento: Lima

Provincia: Lima

Distrito: La Molina

Longitud: 12°4'49''

Latitud: 72°56'58''

Altitud: 245 msnm

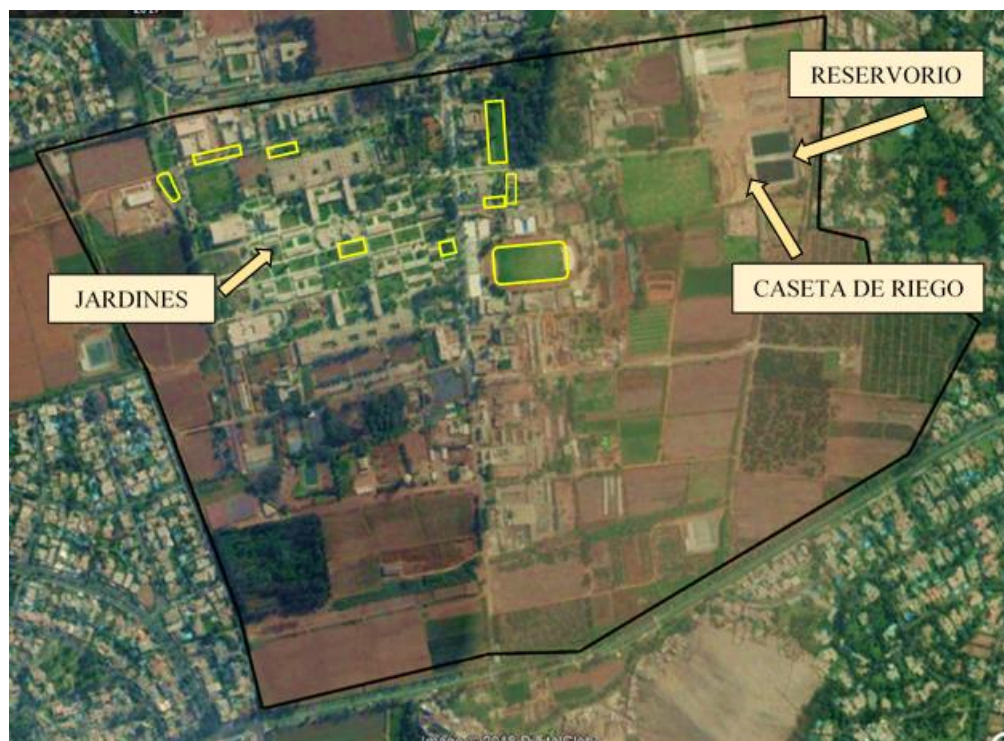


Figura 9: Ubicación geográfica de los jardines evaluados

FUENTE: Google Earth (2016)

3.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO ACTUAL

Las UNALM cuenta con un sistema de riego por aspersión, las pruebas de campo se realizaron en 10 jardines con una válvula distinta cada uno.

El sistema comprende los siguientes componentes:

- La fuente de abastecimiento de agua (reservorio)
- Cabezal principal (bomba, filtro, válvulas para el control y medición)
- La subunidad de riego; es el área comandada por un arco de riego.
- El arco de riego (electroválvula, reguladora de presión, solenoide)
- Tuberías porta laterales son las que distribuyen el agua a los laterales de riego, están instaladas de forma fija y son de material PVC.
- Los laterales de riego son tuberías que conducen el agua de los portlaterales a los emisores.
- Los emisores son elementos que reciben agua de los laterales de riego y la aplican al terreno, aquí encontramos los aspersores.

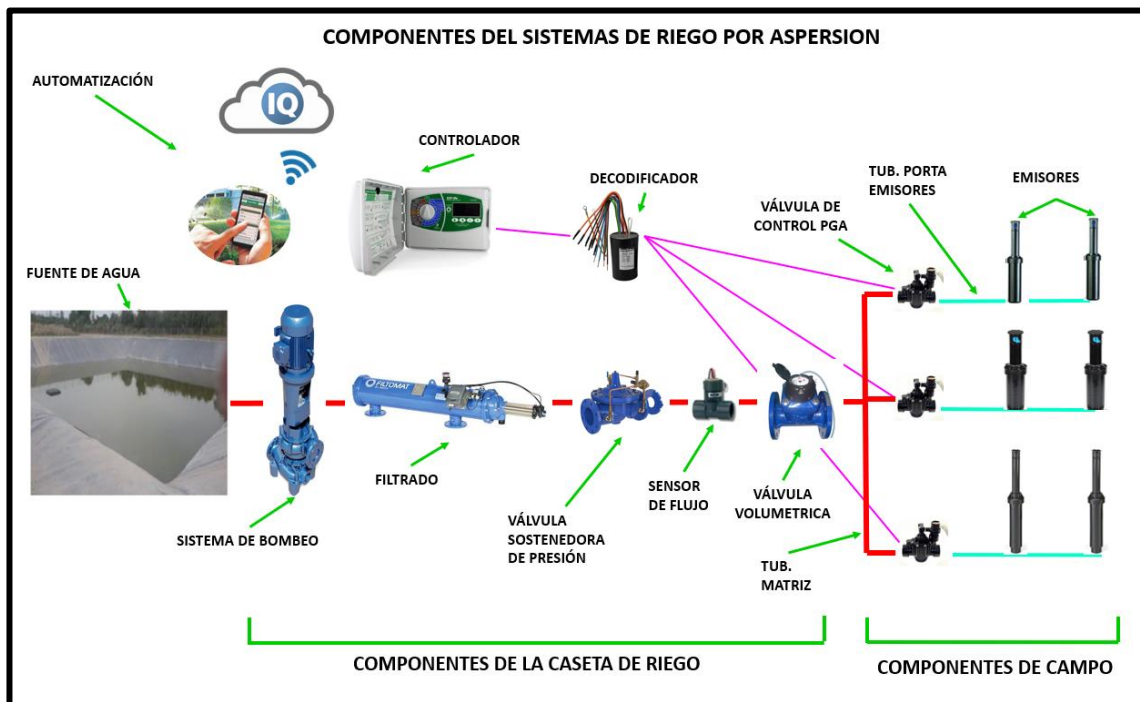


Figura 10: Componentes del sistema de riego

FUENTE: Adaptado Lluen (2015)

3.3. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

3.3.1. Características del suelo

Las muestras de suelo para efectuar la caracterización físico-química del área de estudio, analizadas por el Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertirriego de la Universidad Nacional Agraria La Molina dieron como resultado que la conductividad eléctrica fue de 1.70 dS/m, lo cual indica que se trata de un suelo muy ligeramente salino. A partir del valor del pH (7.77) se determinó que se trata de un suelo ligeramente alcalino (Cifuentes 2016). El porcentaje de materia orgánica (1.96%) que presenta el área experimental es bajo y por ende una pobre concentración de nitrógeno total. Las concentraciones de potasio y fósforo disponible se pueden calificar como medio y alto respectivamente. El contenido de material calcáreo (CaCO₃) se considera en el rango bajo. El suelo es de textura franca. La capacidad de campo del terreno fue de 0.28 m³/m³, mientras que el punto de marchitez permanente fue a 0.14 m³/m³, valores acordes al tipo de textura del suelo según la FAO (Allen et al. 2006).

Número de muestra		CE dS/m	pH	M.O.	P	K	CaCO ₃	AH+3+H+1
Lab.	Campo	Relación 1:1	Relación 1:1	%	ppm	ppm	%	
9641	TB2-M1D1	1.70	7.77	1.96	27.92	195.4	3.84	-

Figura 11: Análisis de características de suelo

FUENTE: Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertirriego. UNALM.

3.3.2. Características del agua

La fuente de agua para el riego es del reservorio que forma parte del sistema de riego de áreas verdes y jardines de la UNALM. Las muestras de agua se analizaron en el Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertirriego y en el Laboratorio de Ecología Microbiana y Biotecnología “Marino Tabusso”, ambos de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Los resultados de los análisis se pueden observar en la Figura 17. Según la conductividad eléctrica analizada en la muestra (0.49 dS/m), el agua para riego se clasificó como C2, es decir presenta con una salinidad moderada, lo cual indica que se trata de un agua de buena calidad para los cultivos que toleran moderadamente la sal. Por otro lado, el SAR (Relación de Absorción de Sodio) fue de 0.60 lo cual indica que pertenece a la clasificación S1, es decir sin peligro de sodio. El pH (7.24) clasifica al agua de riego muestreada como ligeramente neutra, y se encuentra

dentro de los valores máximos recomendables al igual que la dureza total del agua para fines de riego (Cifuentes 2016).

N° LABORATORIO	6874
N° DE CAMPO	Agua
CE dS/m	0.49
pH	7.24
Calcio (meq/l)	3.42
Magnesio (meq/l)	0.52
Sodio (meq/l)	0.85
Potasio (meq/l)	0.10
SUMA DE CATIONES	4.89
Cloruro (meq/l)	0.84
Sulfato (meq/l)	2.36
Bicarbonato (meq/l)	1.62
Nitratos (meq/l)	0.00
Carbonatos (meq/l)	0.00
SUMA DE ANIONES	4.83
SAR	0.60
CLASIFICACION	C2-S1
Boro (ppm)	0.31
Turbidez (NTU)	5.78
Carbonatos mgCaCO3/L	0.00
Solidos suspendidos mg/L	6.84
DBO5 mgO2/L	52.35
DQO mgO2/L	30.00
Dureza total mgCaCO3/L	196.65

Figura 12: Análisis Químico del Agua

FUENTE: Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertirriego. UNALM, Cifuentes (2016)

3.4. MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS EN EL PROYECTO

Los materiales y equipos que se utilizaron para etapa de campo de la presente investigación son:

3.4.1. Materiales de campo

- Desarmador de cabeza verde
- Llave mixta N 10
- Badilejos
- Palas
- Cinta métrica de 30 metros
- 50 a 200 Vasijas de plástico

- 3 probetas de 100 ml
- Plano del área
- Plumón indeleble
- Libreta de campo
- Lápiz y borrador

3.4.2. Equipos

- Sistema de riego instalado
- Aspersores: SERIE 5000 / SERIE 3500 / SERIE FALCON 6405
- Difusores: 10 VAN / 12 VAN
- Manómetro de arco de riego
- Anemómetro de paletas
- Trípode topográfico
- Cámara fotográfica

3.5. MÉTODOS

Para la siguiente investigación se desarrolló las siguientes etapas.



3.5.1. Fase de pre - campo

a. Reconocimiento del sistema de riego por aspersión.

Para dar inicio, se reconoció todos los componentes que tiene el sistema de riego por aspersión, como el sistema de bombeo, sistema de filtrado, valvulería (válvula de aire,

válvula sostenedora, válvula volumétrica, válvula check), arco de riego (electroválvulas y reguladores de presión), tuberías principales, tuberías secundarias y tipos de aspersores.

b. Selección de áreas a evaluar e identificación de aspersores de riego.

Con la ayuda del plano del sistema de riego se realizó un previo recorrido por las áreas y se identificó el jardín a evaluar tomando los siguientes criterios: que se encuentre ubicada en una zona expuesta a fuertes vientos como pueden ser en alamedas, estadios, jardines en rotondas o junto a pistas y veredas. También se tomó en cuenta el tipo de aspersores (serie 3504, serie 5000, serie 6500), difusores (serie 10,12 -VAN) y rotativas.

c. Definición de los horarios a evaluar en diferentes condiciones de viento.

Con los datos proporcionados de la estación meteorológica. Se analizó la variable climática viento del año 2016 y 2017 en los meses de enero a mayo. Con las curvas de velocidad de viento, se definió tres horarios (6:30 a.m., 3:00 p.m. y 6:00 p.m.) donde se realizaron las pruebas con mínimos y máximos vientos.

d. Inspección del sistema de riego.

Luego que se identificó el área a evaluar, se procedió a verificar si para el día de la prueba el césped se encontraba podado, ya que esto permitió colocar los recipientes de manera horizontal en el campo. También se realizó un recorrido por los jardines evaluados ubicando los aspersores e identificando el tipo de boquilla, de presentar una diferente a lo que muestra el plano se realizó el cambio a la boquilla correspondiente.

3.5.2. Fase de campo

Para dar inicio a la prueba de uniformidad en campo se identifica el tipo de emisor que puede ser difusor o rotor, luego se procedió con el correcto enmallado de vasijas según sea el caso.

En campo una vez identificado que nos encontramos en un área de difusores el enmallado se realizó ubicando las vasijas en forma diagonal al difusor con una distancia de dos pies (60 cm) y también en la parte media del jardín entre las vasijas colocadas Asociación de riego (2013).

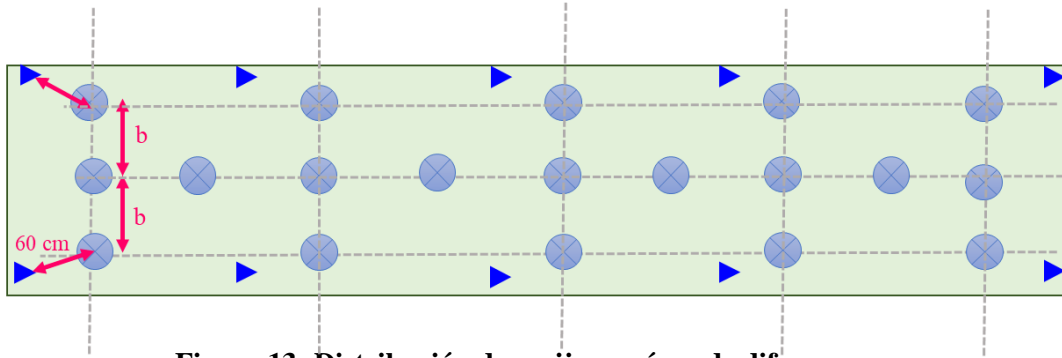


Figura 13: Distribución de vasijas en área de difusores

FUENTE: Elaboración propia

Si estamos frente a rotores, se midió la distancia de separación entre las cabezas de los rotores (r), si la distancia es superior a 4.57 m se divide entre 3, si es superior a 12.19 m se divide entre 4, este resultado son los valores de la distancia de separación entre vasijas.

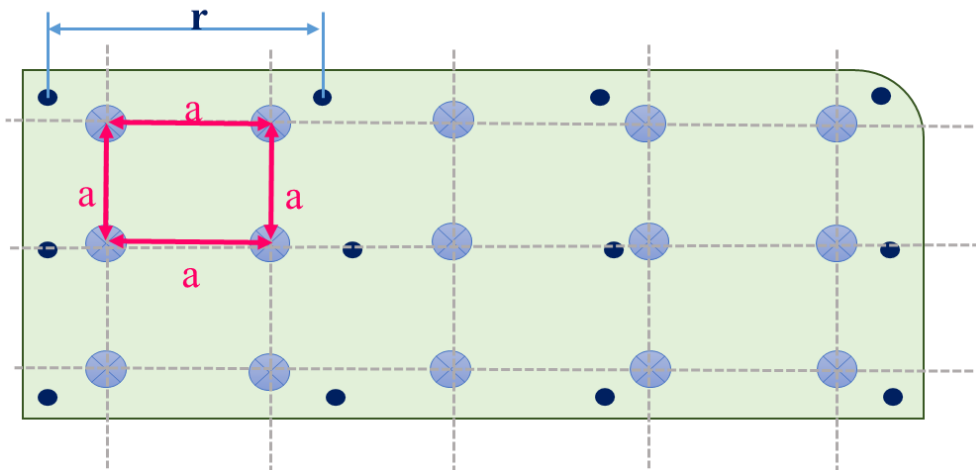


Figura 14: Distribución de vasijas en área de rotores

FUENTE: Elaboración propia

Luego de realizar la distribución de los recipientes se procedió con el armado del anemómetro que nos proporcionó las velocidades de viento, su ubicación fue la más cercana al jardín a una altura aproximada de 1.70 m.

Con una previa programación, el riego se encendió por 30 minutos en rotores y 10 minutos en difusores, una vez iniciado el riego se procedió a medir la presión de salida en la válvula ubicada en el arco de riego, es necesario que durante el riego se tomen tres veces la presión en este punto. Con el manómetro tipo Pitot se tomó la presión en los aspersores en tres puntos apropiados del área de riego, estos puntos fueron identificados

con ayuda del plano en la parte inicial, intermedia y final de los laterales de riego. Esto con la finalidad de comprobar las pérdidas de presión.

Durante el proceso de prueba, se evaluó visualmente el correcto funcionamiento de los aspersores, como la dirección, ángulo y alcance. También fue necesario dibujar en la plantilla de campo de la distribución de las vasijas para luego designar el orden en el recorrido de la toma de datos.

Una vez terminado el riego se procedió a medir los volúmenes de agua recolectados en cada vasija tomando nota de todos estos datos en la plantilla que se llevó a campo.

3.5.3. Fase de gabinete

Una vez recogidos en campo los volúmenes de agua que ha recibido cada uno de los recipientes, se transformaron éstos en alturas de agua teniendo en cuenta el diámetro interior del recipiente (90 mm) para calcular su área, y así finalmente se obtuvo la altura de agua por unidad de tiempo, precipitación, en mm/h. También se procesó las velocidades de viento con lo cual se obtuvo una gráfica que nos representa la variación del viento en el tiempo que se realizó la prueba. Para todo el proceso anterior se empleó el programa informático Microsoft Excel.

Con el fin de obtener una gráfica que proporcione un mejor análisis de precipitación se procedió a ordenar las coordenadas X e Y de las posiciones de las vasijas y las pluviometrías en Z mediante una nueva hoja Excel, estos datos se introducen en software ArcGis 10.5 al que previamente se le ha introducido el plano (AutoCAD) en formato .dwg de la zona de estudio. Dicho plano utilizado sirvió de referencia para colocar los puntos pluviométricos, para coincidir dichos los puntos con el plano se colocó la coordenada inicial (0,0) para ambos formatos. De esta manera, se obtuvo una imagen donde se visualizó las zonas con sus correspondientes pluviometrías interpoladas y los aspersores ubicados en parcela.

Para la investigación se utilizó la interpolación de datos con ArcGis 10.5. El software proporciona una herramienta de interpolación denominada IDW. El método IDW utiliza un algoritmo simple basado en distancias (Johnston et al. 2001). Una vez terminada la interpolación se obtuvo un mapa pluviométrico de colores donde cada color indica un valor de pluviometría que está referenciado en la leyenda del mapa.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La calidad del riego por aspersión se define fundamentalmente por la uniformidad y la eficiencia del riego. La uniformidad se refiere a la homogeneidad del reparto de agua en la parcela y se expresa por diversos índices de uniformidad entre estos tenemos, la Distribución de Uniformidad propuesto por Merriam y Keller (1978) y el Coeficiente de Uniformidad (CU) desarrollado por Christiansen (1942). Es por ello por lo que para el análisis de la calidad de riego se realizaron pruebas pluviométricas en diez áreas distintas durante un periodo de varias semanas para los cuatro primeros meses del año en tres horarios diferentes donde se evaluó la incidencia de la velocidad de viento en la uniformidad del riego.

Los resultados que se muestran en las siguientes tablas provienen de las pruebas que utilizan el método de cuadrícula aprobado por la Asociación de Riego descrito en la metodología.

4.1. PÉRDIDA POR EVAPORACIÓN Y ARRASTRE (PEA)

Durante el riego por aspersión, una parte del agua emitida por el aspersor puede perderse por evaporación y arrastre del viento (PEA). Siendo este un parámetro que afecta al sistema de riego por aspersión, que se generan como consecuencia de la temperatura y de la velocidad de viento que arrastra las gotas de agua fuera del jardín. Se analizó para los dos horarios de riego donde varía la velocidad de viento.

Las PEA menores fueron de 8.94% a una presión de funcionamiento de 300 kPa, velocidad de viento promedio de 0 m/s y a un déficit de presión de 0.95 kPa; siendo el valor más elevado de las PEA de 32.29% a una presión de 300 kPa, velocidad de viento de 5.70m/s y a un déficit de presión de 0.76 kPa. En el segundo horario de riego las condiciones ambientales son más adversas (mayor temperatura y mayor velocidad de viento) por lo que las pérdidas no son aceptables según Faci (2013) para que la uniformidad y eficiencia de riego no se vean afectadas las PEA deben ser menor < 10%. Las PEA según Playán *et al.* (2005) dependen en gran medida del sistema de riego por aspersión (estacionario o móvil) y de las condiciones ambientales.

