

**UNIVERSIDAD NACIONAL  
“SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO”  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**CONTRASTACIÓN DEL DISEÑO GEOMÉTRICO Y  
COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE DOS TIPOS DE  
ASPERSORES ARTESANALES (*Brazos Giratorios: T1, T2*) EN EL  
FUNDO LA SOLEDAD HUACRACHUCO – MARAÑÓN**

**Presentado por:**

ALVAREZ BENAUTE, JOSÉ ANTONIO

**Asesor:**

MEJIA ANAYA, TEOFANES

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO AGRÍCOLA**

**HUARAZ - PERÚ**

**2021**



FORMATO DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN, CONDUCENTES A  
OPTAR TÍTULOS PROFESIONALES Y GRADOS ACADÉMICOS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

**1. Datos del autor:**

Apellidos y Nombres: \_\_\_\_\_

Código de alumno: \_\_\_\_\_ Teléfono: \_\_\_\_\_

E-mail: \_\_\_\_\_ D.N.I. n°: \_\_\_\_\_

*(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)*

**2. Tipo de trabajo de investigación:**

Tesis Trabajo de Suficiencia Profesional

Trabajo Académico Trabajo de Investigación

Tesinas (presentadas antes de la publicación de la Nueva Ley Universitaria 30220 – 2014)

**3. Para optar el Título Profesional de:**

\_\_\_\_\_

**4. Título del trabajo de investigación:**

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**5. Facultad de:** \_\_\_\_\_

**6. Escuela o Carrera:** \_\_\_\_\_

**7. Línea de Investigación (\*):** \_\_\_\_\_

**8. Sub-línea de Investigación (\*):** \_\_\_\_\_

*(\*) Según resolución de aprobación del proyecto de tesis*

**9. Asesor:**

Apellidos y nombres \_\_\_\_\_ D.N.I n°: \_\_\_\_\_

E-mail: \_\_\_\_\_ ID ORCID: \_\_\_\_\_

**10. Referencia bibliográfica:** \_\_\_\_\_

**11. Tipo de acceso al Documento:**

Acceso público\* al contenido completo.

Acceso restringido\*\* al contenido completo

*Si el autor eligió el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Santiago Antúnez de Mayolo una licencia no exclusiva, para que se pueda hacer arreglos de forma en la obra y difundirlo en el Repositorio Institucional, respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.*

En caso de que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_



## 12. Originalidad del archivo digital

*Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.*



Firma del autor

## 13. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

*Para las investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia Creative Commons, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica.*



*El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Institucional, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.*

Según el inciso 12.2, del artículo 12º del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Recolector Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".

## 14. Para ser verificado por la Dirección del Repositorio Institucional

Seleccione la  
Fecha de Acto de sustentación:

Huaraz,

Firma:



  
Varillas William Eduardo  
Asistente en Informática y Sistemas  
- UNASAM -

**\*Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

**\*\* Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.



## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS VIRTUAL

Los miembros del Jurado de Tesis que suscriben, reunidos para escuchar y evaluar la sustentación de la Tesis presentado por el Bachiller en Ciencias de la Ingeniería Agrícola **JOSÉ ANTONIO ALVAREZ BENAUTE**, denominado: “**CONTRASTACIÓN DEL DISEÑO GEOMÉTRICO Y COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE DOS TIPOS DE ASPERSORES ARTESANALES (Brazos Giratorios: T1, T2) EN EL FUNDO LA SOLEDAD HUACRACHUCO - MARAÑÓN**” patrocinado por el **Dr. TEOFANES MEJIA ANAYA**, Escuchada la sustentación, las respuestas a las preguntas y observaciones formuladas, la declaramos:

### APROBADO

CON EL CALIFICATIVO (\*)

**DIECISEIS\_(16)**

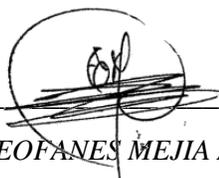
En consecuencia, queda en condición de ser calificado APTO por el Consejo de Facultad de Ciencias Agrarias y por el Consejo Universitario de la Universidad Nacional “Santiago Antúnez de Mayolo” y recibir el Título de **INGENIERA AGRÍCOLA**, de conformidad con la Ley Universitaria y el Estatuto de la Universidad.

Huaraz, 23 de Febrero de 2022.

  
\_\_\_\_\_  
*Dr. PEDRO ALEJANDRO COLONIA CERNA*  
PRESIDENTE

  
\_\_\_\_\_  
*Mag. ESTEBAN PEDRO REYES ROQUE*  
SECRETARIO

  
\_\_\_\_\_  
*Dr. TITO MONER TINOCO MEYHUAY*  
VOCAL

  
\_\_\_\_\_  
*Dr. TEOFANES MEJIA ANAYA*  
PATROCINADOR

(\*) De acuerdo con el Reglamento de Tesis, éstas deben ser calificadas con términos de: APROBADO CON EXCELENCIA (19 - 20), APROBADO CON DISTINCIÓN (17 - 18), APROBADO (14 - 16), DESAPROBADO (00 - 13).