Cuadro 4: Resultados de pérdidas por evaporación y arrastres

Válvula	Horario	P(bar)	v(m/s)	T (C°)	HR (%)	Ea-Es	PEA (%)
V-3	6:30 a.m.	3	0.00	18.5	92	0.952	8.94
	3:00 p.m.		5.70	25.4	66	0.755	32.29
V-26	6:30 a.m.	3	0.34	19.9	91	0.942	9.62
	2:30 p.m.		3.61	25.9	73	0.797	20.74
V-27	6:30 a.m.	3	0.00	20.4	88	0.922	8.94
	2:30 p.m.		2.55	28.3	55	0.664	16.08
V-39	6:30 a.m.	3	0.00	19.5	92	0.949	8.94
	2:30 p.m.		2.78	26.3	66	0.749	17.06
V-40	6:30 a.m.	3	0.00	19.5	92	0.949	8.94
	2:30 p.m.		2.76	25.8	68	0.765	16.99
V-46	6:30 a.m.	3	0.00	21.4	87	0.912	8.94
	2:30 p.m.		2.60	27.2	60	0.704	16.30
V-64,65 y 66	7:00 a.m.	3.5	0.80	21.9	83	0.885	13.72
	2:30 p.m.		4.70	27.9	53	0.656	27.76
V-70,71 y 73	6:30 a.m.	3.5	0.00	20.7	86	0.909	12.20
	2:30 p.m.		3.00	23.9	71	0.797	20.31
V-70,72 y 73	6:30 a.m.	3.5	0.00	20.3	88	0.922	12.20
	2:30 p.m.		3.17	26.8	60	0.707	20.89

FUENTE: Elaboración propia con los datos obtenidos en campo.

En condiciones de vientos frecuentes y de cierta intensidad, caso del Valle Medio del Ebro, estas pérdidas pueden alcanzar valores de hasta el 30% (Faci et al., 1991) si el riego no se maneja de forma adecuada.

Para Stambouli, (2008) en su evaluación nos dice que las PEA durante riegos diurnos fueron más altas que de los riegos nocturnos con promedios de 11.6% y 5% respectivamente. Esta diferencia se debe principalmente a las diferentes condiciones meteorológicas entre el día y la noche.

4.2. PÉRDIDAS POR PRESIÓN

En las pruebas realizadas se tomaron las presiones de salida en el arco de riego como se muestran en el Cuadro 6 junto con las características de las válvulas analizadas como es el tipo de aspersor, serie y boquilla inspeccionada en campo. También con el programa Epanet 2.0 se realizó el análisis de pérdidas de presión para cuatro válvulas.

En el análisis con el programa Epanet 2.0 para la válvula 72 se visualiza en la Figura 16 una pérdida de presión de 6 metros, la cual es producido por la fricción y la longitud del tramo, esta diferencia de presión no afecta la uniformidad de riego puesto que el valor no

supera el 20% admisible. Sin embargo, la disminución de la presión de funcionamiento de los aspersores lleva consigo una disminución del alcance del roto, de la pluviometría y de la uniformidad del riego, esto se puede mejorar precisando un espaciamiento menor entre aspersores para mantener una correcta uniformidad (Paniagua P et al. 2010).

Cuadro 5: Presión en arco de riego en las válvulas analizadas

Válvula	Tipo de aspersor	Presión arco de riego (m.c.a)
V-3	Serie 5000 de ¾" C/BOQ 2.5 y 1.5 Serie 3504 de ½" C/BOQ 2	30
V-26	Serie 5000 de ¾" C/BOQ 2.5 y 1.5 Serie 3504 de ½" C/BOQ 2	30
V-27	Serie 5000 de ¾" C/BOQ 2.5 y 1.5	30
V-39	Serie 5000 de ¾" C/BOQ 2.5 y 1.5	30
V-40	Serie 5000 de ¾" C/BOQ 2.5 y 1.5	30
V-46	Serie R13-18 90 y 180	30
	Serie 3504 de ½" C/BOQ 2	30
V -64 65 66	Serie FALCON 6504 de 1" C/BOQ 14	35
V-70 71 73	Serie FALCON 6504 de 1" C/BOQ 12	35
V-70 72 73	Serie FALCON 6504 de 1" C/BOQ 12	35
V-76	DIFUSOR 10-VAN	20

FUENTE: Elaborado con los datos tomados en campo

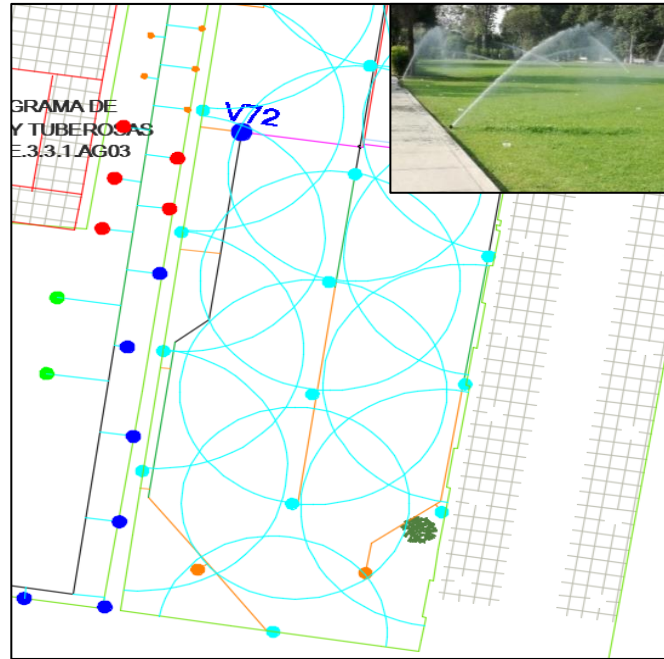


Figura 15: Plano de cobertura válvula 72

FUENTE: Elaborado en AutoCAD con el plano se jardines -UNALM

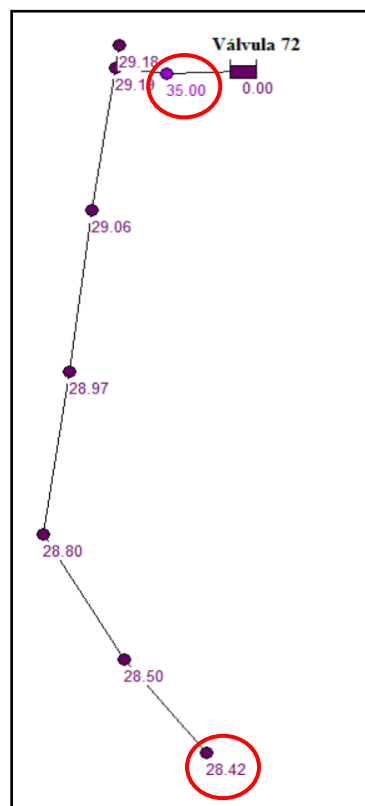


Figura 16: Perdidas de presión válvula 72

FUENTE: Epanet 2.0

Para las válvulas 27 se puede apreciar que la presión que sale de la válvula fue de 30 m y llega al rotor más alejado con 28.12 m el área analizada es la que se indica en la Figura 18 donde no se registraron grandes variaciones en la presión.

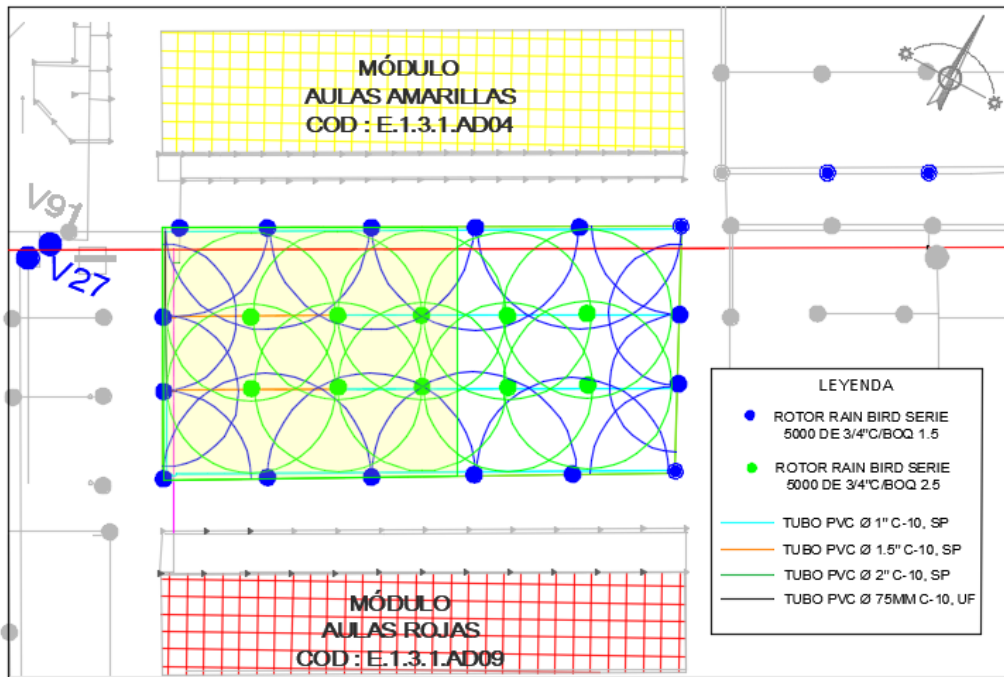


Figura 17: Plano de cobertura válvula 27

FUENTE: Elaborado en AutoCAD con el plano se jardines -UNALM

Para las válvulas 70 y 73 se visualiza en las siguientes figuras 19 y 20 que las pérdidas de presión no son significativas, pues la presión en la salida de la válvula son 35 m y en los emisores más alejados son 33 m.

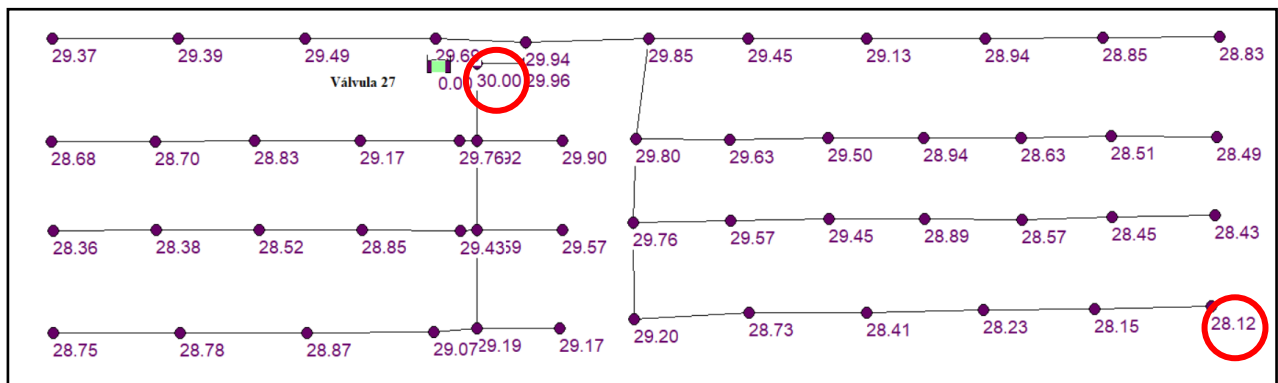


Figura 18: Pérdidas de presión válvula 27

FUENTE: Epanet 2.0

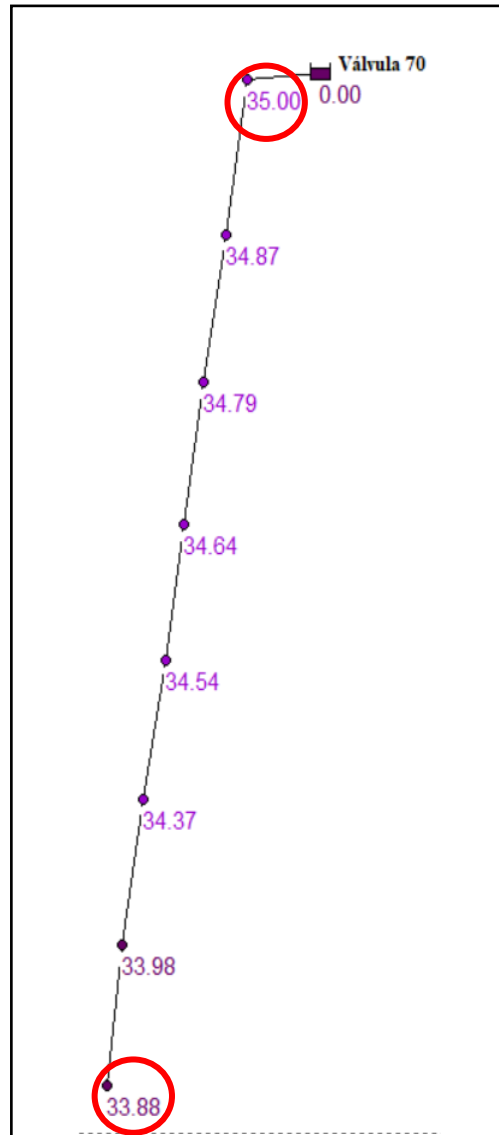


Figura 19: Perdidas de presión válvula 70

FUENTE: Epanet 2.0

4.3. DISTRIBUCIÓN DE UNIFORMIDAD Y COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD EN ROTORES

En el Cuadro 6 y 7 se presentan los valores de la Distribución de Uniformidad (DU) y del Coeficiente de uniformidad (CU) de cada uno de los jardines evaluados en tres horarios (6:30 a.m., 3:00 p.m. y 6:00 p.m.) con una velocidad de viento promedio para cada prueba, también se muestra las respectivas clasificaciones de los rangos óptimos de uniformidad. El coeficiente de uniformidad es un importante parámetro para el estudio de la uniformidad de riego. Este se utiliza para medir la variabilidad espacial de la lámina de agua aplicada por el sistema de riego.

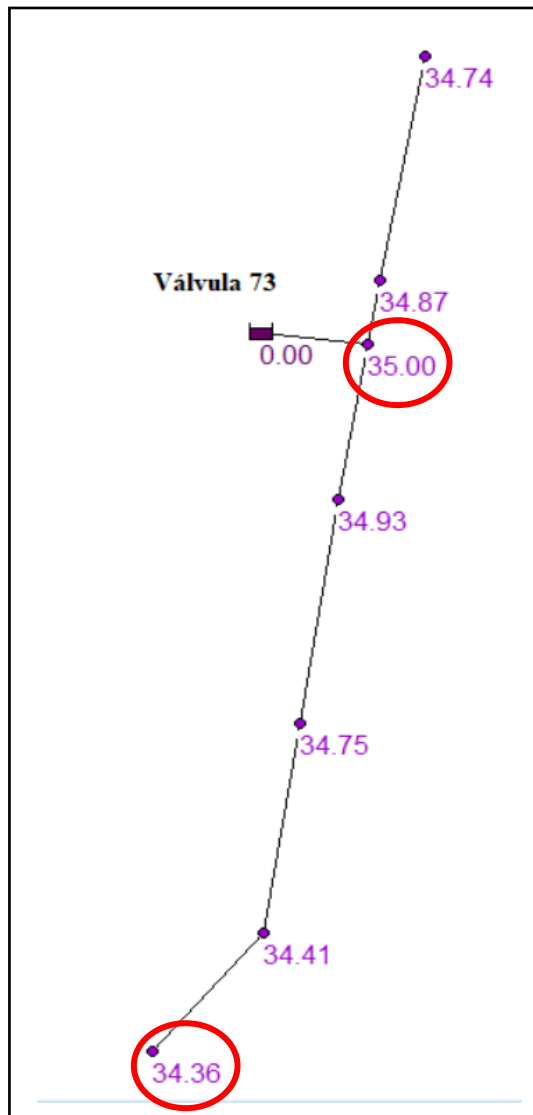


Figura 20: Pérdidas de presión válvula 73

FUENTE: Epanet 2.0

Los resultados de las pruebas presentaron los valores más bajos de DU y CU en el segundo horario de riego (3:00-3:30 p.m.) estos valores indicaron una baja calidad de riego, en este horario la velocidad de viento promedio registrada oscila de 2.6 a 5.70 m/s. Cabe mencionar que el riego que se aplicó fue con una presión de salida en el arco de riego de 3, 3.5 bar para rotores y para difusores de 2 bar.

En la Figura 21 se muestra el gráfico de barras para todas las válvulas evaluadas en el primer horario de riego (6:30-7:00 a.m.) donde se puede apreciar que los valores de DU son superiores al 55% considerando estos como buenos según la clasificación de Sheffield (2016). También para las Válvulas 70-72-73 el CU es el valor más alto de nuestras pruebas y superando el 75% clasificado como una uniformidad excelente Sheffield (2016)

La velocidad de viento promedio fue de 0 m/s de esta manera la uniformidad de riego en el primer horario no se ve afectado por el factor viento.

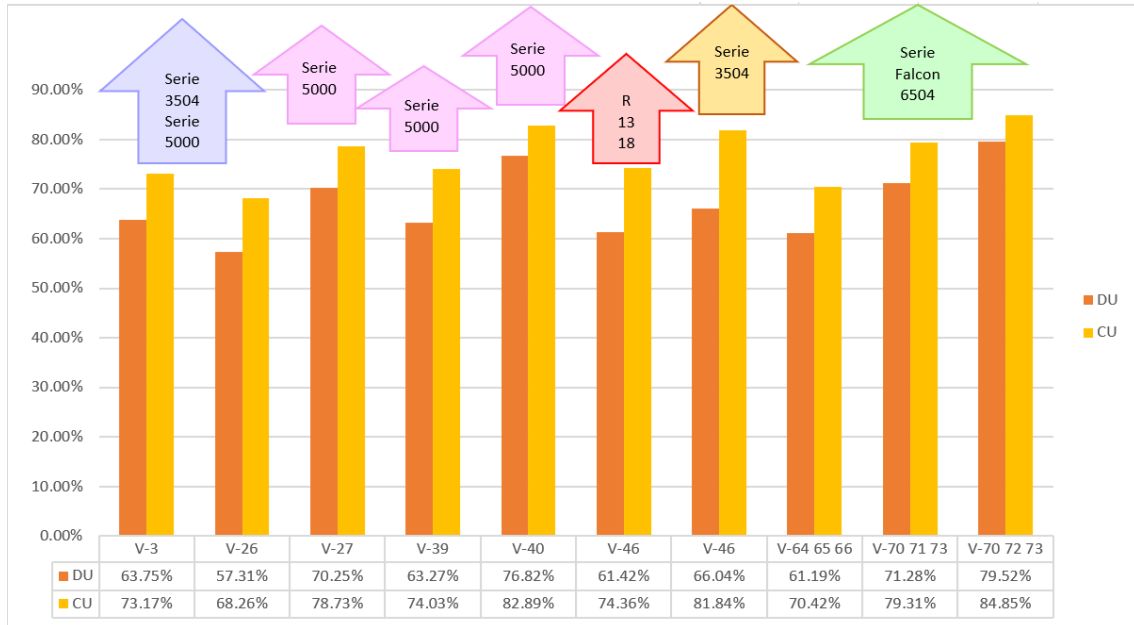


Figura 21: DU y CU para el primer horario de riego

FUENTE: Elaboración en Excel con datos de campo

En la Figura 22 se muestra el gráfico de barras para el segundo horario de riego (2:30-3:00 p.m.) de todas las válvulas evaluadas donde se puede apreciar que los valores de DU y CU caen por debajo del 65% y 75% respectivamente viéndose afectada la uniformidad esto debido a que la velocidad de viento promedio en este horario va de 2.6 a 5.70 m/s. Para Phocaides (2007) los valores de CU caen por debajo del 75% cuando la velocidad de viento es superior a 3.5 m/s, siendo esta la velocidad crítica que recomienda para la aplicación de riego por aspersión.

Kara (2008) en el artículo *Determinación del coeficiente de uniformidad y las características de distribución de agua de algunos rociadores*, sugieren que el riego se lleve a cabo cuando la velocidad del viento sea inferior a 2.5 m/s.

El mejor valor de coeficiente de uniformidad alcanzado en la investigación *Determinación de los parámetros técnicos hidráulicos del emisor Sprayhead d3000 en diferentes condiciones experimentales* fue en la tercera evaluación con 89.4% y una velocidad del viento 2,10 m/s.

Cuadro 6: Resultados de velocidad de viento, DU y CU para rotores

Válvula	Tipo de aspersor	Horario de riego	Velocidad de viento promedio m/s	DU %	Rango % Asociación de riego (2013)		Clasificación (%) Sheffield (2016)		CU %	Clasificación (%) Sheffield (2016)	
V-3	Serie 5000 de ¾" C/BOQ 2.5 y 1.5 Serie 3504 de ½" C/BOQ 2	6:30-7:00 a.m	0	63.75	55-65	Histórico	50-65	Bueno	73.17	55-75	Bueno
		3:00-3:30 p.m.	5.7	54.43	55-65	Histórico	50-65	Bueno	68.23	55-75	Bueno
		6:00-6:30 p.m.	0.56	64.03	55-65	Histórico	50-65	Bueno	77.35	>75	Excelente
V-26	Serie 5000 de ¾" C/BOQ 2.5 y 1.5 Serie 3504 de ½" C/BOQ 2	6:30-7:00 a.m	0.34	57.31	55-65	Histórico	50-65	Bueno	68.26	55-75	Bueno
		2:30-3:00 p.m.	3.61	51.31	55-65	Histórico	50-65	Bueno	64.18	55-75	Bueno
		6:00-6:30 p.m.	1.43	59.11	55-65	Histórico	50-65	Bueno	72.10	55-75	Bueno
V-27	Serie 5000 de ¾" C/BOQ 2.5 y 1.5	6:30-7:00 a.m	0	70.25	65-75	Objetivo	>65	Excelente	78.73	>75	Excelente
		2:30-3:00 p.m.	2.55	64.40	65-75	Objetivo	50-65	Bueno	73.73	55-75	Bueno
		6:00-6:30 p.m.	0.48	70.24	65-75	Objetivo	>65	Excelente	74.03	55-75	Bueno
V-39	Serie 5000 de ¾" C/BOQ 2.5 y 1.5	6:30-7:00 a.m	0	63.27	55-65	Histórico	50-65	Bueno	74.03	55-75	Bueno
		2:30-3:00 p.m.	2.78	54.36	55-65	Histórico	50-65	Bueno	71.49	55-75	Bueno
		6:00-6:30 p.m.	0.72	65.86	55-65	Histórico	>65	Excelente	73.57	55-75	Bueno
V-40	Serie 5000 de ¾" C/BOQ 2.5 y 1.5	6:30-7:00 a.m	0	76.82	75-85	Posible	>65	Excelente	82.89	>75	Excelente
		2:30-3:00 p.m.	2.76	65.52	65-75	Histórico	>65	Excelente	72.45	55-75	Bueno
		6:00-6:30 p.m.	0.75	76.89	75-85	Posible	>65	Excelente	83.03	>75	Excelente

Los rangos son establecidos por la Asociación de riego (2013) y por Sheffield (2016)

Cuadro 7: Resultados de velocidad de viento, DU y CU para rotores

Válvula	Tipo de aspersor	Horario de riego	Velocidad de viento promedio m/s	DU %	Rango % Asociación de riego (2013)		Clasificación (%) Sheffield (2016)		CU %	Clasificación (%) Sheffield (2016)	
V-46	Serie R13-18 90 y 180	6:30-7:00 a.m.	0	61.42	55-65	Histórico	50-65	Bueno	74.36	55-75	Bueno
		2:30-3:00 p.m.	2.6	48.03	55-65	Histórico	<50	Malo	62.39	55-75	Bueno
		6:00-6:30 p.m.	0.38	63.75	55-65	Histórico	50-65	Bueno	76.25	>75	Excelente
	Serie 3504 de ½" C/BOQ 2	6:30-7:00 a.m.	0	66.04	65-75	Objetivo	>65	Excelente	81.84	>75	Excelente
		2:30-3:00 p.m.	2.6	53.02	55-65	Histórico	50-65	Bueno	71.71	55-75	Bueno
		6:00-6:30 p.m.	0.38	66.95	65-75	Objetivo	>65	Excelente	81.99	>75	Excelente
V-64 65 66	Serie Falcon 6504 de 1" C/BOQ 14	7:00-7:30 a.m.	0.8	61.19%	55-65	Histórico	50-65	Bueno	70.42%	55-75	Bueno
		2:30-3:00 p.m.	4.7	54.07%	55-65	Histórico	50-65	Bueno	64.26%	55-75	Bueno
		6:00-6:30 p.m.	1.85	60.05%	55-65	Histórico	50-65	Bueno	69.10%	55-75	Bueno
V-70 71 73	Serie Falcon 6504 de 1" C/BOQ 12	6:30-7:00 a.m.	0	71.28%	65-75	Objetivo	>65	Excelente	79.31%	>75	Excelente
		2:30-3:00 p.m.	3	61.19%	65-75	Objetivo	50-65	Bueno	76.51%	>75	Excelente
		6:00-6:30 p.m.	0.52	69.01%	65-75	Objetivo	>65	Excelente	78.29%	>75	Excelente
V-70 72 73	Serie Falcon 6504 de 1" C/BOQ 12	6:30-7:00 a.m.	0	79.52%	75-85	Posible	>65	Excelente	84.85%	>75	Excelente
		2:30-3:00 p.m.	3.17	63.40%	55-65	Histórico	50-65	Bueno	77.21%	>75	Excelente
		6:00-6:30 p.m.	0.29	69.53%	65-75	Objetivo	>65	Excelente	82.86%	>75	Excelente

Los rangos son establecidos por la Asociación de riego (2013) y por Sheffield (2016)



Figura 22: DU y CU para el segundo horario de riego

FUENTE: Elaboración propia

Coincidiendo con varios autores, que el coeficiente de uniformidad aumenta con las disminuciones de la velocidad del viento (Lopez et al. 2010)

En la Figura 23 se muestra el gráfico de barras para todas las válvulas evaluadas en el tercer horario de riego (6:00-6:30 p.m.) donde se puede apreciar los valores de DU y CU si alcanzan los rangos históricos (55%-65%) y objetivos (65%-75%) propuestos por la

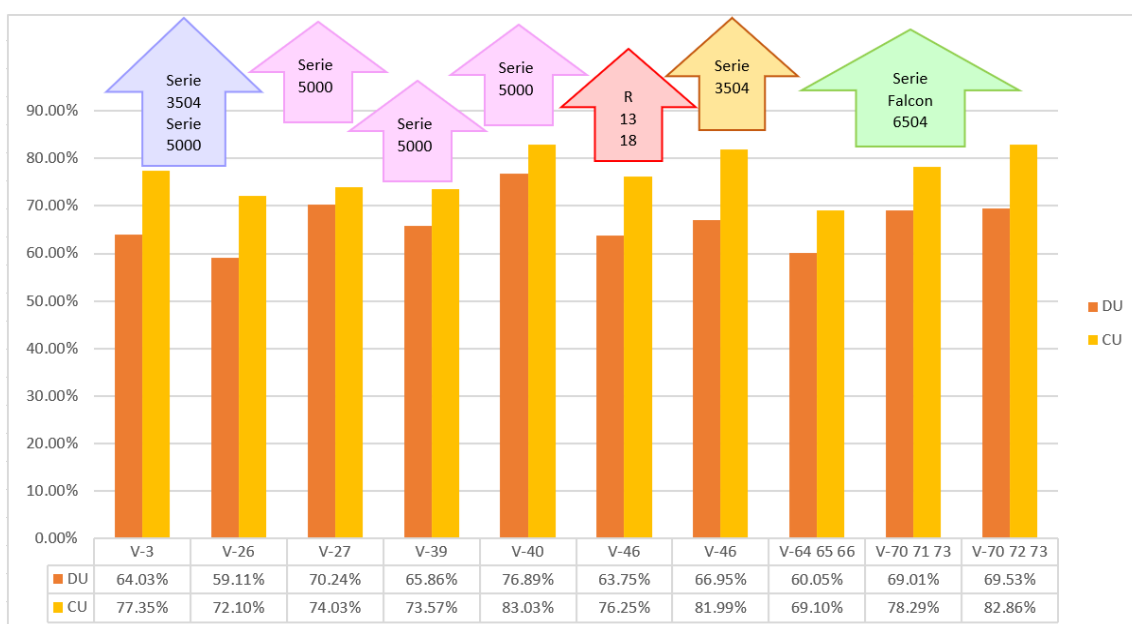


Figura 23: DU y CU para el tercer horario de riego

FUENTE: Elaboración propia

Asociación de riego (2013). En este horario de riego la velocidad de viento promedio fue baja de 0 a 1.85 m/s.

4.4. DISTRIBUCIÓN DE UNIFORMIDAD Y COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD EN DIFUSORES.

En el Cuadro 8 tenemos los valores de DU y CU para difusores obtenidos en los tres horarios de riego con distintas velocidades de viento. Para la válvula 76 de difusores 1800 de serie 10VAN se puede apreciar que en el primer y tercer horario de riego los valores de DU son superiores que, en el segundo horario, debido a que en este último horario fueron registrados los mayores valores de velocidad de viento que oscilan de 2 a 5 m/s.

Cuadro 8: Resultados de velocidad de viento, DU y CU para difusores

Válvula	Tipo de aspersor	Horario de riego	Velocidad de viento m/s	DU %	Rango % Asociación de riego (2013)		Clasificación (%) Sheffield (2016)		CU %	Clasificación (%) Sheffield (2016)	
V-76	Difusor 10-VAN	6:30-7:00 a.m.	0	48.86	45-55	Histórico	<50	Malo	68.51	55-75	Bueno
		2:30-3:00 a.m.	2.87	47.31	45-55	Histórico	<50	Malo	69.44	55-75	Bueno
		6:00-6:30 p.m.	1.61	50.00	45-55	Histórico	<50	Malo	69.85	55-75	Bueno
V-78	Difusor 10-12 VAN	6:30-7:00 a.m.	0.8	35.38	-	-	<50	Malo	49.71	<55	Malo
		2:30-3:00 a.m.	2.87	36.95	-	-	<50	Malo	50.71	<55	Malo
		6:00-6:30 p.m.	1.61	35.58	-	-	<50	Malo	51.96	<55	Malo

Los rangos son establecidos por la Asociación de riego (2013) y por Sheffield (2016)

4.5. GRÁFICAS PLUVIOMETRICAS

Con la finalidad de ver la distribución del agua, se han obtenido para cada jardín, mapas de pluviometría por interpolación en el software ArcGIS 10.5 de los datos tomados en campo, de esta manera se determinó de forma visual los puntos con excesivamente, alta o insuficiente pluviometría.

4.5.1. Análisis de válvula 3

La válvula 3 que se ubica por la entrada principal de la UNALM, es un área irregular con presencia de árboles de pino, la disposición de los recipientes se realizó siguiendo los criterios descritos en la metodología aprobados por la Asociación de Riego (2013).

En la siguiente figura tenemos la disposición de los aspersores en la válvula 3 donde podemos ver el ángulo y radio de cobertura de cada rotor, que es propuesto por el catálogo RainBird para cada tipo de boquilla y a una presión establecida. Tenemos el rotor de serie 5000 $\frac{3}{4}$ " con boquilla 1.5 que brinda una pluviometría de 7 mm/h a una presión de 3.5 bar, así mismo tenemos rotor de serie 3504 de $\frac{1}{2}$ " con boquilla 2 y $\frac{3}{4}$ " con boquilla 2.5 quienes presentan una pluviometría de 13 mm/h y 9 mm/h respectivamente en ángulo de 180, es así que la boquilla señalada con un ángulo de 90° produce una velocidad de aplicación de 26 mm/hr perjudicando mantener una pluviometría uniforme, por ello se puede cambiar de boquilla por una rotativa o por ser un área irregular se recomienda un riego complementario con manguera.

En la Figura 25 para los tres horarios de riego la pluviometría predomina con un valor de 12 mm/hr, la ligera acumulación de agua se genera en la parte central, y se visualiza que para la parte inferior de la gráfica recibe menos agua, esto ocurrió por la presencia de árboles que interfieren en el chorro de agua provocando que los recipientes colocados no reciban la cantidad de agua adecuada.



Figura 24: Ubicación de la válvula 3 – UNALM

FUENTE: Google Earth

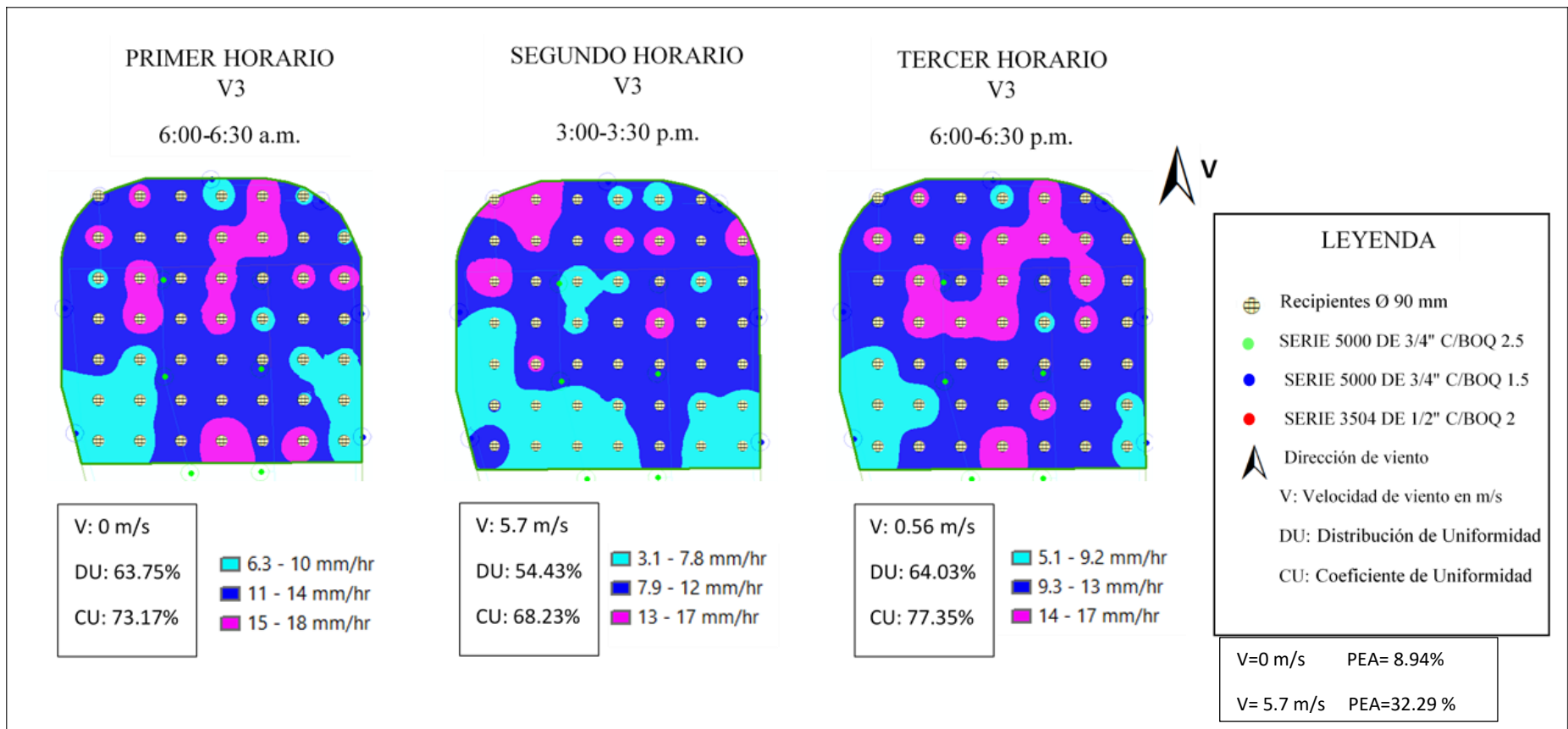


Figura 25: Interpolación de la pluviometría (mm/hr) válvula 3

FUENTE: Elaboración en software ArcGIS 10.5

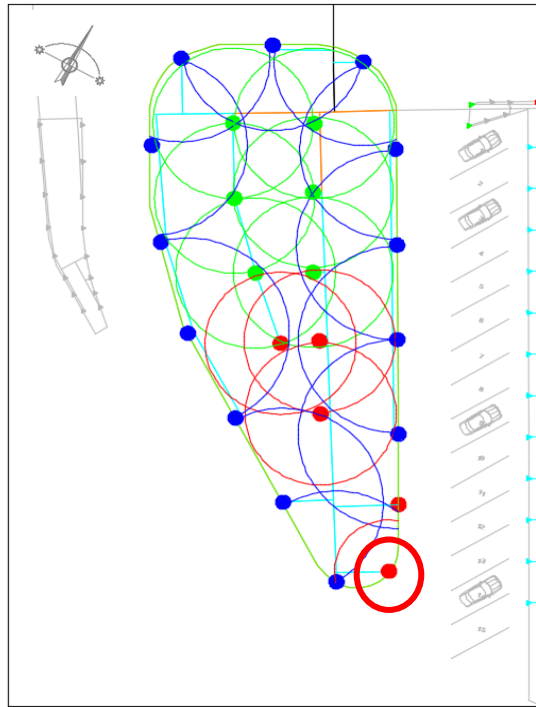


Figura 26: Plano de cobertura del área evaluada V-3

FUENTE: Elaborado en AutoCAD con el plano se jardines -UNALM

4.5.2. Análisis de válvula 64,65 y 66

Para la válvula 64,65 y 66 tenemos el rotor de serie 6504 de 1'' con boquilla 14 que brinda una pluviometría de 19 mm/h en 180° a una presión de 4.5 bar con un radio de cobertura hasta 18 m.

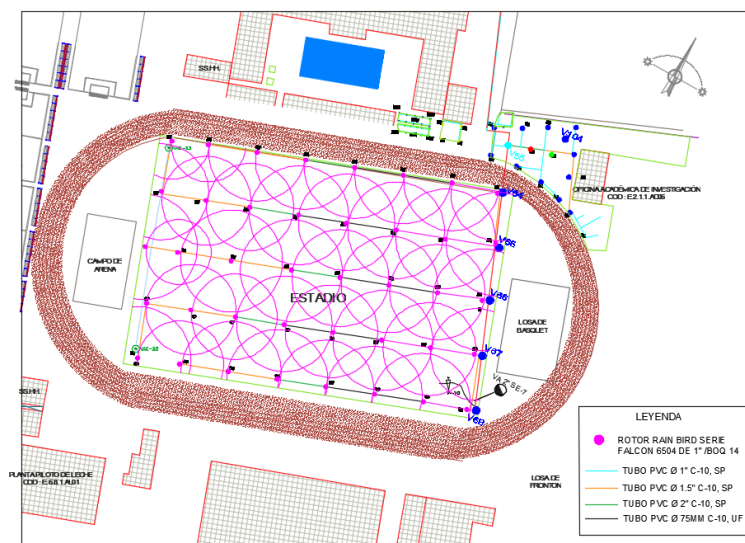


Figura 27: Plano de cobertura del área evaluada estadio - UNALM V64-65-66

FUENTE: Elaborado en AutoCAD con el plano se jardines -UNALM



Figura 28: Prueba de uniformidad V 64-65-66

FUENTE: Elaboración propia

En la Figura 25 se muestran las gráficas de interpolación para los tres horarios de riego en el estadio de la UNALM (Válvula 64-65-66) en donde es claro apreciar que en el segundo horario la acumulación de agua se da en la dirección del viento con una velocidad promedio de 4.7 m/s. una velocidad considerable para distorsionar el riego, afecta arrastrando las gotas de agua hacia la zona externa del estadio.

En la Figura 28 se encontraron alrededor de 9 a 12 recipientes que no lograron recolectar el correcto volumen de agua debido a que el jardín presentó fluctuaciones en las cotas, siendo la posición del recipiente un factor que determina la correcta prueba de uniformidad esto se ve reflejado con la presencia de áreas poco secas en donde si existe pendiente.

4.5.3. Análisis de válvula 26

En la válvula 26 en un horario donde la velocidad de viento promedio fue 1.43 m/s. el DU es de 59.11 % alcanzando el rango histórico propuesto por la Asociación de riego (2013) y con un CU de 72.10% clasificando como un buen riego según Sheffield (2016). El jardín dispone de rotor serie 5000 con boquilla 1.5 y 2, esta combinación nos brinda una pluviometría de 6 a 8 mm/hr según catálogo, estos valores también fueron alcanzados en las pruebas de campo como se puede apreciar en la Figura 29 de interpolación.

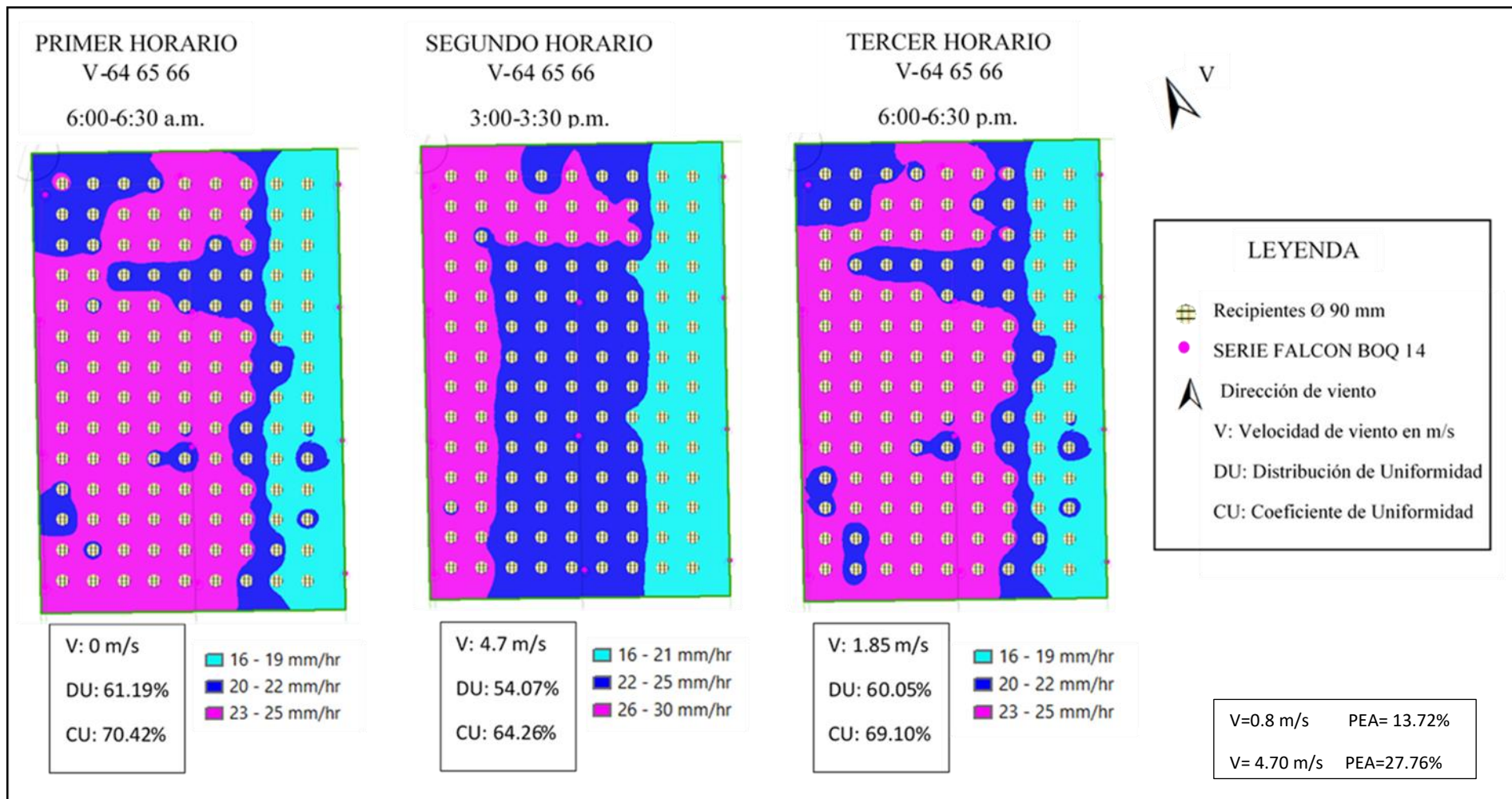


Figura 29: Interpolación de la pluviometría (mm/hr) en el estadio V64-65-66

FUENTE: Elaboración en software ArcGIS 10.5

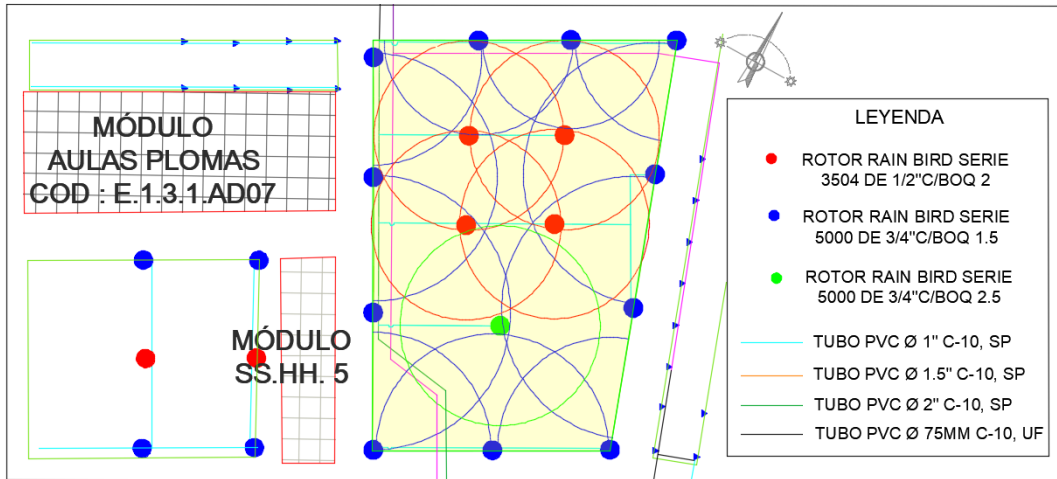


Figura 30: Mapa de cobertura válvula 26

FUENTE: Elaborado en AutoCAD con el plano se jardines -UNALM



Figura 31: Prueba de uniformidad válvula 26

FUENTE: Fotografía en campo con riego encendido.

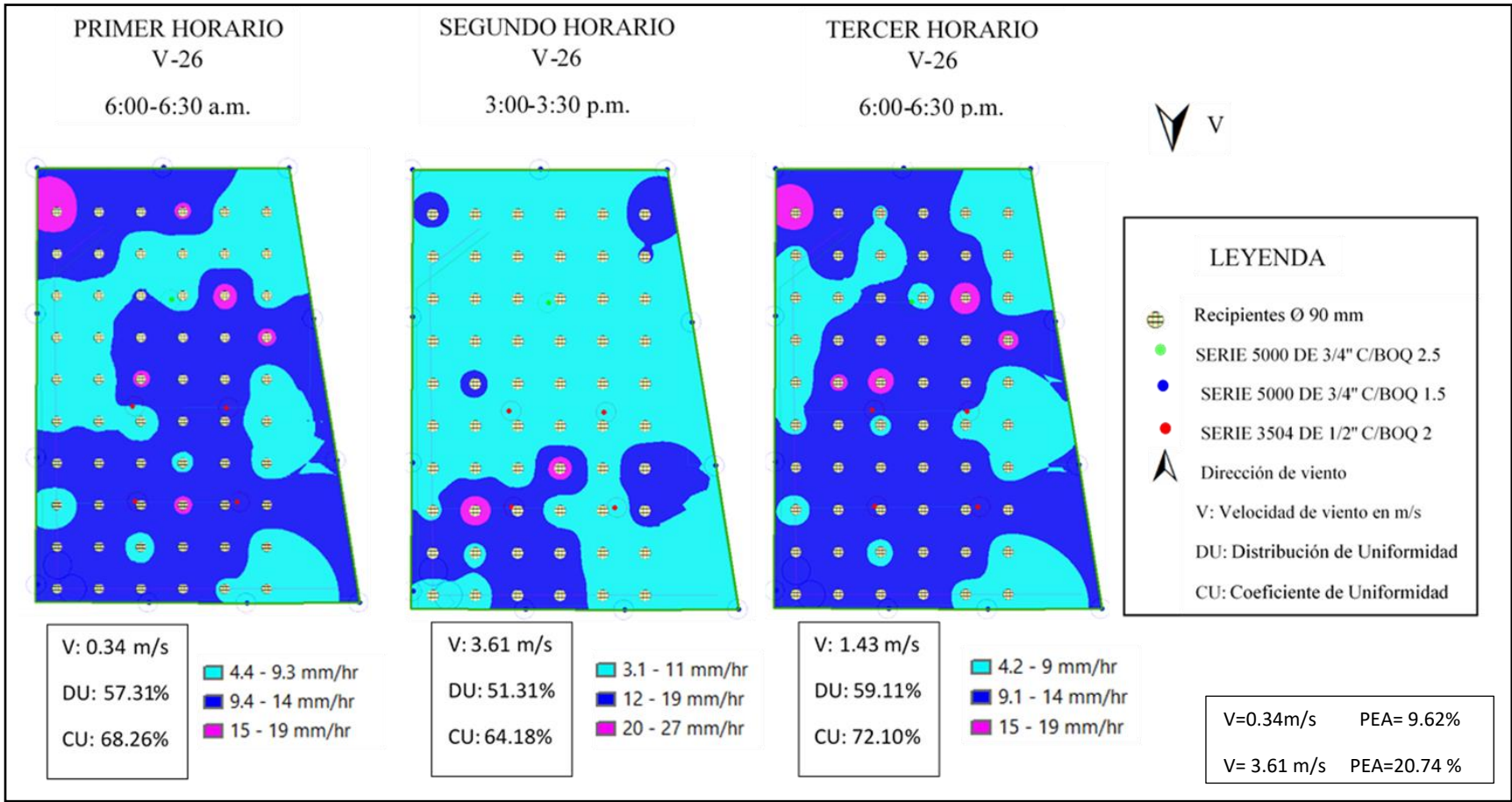


Figura 32: Interpolación de la pluviometría en mm/hr V-26

FUENTE: Elaboración en software ArcGIS 10.5

4.5.4. Análisis de válvula 27

La válvula 27 presenta una correcta uniformidad en ausencia de viento, puesto que los valores de DU y CU son superiores al 70 y 75 % respectivamente. Se puede visualizar en la Figura 35 que para los horarios con mínimos vientos la acumulación de agua se da en la parte central del jardín, pero esto ya no ocurre en presencia de viento y con un valor de 2.55 m/s. el agua tiende a ir en dirección del viento bajando la uniformidad en un 5.6%. Adicionalmente, al margen de que el riego si es uniforme en horarios con viento promedios de 0 m/s. la disposición de los rotores y el ángulo de giro que tienen asignado provoca que el agua sobrepase los límites del jardín regando así zonas peatonales como se ve en la siguiente figura.

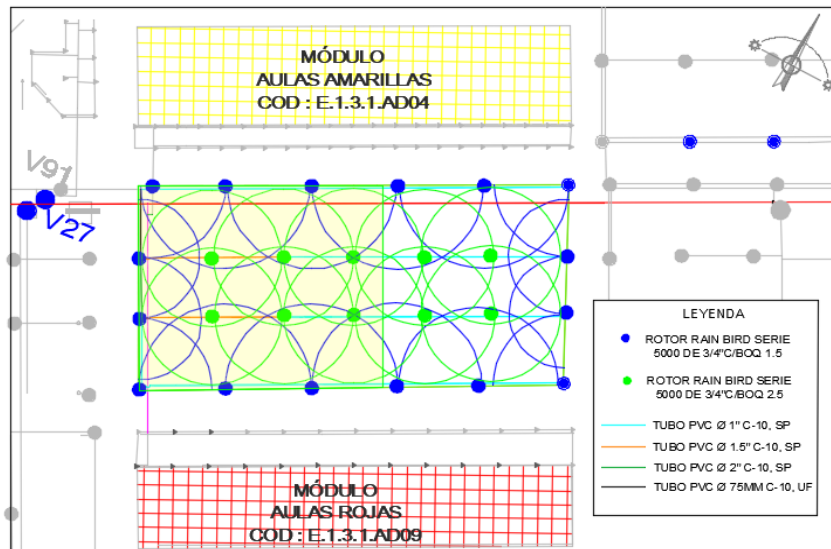


Figura 33: Mapa de cobertura válvula 27

FUENTE: Elaborado en AutoCAD con el plano se jardines -UNALM



Figura 34: Zonas afectadas adyacentes al jardín V-27

FUENTE: Elaboración propia

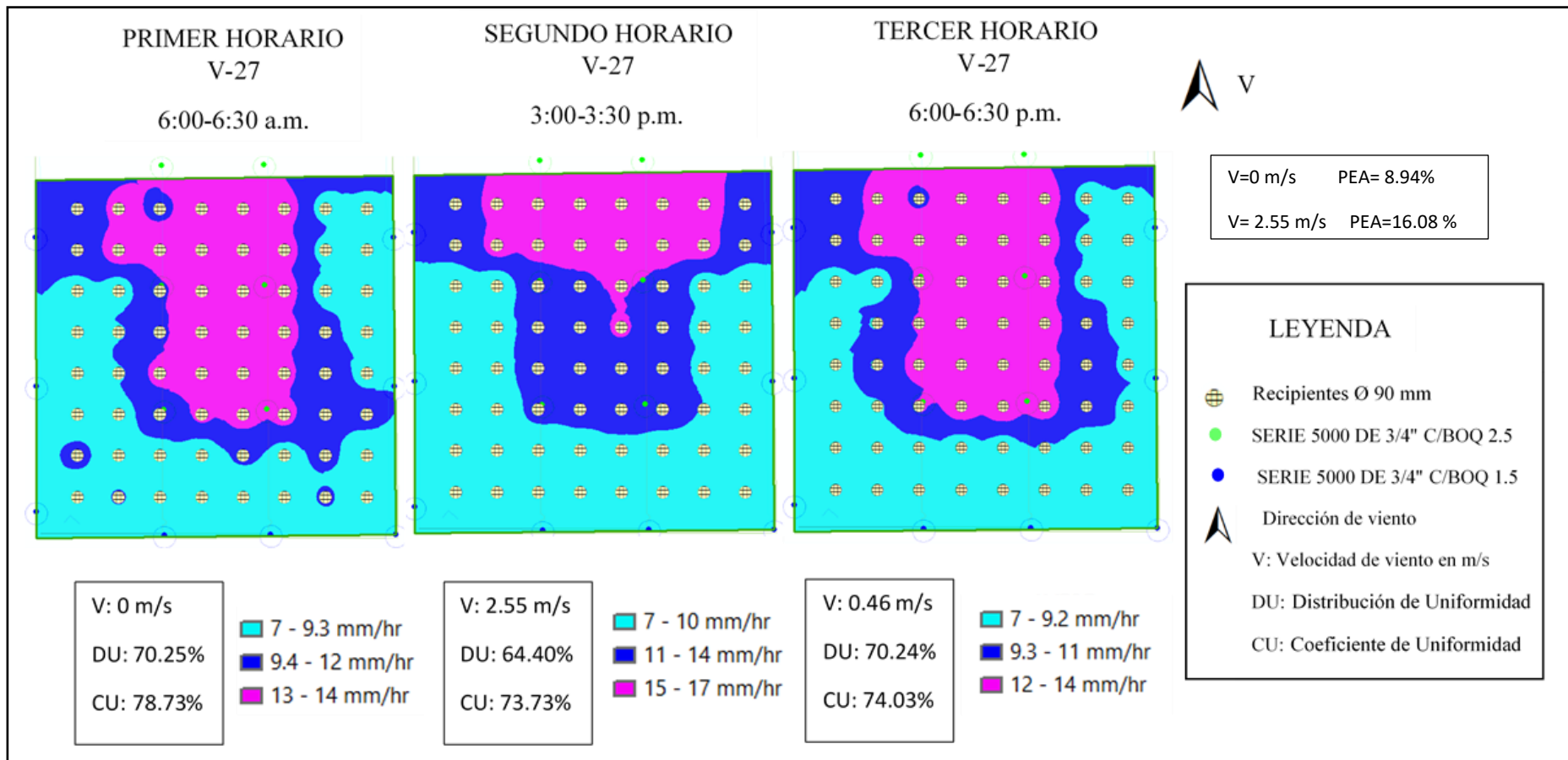


Figura 35: Interpolación de la pluviometría en mm/hr válvula 27

FUENTE: Elaboración en software ArcGIS 10.5

4.5.5. Análisis de válvula 39 y 40.

La válvula 39 cuando el viento promedio tiende a 0 m/s presenta una uniformidad aceptable en el rango histórico propuestos por Asociación de riego (2013). Cuando el viento promedio sube a 2.78 m/s. las uniformidades bajan un 10% aproximadamente aun así clasifica como un riego con buena uniformidad con valores de DU 54.36% y CU 71.49% Sheffield (2016). También se puede visualizar en la Figura 38 que para los horarios con mínimos vientos la acumulación de agua se da en la parte central del jardín, pero en presencia de viento para el segundo horario el agua tiende a ir en dirección del viento. Por otra parte, en este jardín nos encontramos con presencia de árboles los cuales interfieren en la correcta distribución de agua, reflejándose con ligeras áreas secas como se puede ver en la Figura 39.



Figura 36: Ubicación válvula 39 y 40-UNALM

FUENTE: Google earth

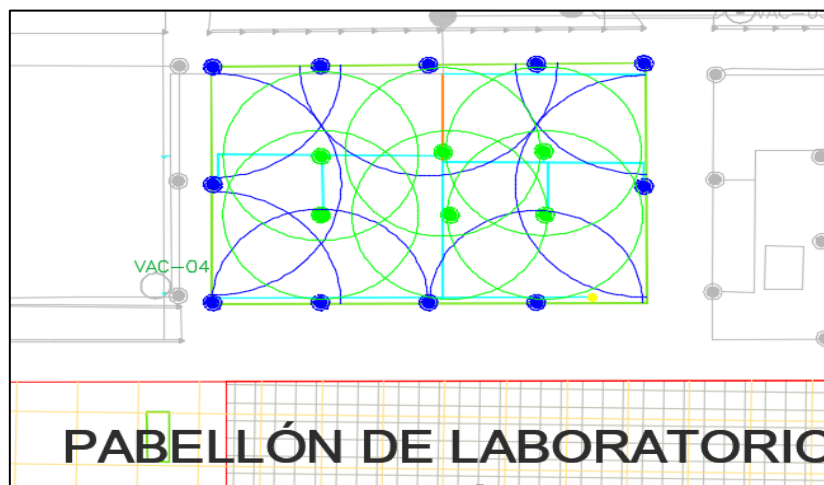


Figura 37: Mapa de cobertura válvula 39

FUENTE: Elaborado en AutoCAD con el plano se jardines -UNALM

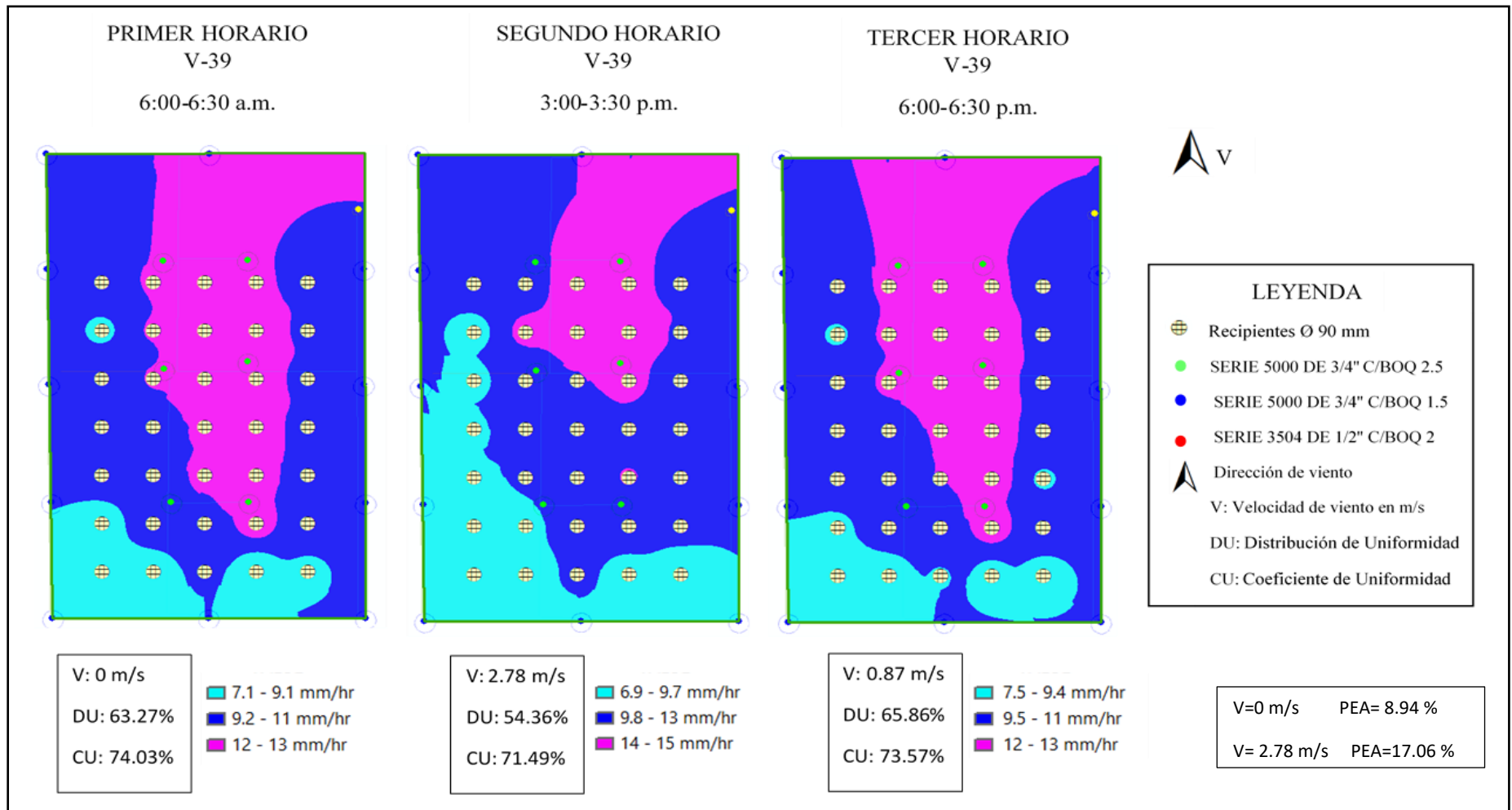


Figura 38: Interpolación de la pluviometría válvula 39

FUENTE: Elaboración en software ArcGIS 10.5



Figura 39: Presencia de árbol en la válvula 39

FUENTE: Elaboración propia

Para el segundo horario cuando la velocidad de viento es de 2.76 m/s. el valor de DU es 65.52% y CU es 72.45 % los cuales son ligeramente menores a los valores de uniformidad cuando el viento promedio tiende a ser 0m/s. Así mismo en la válvula 40 para los tres horarios de prueba presenta una excelente uniformidad Sheffield (2016). En la Figura 41 se puede observar que la mayor acumulación del agua de riego se da en las partes centrales del jardín y en el segundo horario de prueba con una velocidad promedio de viento de 2.76 m/s. se genera un ligero desplazamiento en dirección del viento registrado.

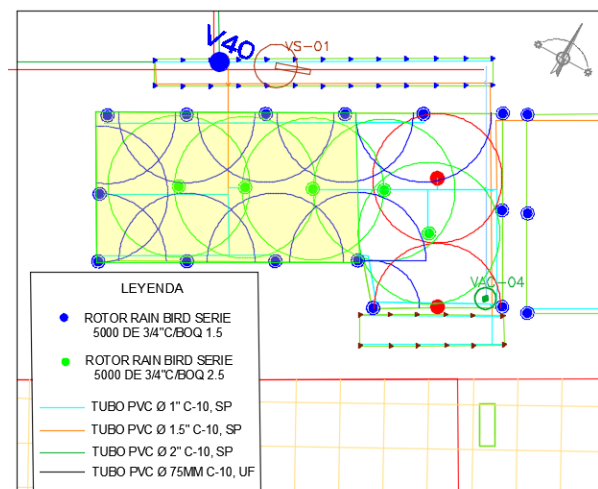


Figura 40: Mapa de cobertura válvula 40

FUENTE: Elaborado en AutoCAD con el plano se jardines -UNALM

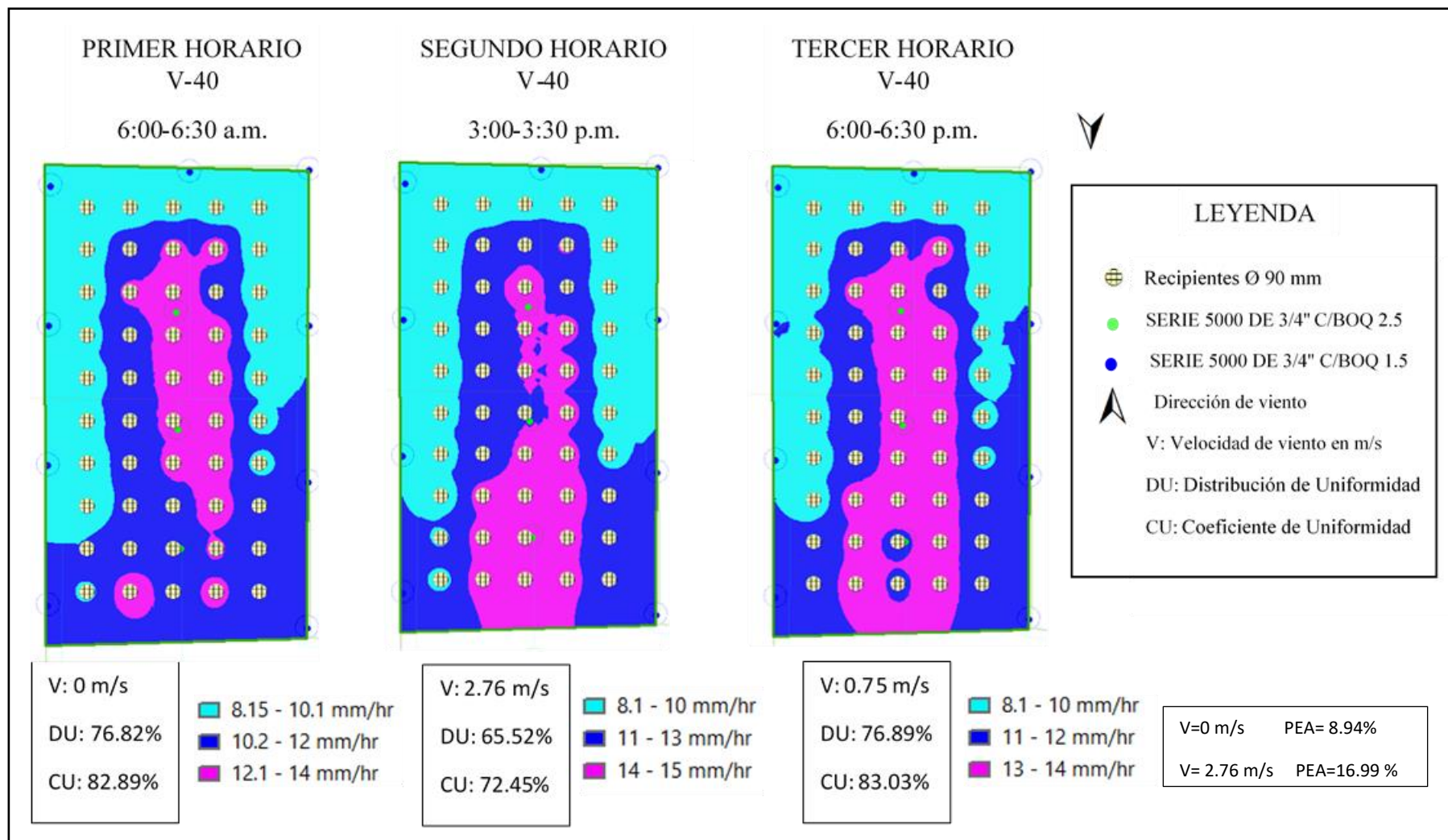


Figura 41: Interpolación de la pluviometría válvula 40

FUENTE: Elaboración en software ArcGIS 10.5

4.5.6. Análisis de válvula 46

En la válvula 46 encontramos rotor de serie 3504 de ½" y rotativa serie 1800 de ½" para la primera distribución de rotores en el segundo horario en presencia de viento promedio de 2.6m/s el DU desciende en un 13 % en comparación con los horarios donde la velocidad de viento promedio tiende a 0 m/s. Así mismo, la pluviometría de la Figura 44 nos muestra que la acumulación de agua fue uniforme en casi toda el área con valores de 13 mm/hr en promedio, valor que también se encuentra descrito en los catálogos del rotor. También se genera una ligera acumulación de agua en dirección del viento para el segundo horario.



Figura 42: Ubicación válvula 46

FUENTE: Google earth

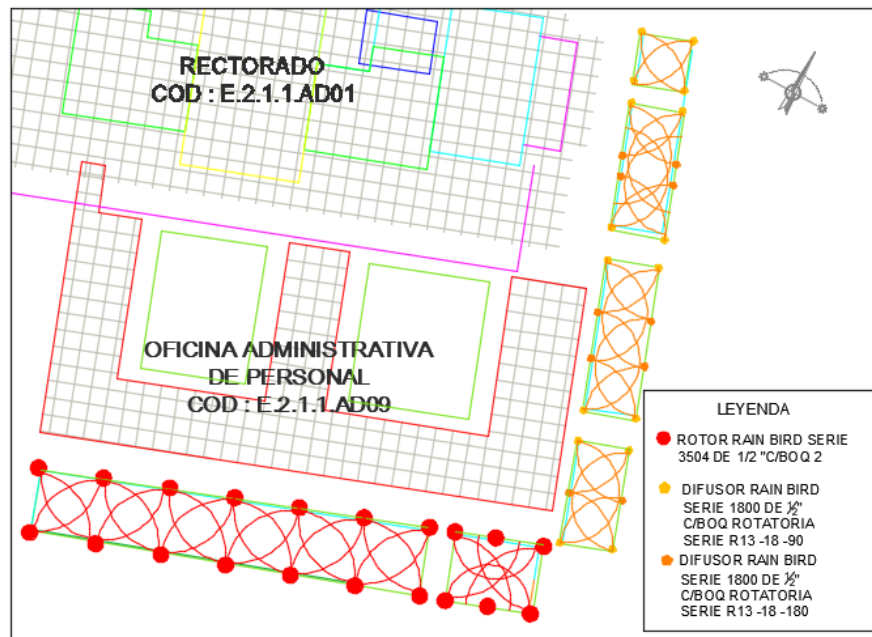


Figura 43: Mapa de cobertura válvula 46

FUENTE: Elaborado en AutoCAD con el plano se jardines -UNALM

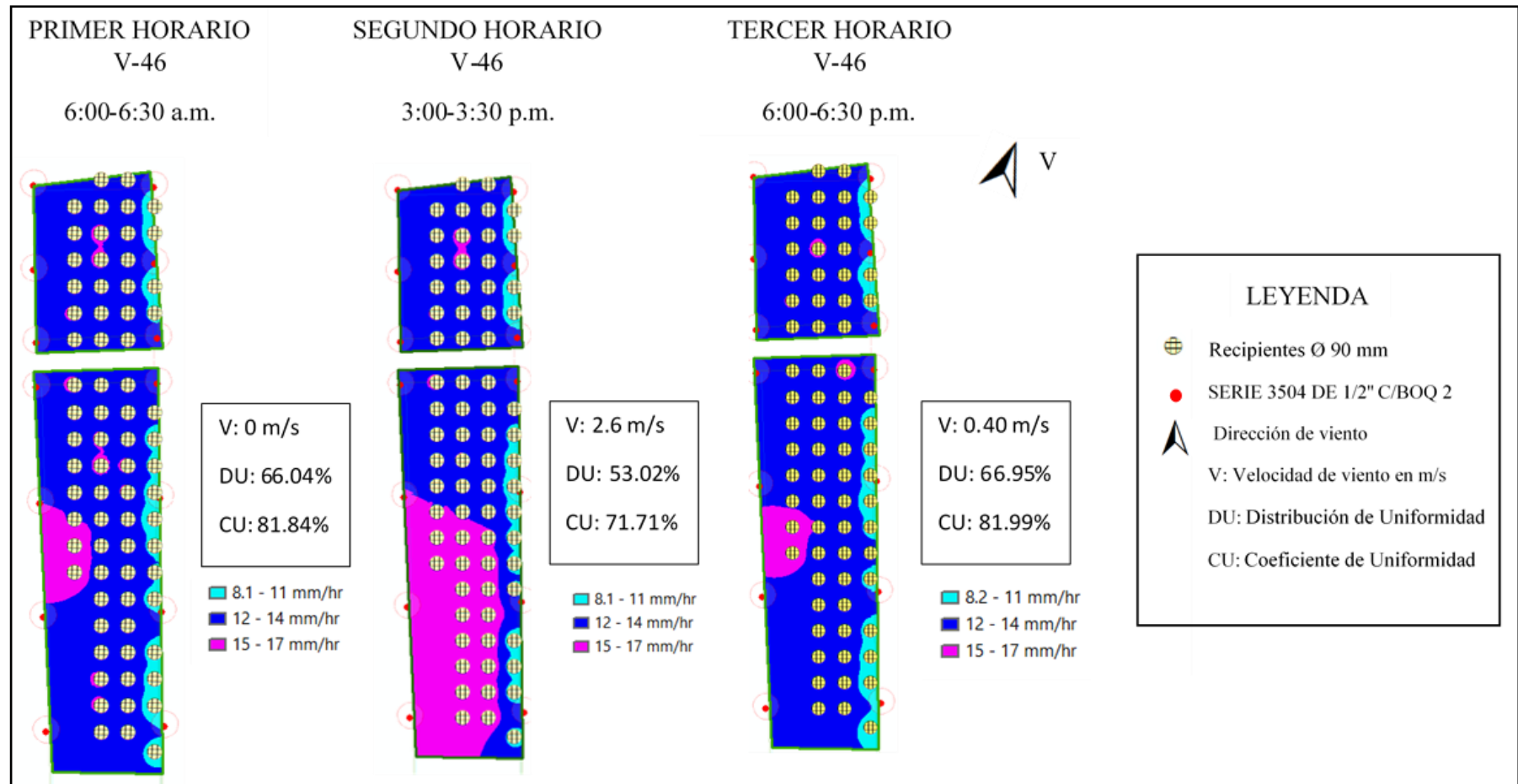


Figura 44: Interpolación de la pluviometría válvula 46

FUENTE: Elaboración en software ArcGIS 10.5

Para el área dispuesta de rotativas la uniformidad de distribución tiene valores aceptables en el rango histórico propuesto por Asociación de riego (2013), excepto en el segundo horario donde el DU es 48.03% y CU es 62.39% resultan clasificar como un riego malo Sheffield (2016). A pesar de ello se puede visualizar en la pluviometría de la Figura 48 es prácticamente uniforme y sólo presenta una ligera acumulación en la parte central del jardín con una velocidad de aplicación de 19 mm/hr. Así mismo el catálogo rainbird nos muestra que las rotativas con ángulo de 90° a una presión de 3 bares trabajan a una pluviometría baja de 15 mm/hr.

4.5.7. Análisis de válvula 70, 71, 72 y 73.

El jardín que se ubica frente al rectorado, donde se realizan las graduaciones, comprende de cuatro válvulas sin embargo el sistema de riego se puede encender máximo tres válvulas por turno, es así como por ser un área extensa las evaluaciones se hicieron dividiendo el área en dos partes.

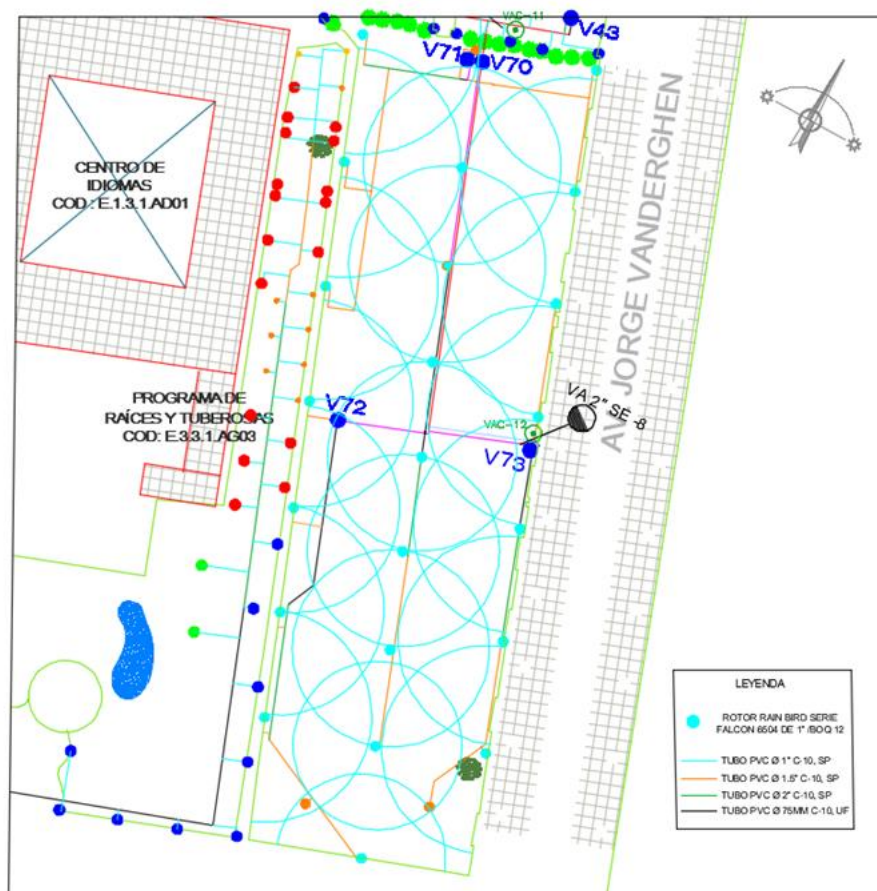


Figura 45: Mapa de cobertura válvula 70-71-72-73

FUENTE: Elaborado en AutoCAD con el plano se jardines -UNALM

La primera evaluación fue a las válvulas 70, 71 y 73 que dio como resultado un DU= 71.28% presentan así una excelente uniformidad Sheffield (2016) y clasificando en el rango objetivo propuesto por la Asociación de riego (2013), en ausencia de viento. Y para el segundo horario la prueba se realizó con una velocidad de viento promedio de 3 m/s. se puede verificar en la Figura 49 la acumulación de agua en dirección del viento, de esta manera el riego sale mojando veredas y bancas adyacentes al jardín.

También podemos visualizar que la pluviometría es en promedio 24 mm/hr, así mismo la menor pluviometría se registró en la parte superior de la gráfica, esto se generó por la presencia de árboles que distorsionan el chorro de agua que se manifestó al momento del llenado de los recipientes



Figura 46: Segundo horario de riego de 3:00 a 3:30 p.m. válvulas 70-71-73

En este jardín se realizaron pruebas a distintos espaciamientos entre recipientes dando como resultado que a menor espaciamiento mayor resultaba el CU como se puede apreciar en el Cuadro 9.

Para Flóres (2013), el coeficiente de uniformidad de distribución del agua en el perfil del suelo fue mayor que el obtenido para las láminas precipitadas en los colectores en los menores espaciamientos 6×6 m y 6×12 m, y fue menor en los demás espaciamientos (Flóres et al. 2013).

Cuadro 9: Resultados de velocidad de viento, DU y CU para rotores a diferente distancia de separación entre recipientes

VÁLVULA	SEPARACIÓN	HORARIO DE RIEGO	VELOCIDAD DE VIENTO PROMEDIO m/s	DU %	*RANGO PERMISIBLE %	CU %	*RANGO PERMISIBLE %
V-70 72 73	3 metros	6:00-6:30 p.m.	0.28	72.9	65-75	83.2	75-85
	4 metros	6:00-6:30 p.m.	0.29	69.5	65-75	82.8	75-85
	5 metros	6:00-6:30 p.m.	1.27	65.4	65-75	77.7	75-85

*Los rangos son establecidos por la Asociación de riego (2013)

FUENTE: Elaborado con datos de campo.

La segunda evaluación se realizó para las válvulas 70,72 y 73 donde el jardín presentó un porcentaje de uniformidad de distribución para el primer horario se encuentra en el rango posible con un valor de 79.52% Asociación de riego (2013) y clasifica como un riego excelente Sheffield (2016). Para el segundo horario de prueba la velocidad de viento fue 3.17 m/s. Se puede visualizar en la Figura 47 el arrastre de las gotas de agua en dirección del viento, afectando veredas y bancas cercanas al jardín.



Figura 47: Efecto del viento en el segundo horario de riego de 3:00 a 3:30 p.m. válvulas 70-72-73

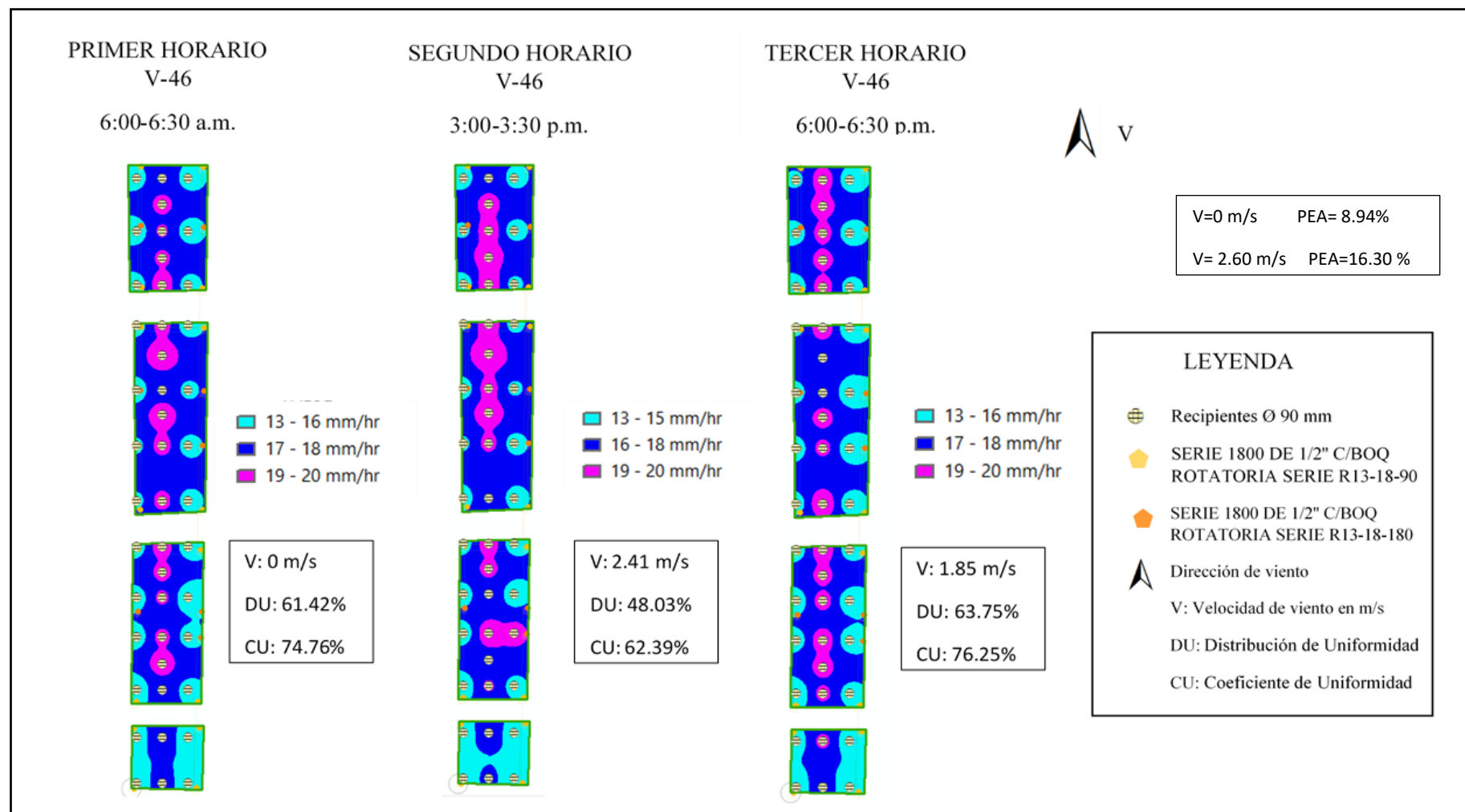


Figura 48: Interpolación de la pluviometría válvula 46

FUENTE: Elaboración en software ArcGIS 10.5

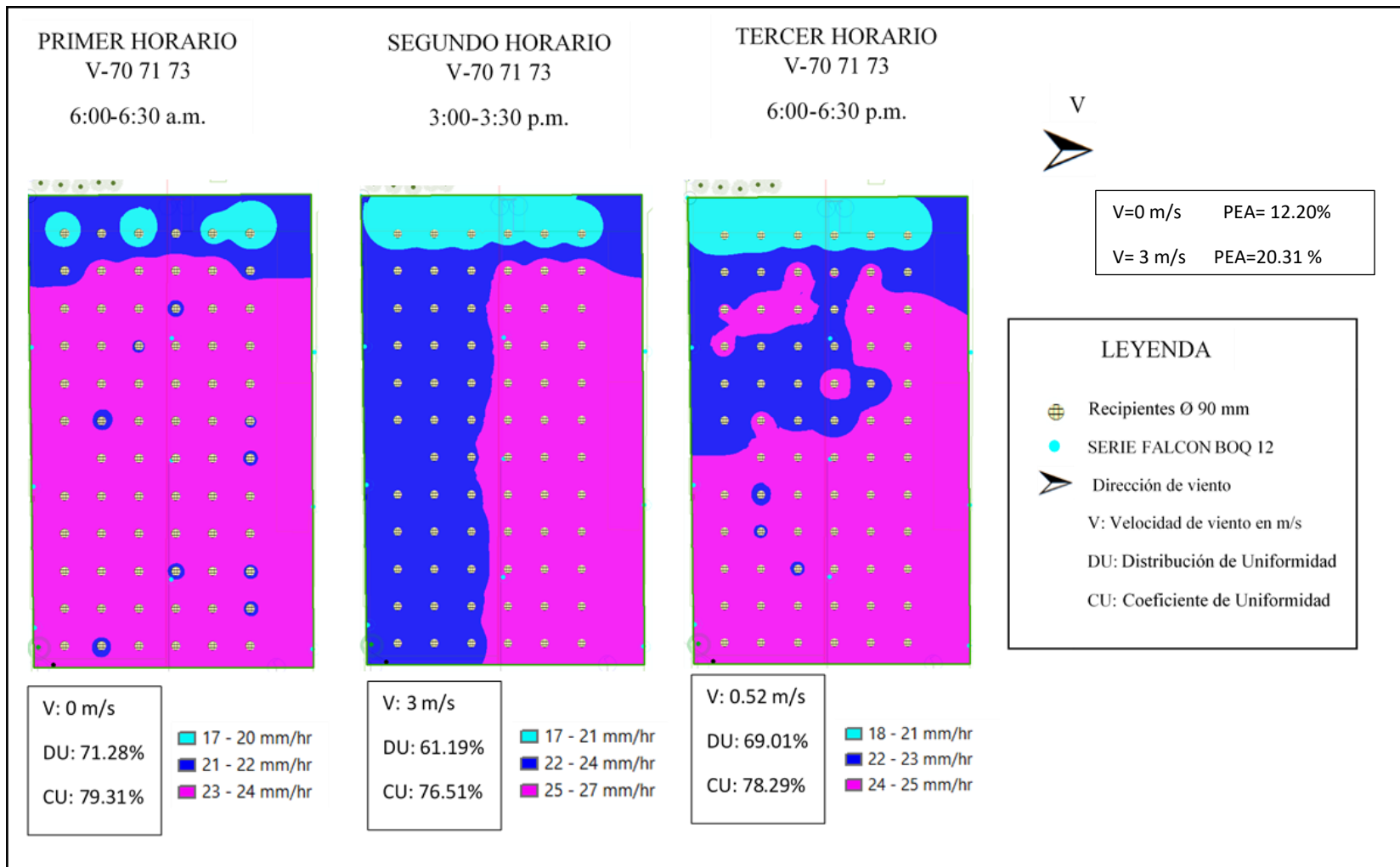


Figura 49: Interpolación de la pluviometría válvula 70-71-73

FUENTE: Elaboración en software ArcGIS 10.5

4.6. Análisis de máximas y mínimas velocidades de viento.

En la Figura 50 se puede apreciar que para los cuatro primeros meses del año el comportamiento del viento durante las 12:00 p.m. a 6:00 p.m. se registran los mayores valores de velocidad de viento. Para Laserna et al. (2016) los valores de CU aumentan ligeramente en condiciones de baja velocidad del viento ($W < 2$ m/s), el mayor efecto del W afecta al tener gotas más pequeñas, debido principalmente a una mayor fricción y menos velocidad de caída, estando más sometidas a la acción del viento.

Por otro lado, el CU cae por debajo del 75% cuando W es superior a 3,5 a 4 m/s, que según (Phocaidis 2007) es la velocidad crítica que recomienda para la aplicación del riego por aspersión. De acuerdo con (Yacoubi et al. 2012), se puede afirmar que la velocidad del viento superior a 4 m afecta significativamente al CU (%), independientemente de las separaciones entre los aspersores y la presión.

Con lo propuesto por los autores es primordial que el riego se realice en los horarios con las menores velocidades de viento como puede ser en el rango de 7:00 p.m a 6:00 a.m horario nocturno.

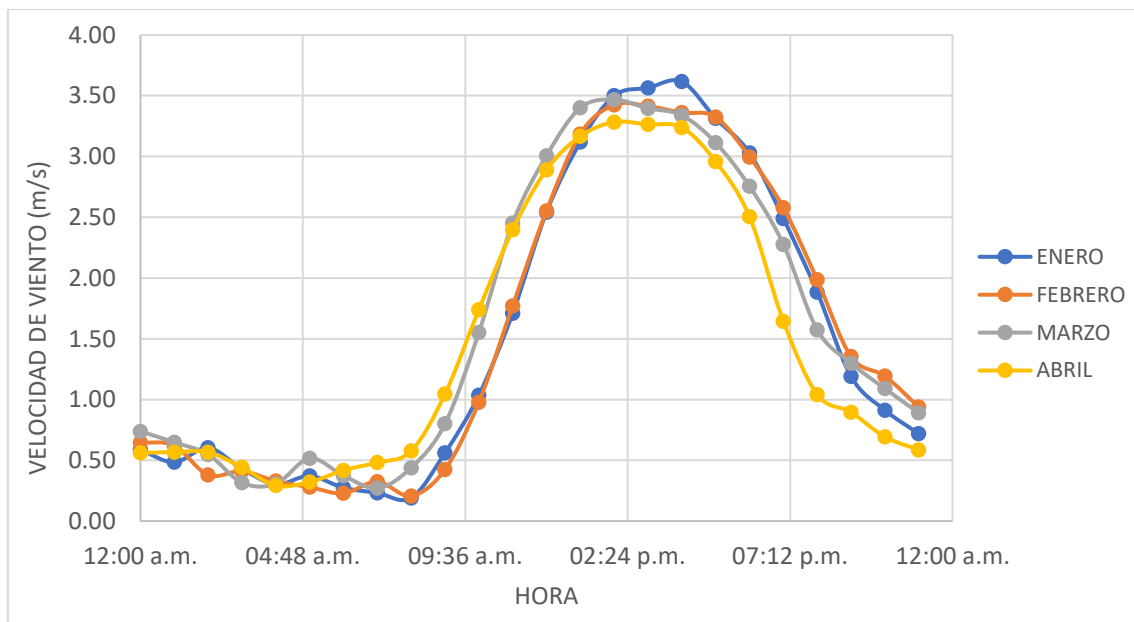


Figura 50: Análisis de velocidad viento versus horas para cuatro primeros meses del año.

FUENTE: Elaboración con información meteorología del 2017 a 2018

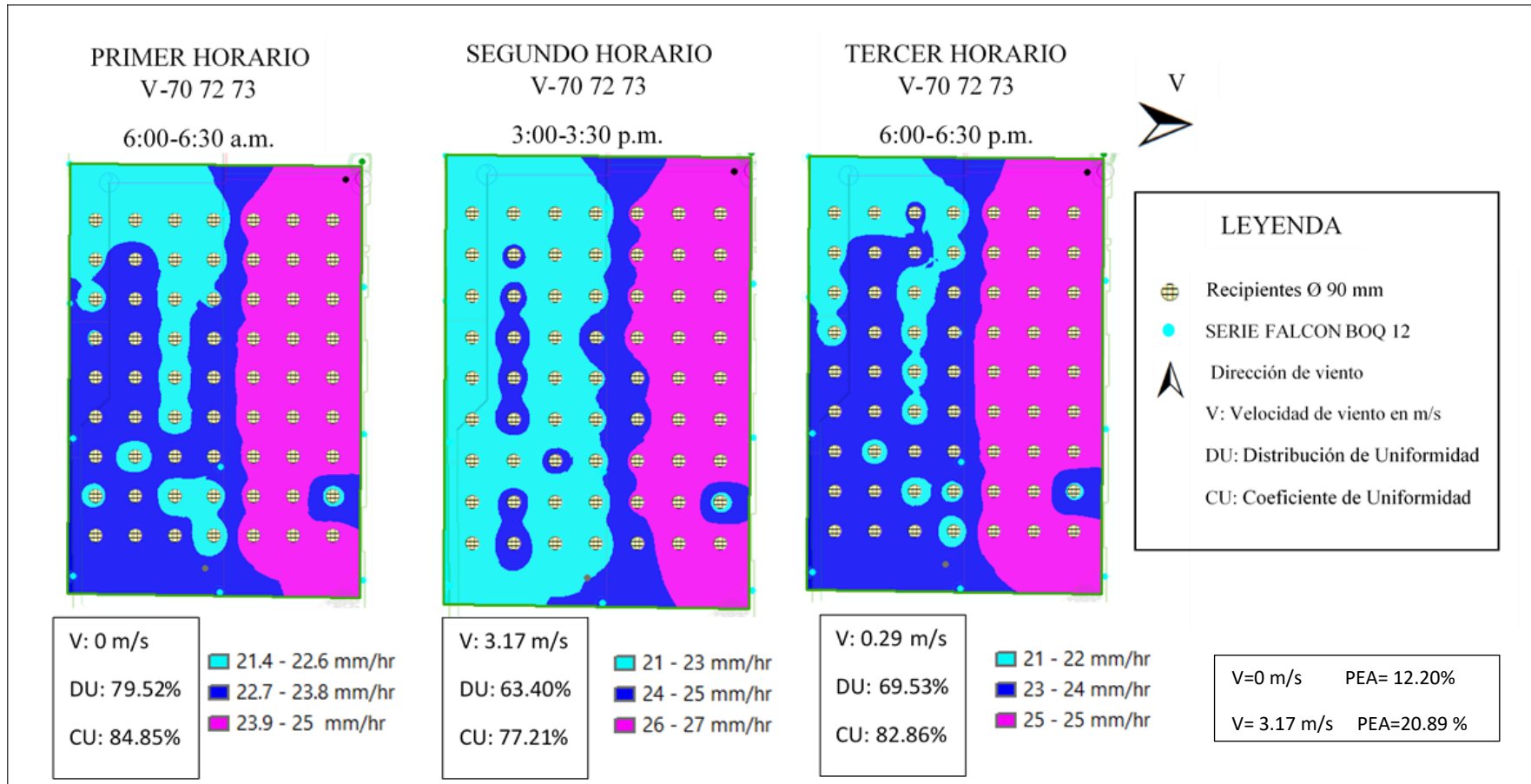


Figura 51: Interpolación de la pluviometría válvula 70-72-73

FUENTE: Elaborado en el software ArcGIS10.5

V. CONCLUSIONES

- En función a las dimensiones del jardín se identificaron las siguientes áreas: bermas instaladas con difusores de serie VAN, las áreas de dimensiones 30 x 40 metros aproximadamente con presencia de árboles con rotores de serie 5000 y 3504 y áreas libres como el estadio y frente al rectorado con rotor serie Falcon 6504, las horas de evaluación fueron en tres turnos: mañana (6:30 a.m), tarde (3:00 p.m.) y noche (6:30 p.m.).
- La Uniformidad de Distribución (DU) para los rotores de serie 3504 fue de 53% a 66.95% para velocidades de viento de 2.6 m/s a 0 m/s respectivamente, clasificando con una buena uniformidad en el rango histórico, para la serie 5000 de 54.36% a 76.89% para velocidades de viento de 2.78 m/s a 0.75 m/s clasificando como una buena uniformidad de riego, para Falcon 6504 fueron 54.07% a 79.52%, para velocidades de viento que oscilaron 4.7 m/s a 0 m/s respectivamente, logrando obtener una excelente uniformidad de riego y para difusores de la serie VAN fueron 35.38% a 50 % con velocidades de viento promedio de 0.8 m/s a 1.61 m/s respectivamente, clasificando como un riego con mala uniformidad.
- Debido a que la uniformidad del riego se ve afectada por el viento se recomienda regar en horarios de 7:00 p.m. a 6:30 a.m. donde la velocidad de viento promedio tiende a 0 m/s. Se sugiere reemplazar en los jardines instalados con difusores por un sistema de riego por goteo subterráneo debido a forma irregular o dimensiones pequeñas. En el estadio se debe replantear el diseño para incrementar el DU.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda continuar con esta investigación realizando el análisis de eficiencias de aplicación utilizando información de humedades obtenidas en el perfil del suelo.
- Para complementar el análisis de uniformidad se puede hacer uso de imágenes tomadas por drones donde nos facilite visualizar la calidad del césped.
- Se sugiere realizar un riego con manguera a las zonas donde no llega el agua de riego por ser un jardín con área irregular.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Allen, G; Pereira, L; Smith, M. 2006. Estudio FAO Riego y drenaje 56. Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma, Italia, Serie Cuadernos Técnicos. p. 298.

Allen, R; Howell, TA; Marlow, R; McCabe, J; Spofford, TL. 2010. Turf and Landscape Irrigation Best Management Practices. Journal of Irrigation Association 1(1):51.

Baum, MC; Dukes, MD; Miller, GL. 2005. Analysis of residential irrigation distribution uniformity. Journal of irrigation and drainage engineering 1:6.

Bavi, A; A. Kashkuli, H; Boroomand, S; Naseri, A; Albaji, M. 2009. Evaporation losses from sprinkler irrigation Systems under various operating conditions. Journal of Applied Sciences 9(3):597-600.

Bishaw, D; Olimana, M. 2015. Evaluating the effect of operating pressure and riser height on irrigation water application under different wind conditions in Ethiopia. Asia Pacific Journal of Energy and Environment 2(April):41-48.

Christiansen, JE. 1942. Irrigation by sprinkling. California, s.e. p. 126.

Cifuentes, A. 2016. Requerimiento de agua para el césped americano (*stentophrum secundatum*) empleando riego por goteo subterráneo, durante el otoño en la UNALM. s.l., s.e. 190 p.

Connellan, G. 2002. Efficient Irrigation : A reference manual for turf and landscape. Journal of School of Resource Management and Geography, University of Melbourne 1:32.

Dukes, MD. 2006. Effect of wind speed and pressure on linear move irrigation system uniformity. Journal of applied engineering in agriculture 22(4):541-548.

Faci, JM. 2013. El riego por aspersión : efecto de la baja presión en la uniformidad. s.l., s.e.

Flórez, N; Zution, I; Rodrigues, D; Barbosa, EA; Ponciano, F; Maycon, D; Eiji, E. 2013. Eficiencia de aplicación de agua en la superficie y en el perfil del suelo en un sistema de riego por aspersión. *Agrociencia* 47(2):107-119.

González, C. 2015. Aplicación de técnicas de termografía para la evaluación de la uniformidad de riego en el jardín del Campus de Vera de la Universitat Politecnica de Valencia. s.l., s.e. p. 50.

INEI. 2015. Anuario de estadísticas ambientales (en línea, sitio web). Consultado 31 ago. 2018. Disponible en https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1197/libro.pdf%0AINTERNATIONAL.

Instituto Metropolitano Planificación. 2010. Inventario de áreas verdes a nivel metropolitano. :46.

Irrigation Association. Landscape irrigation auditor. Third edition 2013.EE.UU.p43-49

Johnston, K; Lucas, N; Krivoruchko, K; Ver Hoef, J. 2001. Using ArcGIS Geostatistical Analyst. s.l., s.e.

Kara, T; Ekmekci, E; Apan, M. 2008. Determining the Uniformity Coefficient and Water Distribution Characteristics of Some Sprinklers. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 11(2):214-219.

De la Cueva, MT; Hurtado, J. 2013. Expediente técnico: «Tecnificación del sistema de riego para fines académicos en campus de la UNALM». s.l., s.e. p. 112.

Lacoma, T. 2017. How do manometers work? (en línea, sitio web). Consultado 14 sep. 2018. Disponible en <https://sciencing.com/do-manometers-work-5187684.html>.

Laserna, S; Montero, J; Sheikhesmaeili, O; E, AB. 2016. Análisis de la uniformidad de riego en sistemas de aspersión semiportátil con aspersores de gran tamaño. Congreso Nacional de Riegos, Sevilla 2016 1:10.

Lluen, J. 2015. Análisis hidraulico-energético mediante simulación y optimización de diversos escenarios de operación del sistema de riego en los jardines de la UNALM. s.l., s.e. .

- Lopez, M; Mujica, A; Duarte, L. 2011. Criterio sobre la formulación matemática para el cálculo de las pérdidas por evaporación y arrastre en emisores de baja presión. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 20(2):65-69.
- Lopez, M; Mujica, C; Duarte, L; Pérez, W. 2010. Determinación de los parámetros técnicos hidráulicos del emisor Sprayhead d3000 en diferentes condiciones experimentales. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 19:6.
- Maldonado, G. 2017. Lima y Callao gastaron S/7,3 mlls en agua potable para regar. Lima, s.e.:3.
- María, J; González, F; Jubillar, EP; Ruiz, NZ. 2005. El manejo del riego por aspersión en zonas ventosas. *Tierras de Castilla y León Agricultura* :22.
- Martínez, A. 2014. Estrategia para la evaluación energética en jardinería. Aplicación a la gestión de jardines públicos. s.l., Universidad Politecnica de Valencia. 120 p.
- Merriam, J; Keller, J. 1978. *Farm Irrigation System Evaluation: A Guide for Management*. .
- Mohamed, A; Medici, M; Giulio, L. 2016. Sprinkler irrigation uniformity: impact on the crop yield and water use efficiency. *Journal of Engineering Thermophysics* 1:9.
- Morales, AK. 2018. Diseño de un sistema de riego por aspersión para áreas verdes urbanas- parque zonal Huiracocha San Juan de Lurigancho-Lima. s.l., s.e. .
- Paniagua P; Burguete J; Zapata N; Salvador R. 2010. Riego por aspersión con baja presión. II Jornada de riego y fertilización .
- Phocaidés, A. 2007. *Handbook on pressurized irrigation techniques*. s.l., s.e. p. 282.
- Picornell, M; Tarjuelo, J; Valero, J. 2010. *El riego y sus tecnologías*. España, 2004. p. 296.
- Rain Bird. 2017. *Productos para riego de jardines. Catálogo 2017*. s.l., s.e. p. 188.
- RainBird. 2018. *Landscape irrigation design manual*. s.l., s.e. p. 42.
- Sheffield, R. 2016. *Sprinkler layout and uniformity*. LSU AgCenter, Louisiana Agricultural Engineering :3.

Stambouli, T; Zapata, N; Martinez-Cob. (2008). Evaluación de las pérdidas por evaporación y arrastre y de los cambios microclimáticos durante el riego por aspersión de alfalfa. s.l., s.e.

Swanson, C. 2017. Calculation of Uniformity in Landscape Irrigation Auditing. Journal of Extension associate landscape irrigation 1.

Tarjuelo, JM; Ortega, JF; Montero, J; De Juan, JA. 2000. Modelling evaporation and drift losses in irrigation with medium size impact sprinklers under semi-arid conditions. *Agricultural Water Management* 43(3):263-284.

Varas, E; Sandoval, J. 1989. Riego por aspersión. *Journal of Convenio INIA-FNDR* :9-10.

Wenting, H; Pute, W. 2011. Evaluation model development for sprinkler irrigation uniformity based on catch-can dat. *African Journal of Biotechnology* 10(66):14796-14802.

Yacoubi, S; Khemaies, Z; Adel, S; Enrique, P. 2012. Assessing Sprinkler Irrigation Performance Using Field Evaluations at the Medjerda Lower Valley of Tunisia. *Engineering* 04(10):682-691.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1: GRÁFICAS DE VELOCIDAD DE VIENTO

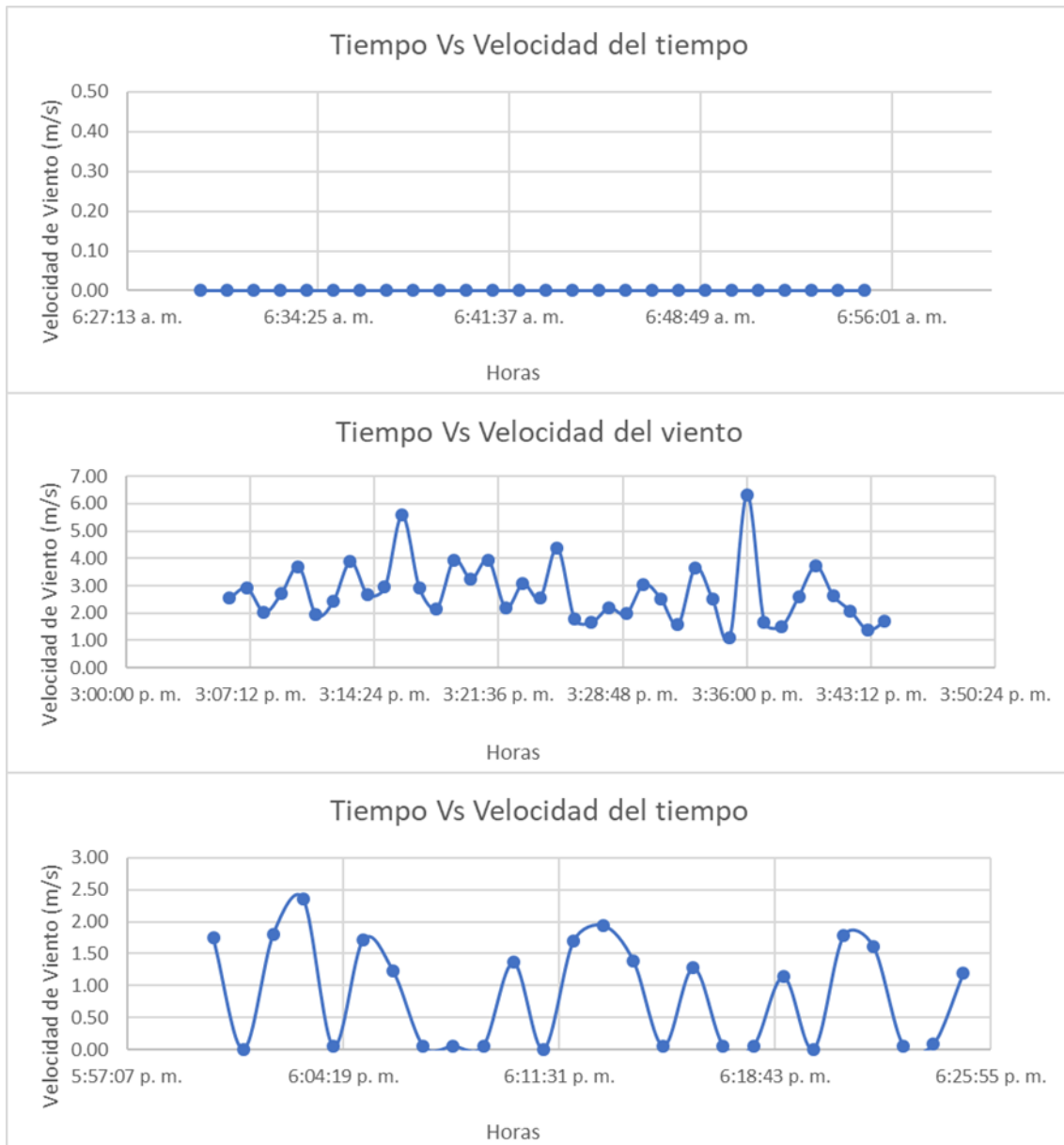


Figura 52: Velocidad de viento para los tres horarios de riego

FUENTE: Elaborado con los datos tomados en campo con el anemómetro.

ANEXO 2: PLUVIOMETRÍA A NIVEL DE VÁLVULA Y SEGÚN EL TIPO DE BOQUILLA Y ÁNGULO

V-26					
Presión bar	Tipo de rotor	Cantidad	Boquilla	Ángulo	Pluv. mm/h
3	SERIE 5000 DE 3/4" ●	4	1.5	90	12
	SERIE 5000 DE 3/4" ●	7	1.5	180	6
	SERIE 3504 DE 1/2" ●	4	2	360	6.5
	SERIE 5000 DE 3/4" ●	1	2.5	360	4.5

Figura 53: Pluviometría para la válvula 26

FUENTE: Elaborado con los datos del catálogo Rainbird (2017)

Presión bar	Tipo de rotor	Cantidad	Boquilla	Ángulo	Pluv. mm/h
3	SERIE 5000 DE 3/4" ●	12	1.5	180	6
	SERIE 5000 DE 3/4" ●	4	1.5	90	12
	SERIE 5000 DE 3/4" ●	10	2.5	360	4.5

Figura 54: Pluviometría para la válvula 27

FUENTE: Elaborado con los datos del catálogo Rainbird (2017)

V-39					
Presión bar	Tipo de rotor	Cantidad	Boquilla	Ángulo	Pluv. mm/h
3	SERIE 5000 DE 3/4" ●	8	1.5	180	6
	SERIE 5000 DE 3/4" ●	3	1.5	90	12
	SERIE 5000 DE 3/4" ●	6	2.5	360	4.5

Figura 55: Pluviometría para la válvula 39

FUENTE: Elaborado con los datos del catálogo Rainbird (2017)

V-40					
Presión bar	Tipo de rotor	Cantidad	Boquilla	Ángulo	Pluv. mm/h
3	SERIE 5000 DE 3/4" ●	4	1.5	90	12
	SERIE 5000 DE 3/4" ●	9	1.5	180	6
	SERIE 3504 DE 1/2" ●	1	2	180	13
		1	2	360	6.5
	SERIE 5000 DE 3/4" ●	5	2.5	360	4.5

Figura 56: Pluviometría para la válvula 40

FUENTE: Elaborado con los datos del catálogo Rainbird (2017)

V-46					
Presión bar	Tipo de rotor	Cantidad	Boquilla	Ángulo	Pluv. mm/h
3.8	SERIE 1800 DE 1/2" C/BOQ ROTATORIA SERIE R13-18-90	16	ROTATORIA	90	30
		10	ROTATORIA	180	15
	SERIE 3504 DE 1/2" ●	8	2	90	26
		12	2	180	13

Figura 57: Pluviometría para la válvula 46

FUENTE: Elaborado con los datos del catálogo Rainbird (2017)

V-64 65 66					
Presión bar	Tipo de rotor	Cantidad	Boquilla	Ángulo	Pluv. mm/h
3	SERIE FALCON 6504 DE 1" C/BOQ 14 ●	4	14	90	36
		17	14	180	18
		18	14	360	9

Figura 58: Pluviometría para la válvula 64-65-66

FUENTE: Elaborado con los datos del catálogo Rainbird (2017)

V-70 71 72 73					
Presión bar	Tipo de rotor	Cantidad	Boquilla	Ángulo	Pluv. mm/h
4	SERIE FALCON 6504 DE 1" C/BOQ 12 ●	2	12	90	36
		14	12	180	18
		7	12	360	9

Figura 59: Pluviometría para la válvula 70-71-72-73

FUENTE: Elaborado con los datos del catálogo Rainbird (2017)

ANEXO 3: PANEL FOTOGRÁFICO

Para iniciar las pruebas en la etapa de pre-campo se realizó la identificación y limpieza tanto de los rotores como para los arcos de riego.



Figura 60: Ubicación y limpieza de rotores

FUENTE: Elaboración propia



Figura 61: Limpieza de arco de riego

FUENTE: Elaboración propia

Para iniciar las pruebas en campo se procede al armado del anemómetro a una altura de 1.70 m.



Figura 62: Instalación del anemómetro en campo

FUENTE: Elaboración propia

Durante el riego se mide la presión a la salida del arco.



Figura 63: Punto de presión en arco de riego

FUENTE: Elaboración propia



Figura 64: Medida de presión en la salida del arco de riego

FUENTE: Elaboración propia

Durante el riego se toman los datos de velocidad de viento medidos con el anemómetro.



Figura 65: Toma de datos de la velocidad de viento en campo

Toma de datos finales; medida de los volúmenes recolectados en los tres horarios de prueba.



Figura 66: Toma de datos en los tres turnos de riego

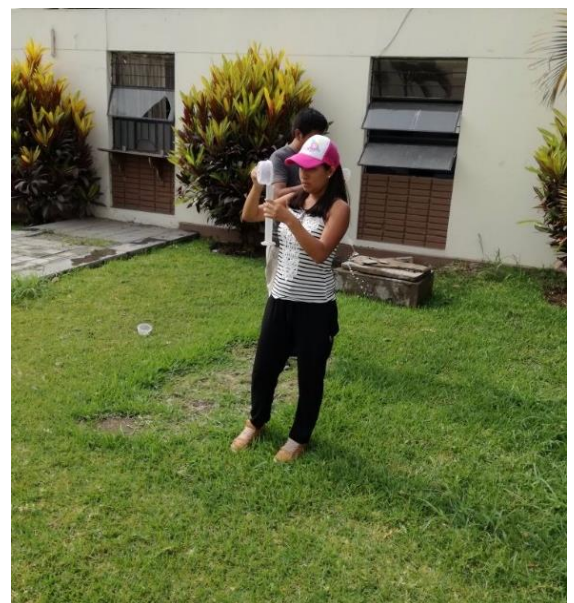



Figura 67: Medida de volumen recolectado

ANEXO 4: CATÁLOGO RAINBIRD

Serie 3504 Toberas Rendimientos						
Presión bar	Toberas	Alcance m	Caudal m ³ /h	Caudal l/m	Pluv. mm/h	Pluv. mm/h
1.7	0.75	4.6	0.12	2.04	12	14
	1.0	6.1	0.17	2.91	9	11
	1.5	7.0	0.24	4.01	10	11
	2.0	8.2	0.32	5.30	9	11
	3.0	8.8	0.49	8.21	13	15
	4.0	9.4	0.67	11.24	15	17
2.0	0.75	4.8	0.13	2.24	12	13
	1.0	6.2	0.19	3.14	10	11
	1.5	7.0	0.26	4.35	11	12
	2.0	8.2	0.34	5.74	10	12
	3.0	9.1	0.53	8.87	13	15
	4.0	9.7	0.73	12.17	16	18
2.5	0.75	5.2	0.16	2.58	12	13
	1.0	6.4	0.21	3.55	10	12
	1.5	7.0	0.30	4.94	12	14
	2.0	8.2	0.39	6.51	12	13
	3.0	9.4	0.60	10.03	13	16
	4.0	10.1	0.83	13.82	16	19
3.0	0.75	5.2	0.17	2.86	13	15
	1.0	6.4	0.24	3.93	12	13
	1.5	7.3	0.33	5.49	12	14
	2.0	8.2	0.43	7.17	13	15
	3.0	9.4	0.67	11.13	15	17
	4.0	10.6	0.92	15.32	16	19
3.5	0.75	5.4	0.19	3.09	13	15
	1.0	6.6	0.26	4.27	12	14
	1.5	7.3	0.36	5.97	13	15
	2.0	8.4	0.47	7.79	13	15
	3.0	9.6	0.71	11.90	15	18
	4.0	10.7	1.00	16.66	18	20
3.8	0.75	5.5	0.19	3.22	13	15
	1.0	6.7	0.27	4.47	12	14
	1.5	7.3	0.37	6.25	14	16
	2.0	8.5	0.49	8.14	13	15
	3.0	9.8	0.74	12.30	16	18
	4.0	10.7	1.04	17.41	18	21



■ 50%
▲ 50%

Figura 68: Rendimiento a distintas presiones del aspersor 3504

FUENTE: Catálogo Rain Bird (2017)

Falcon® 6504 Toberas Rendimientos							
Presión bar	Toberas	Alcance m	Caudal m ³ /h	Caudal l/m	Pluv. mm/h	Pluv. mm/h	
3.5	●	4	12.5	0.85	14.09	11	13
	●	6	14.9	1.26	20.96	11	13
	●	8	15.5	1.69	28.24	14	16
	●	10	16.2	2.08	34.70	16	18
	●	12	16.8	2.52	41.98	18	21
	●	14	18.0	2.91	48.45	18	21
	●	16	18.6	3.27	54.53	19	22
	●	18	18.1	3.53	58.78	22	25

Figura 69: Rendimiento a distintas presiones del aspersor 6504

FUENTE: Catálogo Rain Bird (2017)

ANEXO 5: FORMATO DE CAMPO

DATOS DE CAMPO																							
Nombre del Proyecto		DETERMINACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE UNIFORMIDAD BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE VIENTO Y TIPOS DE ASPERSORES EN LAS ÁREAS VERDES DE LA UNALM																					
Tesisista		Carol Alejos Asencio										Fecha		26/02/2018									
Asesor		Mg.Sc. David Ricardo Ascencios Templo										Hora		INICIO		14:00							
Ubicación		Universidad Nacional Agraria La Molina										FIN		16:00									
Área de Prueba		VÁLVULA -64 65 66										Altura del Anemómetro		1.73 m									
Temperatura		°C										Presión											
Área de recipiente(mm²)		6361.74										Tiempo de Riego (horas)		0.50									
Boquilla SERIE FALCON 6504 DE 1" C/BOQ 12																							
Volúmen de Recipientes- Precipitación-Velocidad																							
Vasija	Volúmen (ml)	Volúmen (mm³)	Lámina (mm)	Precipitación (mm/hr)	Vasija	Volúmen (ml)	Volúmen (mm³)	Lámina (mm)	Precipitación (mm/hr)	Vasija	Volúmen (ml)	Volúmen (mm³)	Lámina (mm)	Precipitación (mm/hr)	Vasija	Volúmen (ml)	Volúmen (mm³)	Lámina (mm)	Precipitación (mm/hr)				
1	88	88000	13.83	27.67	26	60	60000	9.43	18.86	51	42	42000	6.60	13.20	76	19	19000	2.99	5.97				
2	73	73000	11.47	22.95	27	35	35000	5.50	11.00	52	29	29000	4.56	9.12	77	24	24000	3.77	7.55				
3	95	95000	14.93	29.87	28	19	19000	2.99	5.97	53	23	23000	3.62	7.23	78	53	53000	8.33	16.66				
4	98	98000	15.40	30.81	29	42	42000	6.60	13.20	54	78	78000	12.26	24.52	79	45	45000	7.07	14.15				
5	94	94000	14.78	29.55	30	95	95000	14.93	29.87	55	45	45000	7.07	14.15	80	18	18000	2.83	5.66				
6	54	54000	8.49	16.98	31	34	34000	5.34	10.69	56	20	20000	3.14	6.29	81	33	33000	5.19	10.37				
7	44	44000	6.92	13.83	32	49	49000	7.70	15.40	57	82	82000	12.89	25.78	82	40	40000	6.29	12.58				
8	88	88000	13.83	27.67	33	58	58000	9.12	18.23	58	44	44000	6.92	13.83	83	32	32000	5.03	10.06				
9	95	95000	14.93	29.87	34	32	32000	5.03	10.06	59	34	34000	5.34	10.69	84	26	26000	4.09	8.17				
10	92	92000	14.46	28.92	35	28	28000	4.40	8.80	60	51	51000	8.02	16.03	85	23	23000	3.62	7.23				
11	90	90000	14.15	28.29	36	36	36000	5.66	11.32	61	51	51000	8.02	16.03	86	48	48000	7.55	15.09				
12	42	42000	6.60	13.20	37	33	33000	5.19	10.37	62	20	20000	3.14	6.29	87	32	32000	5.03	10.06				
13	61	61000	9.59	19.18	38	30	30000	4.72	9.43	63	34	34000	5.34	10.69	88	28	28000	4.40	8.80				
14	48	48000	7.55	15.09	39	60	60000	9.43	18.86	64	59	59000	9.27	18.55	89	32	32000	5.03	10.06				
15	63	63000	9.90	19.81	40	50	50000	7.86	15.72	65	56	56000	8.80	17.61	90	34	34000	5.34	10.69				
16	20	20000	3.14	6.29	41	31	31000	4.87	9.75	66	27	27000	4.24	8.49	91	26	26000	4.09	8.17				
17	46	46000	7.23	14.46	42	82	82000	12.89	25.78	67	36	36000	5.66	11.32	92	30	30000	4.72	9.43				
18	63	63000	9.90	19.81	43	39	39000	6.13	12.26	68	58	58000	9.12	18.23	93	26	26000	4.09	8.17				
19	32	32000	5.03	10.06	44	21	21000	3.30	6.60	69	41	41000	6.44	12.89	94	41	41000	6.44	12.89				
20	36	36000	5.66	11.32	45	45	45000	7.07	14.15	70	21	21000	3.30	6.60	95	32	32000	5.03	10.06				
21	37	37000	5.82	11.63	46	35	35000	5.50	11.00	71	78	78000	12.26	24.52	96	24	24000	3.77	7.55				
22	73	73000	11.47	22.95	47	16	16000	2.52	5.03	72	57	57000	8.96	17.92	97	31	31000	4.87	9.75				
23	40	40000	6.29	12.58	48	12	12000	1.89	3.77	73	40	40000	6.29	12.58	98	42	42000	6.60	13.20				
24	32	32000	5.03	10.06	49	56	56000	8.80	17.61	74	42	42000	6.60	13.20	99	28	28000	4.40	8.80				
25	31	31000	4.87	9.75	50	42	42000	6.60	13.20	75	41	41000	6.44	12.89	100	35	35000	5.50	11.00				

Figura 70: Plantilla para toma de datos en campo V 64-65-66

DATOS DE CAMPO																						
Nombre del Proyecto		DETERMINACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE UNIFORMIDAD BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE VIENTO Y TIPOS DE ASPERSORES EN LAS ÁREAS VERDES DE LA UNALM																				
Tesisista		Carol Alejos Asencio										Fecha		16/02/2018								
Asesor		Mg.Sc. David Ricardo Ascencios Templo										Hora		INICIO		14:00						
Ubicación		Universidad Nacional Agraria La Molina										FIN		17:00								
Área de Prueba		VÁLVULA -70 71 73					Altura del Anemómetro					1.65 m										
Temperatura		°C					Presión					V71(4 B) V70(3.8 B) V73 (3.8B)/ROTOR= 2.5 Bares										
Área de recipiente(mm²)		6361.74					Tiempo de Riego (horas)					0.50										
Boquilla SERIE FALCON 6504 DE 1" C/BOQ 12																						
Volumen de Recipientes- Precipitación-Velocidad																						
Vasija	Volúmen (ml)	Volúmen (mm³)	Lámina (mm)	Precipitación (mm/hr)	Vasija	Volúmen (ml)	Volúmen (mm³)	Lámina (mm)	Precipitación (mm/hr)	Vasija	Volúmen (ml)	Volúmen (mm³)	Lámina (mm)	Precipitación (mm/hr)	Vasija	Volúmen (ml)	Volúmen (mm³)	Lámina (mm)	Precipitación (mm/hr)			
1	93	93000	14.62	29.24	26	64	64000	10.06	20.12	51	68	68000	10.69	21.38	76		0		0			
2	93	93000	14.62	29.24	27	75	75000	11.79	23.58	52	70	70000	11.00	22.01	77		0		0			
3	91	91000	14.30	28.61	28	76	76000	11.95	23.89	53	54	54000	8.49	16.98	78		0		0			
4	59	59000	9.27	18.55	29	66	66000	10.37	20.75	54	75	75000	11.79	23.58	79		0		0			
5	110	110000	17.29	34.58	30	85	85000	13.36	26.72	55	94	94000	14.78	29.55	80		0		0			
6	107	107000	16.82	33.64	31	90	90000	14.15	28.29	56	85	85000	13.36	26.72	81		0		0			
7	83	83000	13.05	26.09	32	89	89000	13.99	27.98	57	57	57000	8.96	17.92	82		0		0			
8	130	130000	20.43	40.87	33	83	83000	13.05	26.09	58	62	62000	9.75	19.49	83		0		0			
9	98	98000	15.40	30.81	34	46	46000	7.23	14.46	59	55	55000	8.65	17.29	84		0		0			
10	62	62000	9.75	19.49	35	37	37000	5.82	11.63	60	52	52000	8.17	16.35	85		0		0			
11	70	70000	11.00	22.01	36	68	68000	10.69	21.38	61	68	68000	10.69	21.38	86		0		0			
12	82	82000	12.89	25.78	37	102	102000	16.03	32.07	62	70	70000	11.00	22.01	87		0		0			
13	78	78000	12.26	24.52	38	50	50000	7.86	15.72	63	18	18000	2.83	5.66	88		0		0			
14	77	77000	12.10	24.21	39	62	62000	9.75	19.49	64	35	35000	5.50	11.00	89		0		0			
15	88	88000	13.83	27.67	40	64	64000	10.06	20.12	65	57	57000	8.96	17.92	90		0		0			
16	46	46000	7.23	14.46	41	44	44000	6.92	13.83	66	58	58000	9.12	18.23	91		0		0			
17	58	58000	9.12	18.23	42	64	64000	10.06	20.12	67	68	68000	10.69	21.38	92		0		0			
18	68	68000	10.69	21.38	43	67	67000	10.53	21.06	68	75	75000	11.79	23.58	93		0		0			
19	35	35000	5.50	11.00	44	30	30000	4.72	9.43	69	28	28000	4.40	8.80	94		0		0			
20	59	59000	9.27	18.55	45	36	36000	5.66	11.32	70	47	47000	7.39	14.78	95							
21	66	66000	10.37	20.75	46	73	73000	11.47	22.95	71	59	59000	9.27	18.55	96							
22	60	60000	9.43	18.86	47	71	71000	11.16	22.32	72	68	68000	10.69	21.38	97							
23	62	62000	9.75	19.49	48	51	51000	8.02	16.03	73		0	0	0	98							
24	62	62000	9.75	19.49	49	28	28000	4.40	8.80	74		0	0	0	99							
25	64	64000	10.06	20.12	50	40	40000	6.29	12.58	75		0	0	0	100							

Figura 71: Plantilla para toma de datos en campo V 70-71-73

Nombre del Proyecto					DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE VIENTO Y TIPOS DE ASPERSORES EN LAS ÁREAS VERDES DE LA UNALM																			
Tesista					Carol Alejos Asencio					Fecha					31/01/2018									
Asesor					Mg.Sc. David Ricardo Ascencios Templo					Hora					INICIO					2:00 p.m				
Ubicación					Universidad Nacional Agraria La Molina					FIN					4:00 p.m									
Área de Prueba					VÁLVULA -26					Velocidad del Viento														
Temperatura					°C					Presión					30 Bar									
Área de recipiente(mm²)					6361.74					Tiempo de Riego (horas)					0.50									
Volúmen de Recipientes- Precipitación-Velocidad																								
Vasija	Volúmen(ml)	Volúmen(mm³)	Lámina (mm)	Precipitación (mm/hr)	Vasija	Volúmen(ml)	Volúmen(mm³)	Lámina (mm)	Precipitación (mm/hr)	Vasija	Volúmen(ml)	Volúmen(mm³)	Lámina (mm)	Precipitación (mm/hr)	Vasija	Volúmen(ml)	Volúmen(mm³)	Lámina (mm)	Precipitación (mm/hr)					
1	19	19000	2.99	5.97	26	29	29000	4.56	9.12	51	35	35000	5.50	11.00	76									
2	26	26000	4.09	8.17	27	32	32000	5.03	10.06	52	18	18000	2.83	5.66	77									
3	47	47000	7.39	14.78	28	16	16000	2.52	5.03	53	29	29000	4.56	9.12	78									
4	46	46000	7.23	14.46	29	19	19000	2.99	5.97	54	36	36000	5.66	11.32	79									
5	32	32000	5.03	10.06	30	30	30000	4.72	9.43	55	40	40000	6.29	12.58	80									
6	31	31000	4.87	9.75	31	30	30000	4.72	9.43	56	34	34000	5.34	10.69	81									
7	51	51000	8.02	16.03	32	43	43000	6.76	13.52	57	26	26000	4.09	8.17	82									
8	30	30000	4.72	9.43	33	16	16000	2.52	5.03	58	15	15000	2.36	4.72	83									
9	44	44000	6.92	13.83	34	17	17000	2.67	5.34	59	12	12000	1.89	3.77	84									
10	54	54000	8.49	16.98	35	10	10000	1.57	3.14	60	53	53000	8.33	16.66	85									
11	18	18000	2.83	5.66	36	20	20000	3.14	6.29	61					86									
12	25	25000	3.93	7.86	37	25	25000	3.93	7.86	62					87									
13	32	32000	5.03	10.06	38	23	23000	3.62	7.23	63					88									
14	85	85000	13.36	26.72	39	15	15000	2.36	4.72	64					89									
15	42	42000	6.60	13.20	40	23	23000	3.62	7.23	65					90									
16	25	25000	3.93	7.86	41	12	12000	1.89	3.77	66					91									
17	14	14000	2.20	4.40	42	20	20000	3.14	6.29	67					92									
18	41	41000	6.44	12.89	43	31	31000	4.87	9.75	68					93									
19	20	20000	3.14	6.29	44	15	15000	2.36	4.72	69					94									
20	30	30000	4.72	9.43	45	25	25000	3.93	7.86	70					95									
21	17	17000	2.67	5.34	46	16	16000	2.52	5.03	71					96									
22	79	79000	12.42	24.84	47	22	22000	3.46	6.92	72					97									
23	28	28000	4.40	8.80	48	30	30000	4.72	9.43	73					98									
24	59	59000	9.27	18.55	49	24	24000	3.77	7.55	74					99									
25	31	31000	4.87	9.75	50	26	26000	4.09	8.17	75					100									

Figura 72: Plantilla para toma de datos en campo Válvula 26

DATOS DE CAMPO																						
Nombre del Proyecto		DETERMINACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE UNIFORMIDAD BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE VIENTO Y TIPOS DE ASPERSORES EN LAS ÁREAS VERDES DE LA UNALM																				
Tesisista		Carol Alejos Asencio										Fecha		01/01/2018								
Asesor		Mg.Sc. David Ricardo Ascencios Templo										Hora		INICIO		2:00 p.m						
Ubicación		Universidad Nacional Agraria La Molina										FIN		4:00 p.m								
Área de Prueba		VÁLVULA -27					Velocidad del Viento					0-5.6 m/s										
Temperatura		°C					Presión					3 Bares 30 metros										
Área de recipiente(mm²)		6361.74					Tiempo de Riego (horas)					0.50										
Volúmen de Recipientes- Precipitación-Velocidad																						
Vasija	Volúmen(ml)	Volúmen(mm³)	Lámina (mm)	Precipitación (mm/hr)	Vasija	Volúmen (ml)	Volúmen (mm³)	Lámina (mm)	Precipitación (mm/hr)	Vasija	Volúmen (ml)	Volúmen (mm³)	Lámina (mm)	Precipitación (mm/hr)	Vasija	Volúmen (ml)	Volúmen (mm³)	Lámina (mm)	Precipitación (mm/hr)			
1	33	33000	5.19	10.37	26	31	31000	4.87	9.75	51	29	29000	4.56	9.12	76							
2	31	31000	4.87	9.75	27	24	24000	3.77	7.55	52	34	34000	5.34	10.69	77							
3	24	24000	3.77	7.55	28	21	21000	3.30	6.60	53	25	25000	3.93	7.86	78							
4	18	18000	2.83	5.66	29	22	22000	3.46	6.92	54	21	21000	3.30	6.60	79							
5	35	35000	5.50	11.00	30	43	43000	6.76	13.52	55	20	20000	3.14	6.29	80							
6	41	41000	6.44	12.89	31	30	30000	4.72	9.43	56	25	25000	3.93	7.86	81							
7	24	24000	3.77	7.55	32	32	32000	5.03	10.06	57	17	17000	2.67	5.34	82							
8	33	33000	5.19	10.37	33	48	48000	7.55	15.09	58	26	26000	4.09	8.17	83							
9	40	40000	6.29	12.58	34	38	38000	5.97	11.95	59	31	31000	4.87	9.75	84							
10	39	39000	6.13	12.26	35	11	11000	1.73	3.46	60	25	25000	3.93	7.86	85							
11	42	42000	6.60	13.20	36	26	26000	4.09	8.17	61	33	33000	5.19	10.37	86							
12	40	40000	6.29	12.58	37	24	24000	3.77	7.55	62	23	23000	3.62	7.23	87							
13	38	38000	5.97	11.95	38	41	41000	6.44	12.89	63	25	25000	3.93	7.86	88							
14	35	35000	5.50	11.00	39	29	29000	4.56	9.12	64	33	33000	5.19	10.37	89							
15	42	42000	6.60	13.20	40	70	70000	11.00	22.01	65					90							
16	45	45000	7.07	14.15	41	20	20000	3.14	6.29	66					91							
17	34	34000	5.34	10.69	42	51	51000	8.02	16.03	67					92							
18	25	25000	3.93	7.86	43	24	24000	3.77	7.55	68					93							
19	23	23000	3.62	7.23	44	21	21000	3.30	6.60	69					94							
20	32	32000	5.03	10.06	45	19	19000	2.99	5.97	70					95							
21	18	18000	2.83	5.66	46	44	44000	6.92	13.83	71					96							
22	21	21000	3.30	6.60	47	26	26000	4.09	8.17	72					97							
23	31	31000	4.87	9.75	48	24	24000	3.77	7.55	73					98							
24	21	21000	3.30	6.60	49	15	15000	2.36	4.72	74					99							
25	21	21000	3.30	6.60	50	31	31000	4.87	9.75	75					100							

Figura 73: Plantilla para toma de datos en campo Válvula 27

DATOS DE CAMPO																							
Nombre del Proyecto		DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE VIENTO Y TIPOS DE ASPERSORES EN LAS ÁREAS VERDES DE LA UNALM																					
Tesisista		Carol Alejos Asencio										Fecha		13/02/2018									
Asesor		Mg.Sc. David Ricardo Ascencios Templo										Hora		INICIO		2:00 p.m							
Ubicación		Universidad Nacional Agraria La Molina												FIN		4:00 p.m							
Área de Prueba		VÁLVULA -46								Velocidad del Viento													
Temperatura		°C								Presión				30 metros									
Área de recipiente(mm²)		6361.74								Tiempo de Riego (horas)				0.50									
Volumen de Recipientes- Precipitación-Velocidad																							
Vasija	Volúmen(ml)	Volúmen(mm³)	Lámina (mm)	Precipitación (mm/hr)	Vasija	Volúmen (ml)	Volúmen (mm³)	Lámina (mm)	Precipitación (mm/hr)	Vasija	Volúmen (ml)	Volúmen (mm³)	Lámina (mm)	Precipitación (mm/hr)	Vasija	Volúmen(ml)	Volúmen(mm³)	Lámina (mm)	Precipitación (mm/hr)				
1	16	16000	2.52	5.03	26	43	43000	6.76	13.52	51					76								
2	24	24000	3.77	7.55	27	41	41000	6.44	12.89	52					77								
3	54	54000	8.49	16.98	28	44	44000	6.92	13.83	53					78								
4	41	41000	6.44	12.89	29	54	54000	8.49	16.98	54					79								
5	23	23000	3.62	7.23	30	21.5	21500	3.38	6.76	55					80								
6	34	34000	5.34	10.69	31	63	63000	9.90	19.81	56					81								
7	13	13000	2.04	4.09	32	74	74000	11.63	23.26	57					82								
8	13	13000	2.04	4.09	33	18	18000	2.83	5.66	58					83								
9	46	46000	7.23	14.46	34	28	28000	4.40	8.80	59					84								
10	36	36000	5.66	11.32	35	69	69000	10.85	21.69	60					85								
11	60	60000	9.43	18.86	36	15	15000	2.36	4.72	61					86								
12	46	46000	7.23	14.46	37	23	23000	3.62	7.23	62					87								
13	61	61000	9.59	19.18	38	42	42000	6.60	13.20	63					88								
14	47	47000	7.39	14.78	39	45	45000	7.07	14.15	64					89								
15	85	85000	13.36	26.72	40	40	40000	6.29	12.58	65					90								
16	83	83000	13.05	26.09	41	82	82000	12.89	25.78	66					91								
17	36	36000	5.66	11.32	42	51	51000	8.02	16.03	67					92								
18	30	30000	4.72	9.43	43	24	24000	3.77	7.55	68					93								
19	14	14000	2.20	4.40	44	28	28000	4.40	8.80	69					94								
20	70	70000	11.00	22.01	45	40	40000	6.29	12.58	70					95								
21	38	38000	5.97	11.95	46	31	31000	4.87	9.75	71					96								
22	27	27000	4.24	8.49	47					72					97								
23	23	23000	3.62	7.23	48					73					98								
24	61	61000	9.59	19.18	49					74					99								
25	37	37000	5.82	11.63	50					75					100								

Figura 74: Plantilla para toma de datos en campo Válvula 46

DATOS DE CAMPO																							
Nombre del Proyecto		DETERMINACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE UNIFORMIDAD BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE VIENTO Y TIPOS DE ASPERSORES EN LAS ÁREAS VERDES DE LA UNALM																					
Tesista		Carol Alejos Asencio										Fecha		23/01/2018									
Asesor		Mg.Sc. David Ricardo Ascencios Templo										Hora		INICIO		17:00							
Ubicación		Universidad Nacional Agraria La Molina												FIN		19:00							
Área de Prueba		VÁLVULA -3					Velocidad del Viento																
Temperatura		°C					Presión					3 Bares 30 metros											
Área de recipiente(mm²)		6361.74					Tiempo de Riego (horas)					0.58											
Boquilla SERIE 5000 DE 3/4 C/BOQ 1.5 C/BOQ 2.5 SERIE 3504 DE 1/2 C/BOQ 2																							
Volúmen de Recipientes- Precipitación-Velocidad																							
Vasija	Volúmen(ml)	Volúmen(mm³)	Lámina (mm)	Precipitación (mm/hr)	Vasija	Volúmen (ml)	Volúmen (mm³)	Lámina (mm)	Precipitación (mm/hr)	Vasija	Volúmen (ml)	Volúmen (mm³)	Lámina (mm)	Precipitación (mm/hr)	Vasija	Volúmen (ml)	Volúmen (mm³)	Lámina (mm)	Precipitación (mm/hr)				
1	34	34000	5.34	9.16	26	27	27000	4.24	7.28	51					76								
2	51	51000	8.02	13.74	27	38	38000	5.97	10.24	52					77								
3	28	28000	4.40	7.55	28	24	24000	3.77	6.47	53					78								
4	35	35000	5.50	9.43	29	42	42000	6.60	11.32	54					79								
5	58	58000	9.12	15.63	30	16	16000	2.52	4.31	55					80								
6	20	20000	3.14	5.39	31	32	32000	5.03	8.62	56					81								
7	43	43000	6.76	11.59	32	37	37000	5.82	9.97	57					82								
8	43	43000	6.76	11.59	33	46	46000	7.23	12.40	58					83								
9	50	50000	7.86	13.47	34	35	35000	5.50	9.43	59					84								
10	46	46000	7.23	12.40	35	28	28000	4.40	7.55	60					85								
11	46	46000	7.23	12.40	36	19	19000	2.99	5.12	61					86								
12	50	50000	7.86	13.47	37	44	44000	6.92	11.86	62					87								
13	41	41000	6.44	11.05	38	38	38000	5.97	10.24	63					88								
14	27	27000	4.24	7.28	39	67	67000	10.53	18.05	64					89								
15	31	31000	4.87	8.35	40	55	55000	8.65	14.82	65					90								
16	42	42000	6.60	11.32	41	32	32000	5.03	8.62	66					91								
17	28	28000	4.40	7.55	42	37	37000	5.82	9.97	67					92								
18	51	51000	8.02	13.74	43	43	43000	6.76	11.59	68					93								
19	35	35000	5.50	9.43	44	36	36000	5.66	9.70	69					94								
20	49	49000	7.70	13.20	45	64	64000	10.06	17.25	70					95								
21	56	56000	8.80	15.09	46	45	45000	7.07	12.13	71					96								
22	44	44000	6.92	11.86	47	45	45000	7.07	12.13	72					97								
23	52	52000	8.17	14.01	48	47	47000	7.39	12.66	73					98								
24	39	39000	6.13	10.51	49					74					99								
25	28	28000	4.40	7.55	50					75					100								

Figura 75: Plantilla para toma de datos en campo Válvula 3