**ACTA DE CONFORMIDAD DE TESIS**

Los miembros del jurado, luego de evaluar la tesis denominada: ***"CONTRASTACIÓN DEL DISEÑO GEOMÉTRICO Y COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE DOS TIPOS DE ASPERSORES ARTESANALES (Brazos Giratorios: T1, T2) EN EL FUNDO LA SOLEDAD HUACRACHUCO - MARAÑÓN"***, presentado por el Bachiller en Ciencias de la Ingeniería Agrícola ***JOSÉ ANTONIO ALVAREZ BENAUTE***, y sustentada el día 23 de febrero del 2022, con Resolución Decanatural N° 098 -2022 - UNASAM - FCA, la declaramos CONFORME.

Huaraz, 11 de Marzo de 2022

Dr. PEDRO ALEJANDRO COLONIA CERNA

PRESIDENTE

Mag. ESTEBAN PEDRO REYES ROQUE

SECRETARIO

Dr. TITO MONER TINOCO MEYHUAY

VOCAL

Dr. TEOFANES MEJIA ANAYA

PATROCINADOR

## **DEDICATORIA**

A mi madre por darme su amor y  
brindarme su apoyo siempre, por ser mi  
motivo de superación y fuerza para lograr  
mis metas.

## AGRADECIMIENTO

A Dios por cuidar a toda mi familia de este terrible virus que azota a la humanidad, a mi padre por su dedicación y empeño para lograr cumplir mis metas, a mis hermanos (as) por su apoyo brindado.

A mis docentes de la Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola que me compartieron sus enseñanzas en todos estos años de formación académica profesional para concluir con satisfacción mi formación profesional.

Al Dr. Ing. Teófanos Mejía Anaya por su asesoría que hicieron posible la elaboración de la presente tesis.

## CONTENIDO

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
CONTENIDO	IV
CONTENIDO DE TABLAS	VII
CONTENIDO DE FIGURAS	VIII
CONTENIDO DE ECUACIONES	XII
CONTENIDO DE ANEXOS	XII
RESUMEN	XIII
ABSTRACT	XIV
I. INTRODUCCIÓN	15
1.1. Generalidades	15
1.2. Objetivo	16
1.2.1. Objetivo general	16
1.2.2. Objetivo específico	16
II. MARCO TEORICO	17
2.1. Antecedentes del Tema	17
2.1.1. Antecedentes internacionales	17
2.1.2. Antecedentes nacionales	20
2.2. Revisión Bibliográfica	22
2.2.1. Irrigación	22

2.2.2.	Métodos de riego	23
2.2.3.	Clasificación de los aspersores	26
2.2.4.	Marco de riego	29
2.2.5.	Distribución del agua en el riego	32
2.2.6.	Curva radial de los aspersores	33
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	37
3.1.	Tipo de Investigación	37
3.2.	Descripción de la Zona de Estudio	37
3.3.	Materiales	37
3.3.1.	Características Generales del Proyecto	37
3.3.2.	Ubicación.	37
3.3.3.	Materiales para la construcción de los aspersores artesanales T1 y T2.	38
3.3.4.	Materiales para caracterizar los aspersores	38
3.3.5.	Equipos:	39
3.3.6.	Software	39
3.4.	Métodos	40
3.4.1.	Diseño y construcción de los aspersores artesanales T1 y T2.	40
3.4.2.	Caracterización de los aspersores Tipo 1 y Tipo 2	55
3.4.3.	Trabajo en gabinete	61
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIONES	63
4.1.	Construcción de los Aspersores Artesanales	63
4.1.1.	Diseño y construcción de aspersor artesanal T1.	63
4.1.2.	Diseño y construcción de aspersor artesanal T2.	63
4.2.	Caudal del aspersor artesanal.	64
4.2.1.	aspersor tipo 1.	64
4.2.2.	Aspersor tipo 2	69
4.3.	Radio de Humedecimiento	73

4.3.1. Aspersor tipo 1.	74
4.3.2. Aspersor tipo 2	77
4.4. Curva Radial de los Aspersores	80
4.5. Coeficiente de Uniformidad de Christiansen	80
V. CONCLUSIONES	87
VI. RECOMENDACIONES	88
VII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	89
VIII. ANEXOS	92

## CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1. Porcentaje de reducción según velocidad de viento	30
Tabla 2. Variación del caudal debido a la presión del aspersor tipo 1 D = 1.00 mm.	64
Tabla 3. Variación del caudal debido a la presión del aspersor tipo 1 D = 1.50 mm.	66
Tabla 4. Variación del caudal debido a la presión del aspersor tipo 1 D = 2.00 mm.	67
Tabla 5. Variación del caudal debido a la presión del aspersor tipo 2 D = 1mm.	69
Tabla 6. Variación del caudal debido a la presión del aspersor tipo 2 D = 1.5mm.	70
Tabla 7. Variación del caudal debido a la presión del aspersor tipo 2 D = 2mm.	72
Tabla 8. Datos para determinar curvas radio húmedo - versus presión.	73

## CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1. Riego por superficie	23
Figura 2. Riego por surco	24
Figura 3. Método por inundación	25
Figura 4. Riego por aspersión	25
Figura 5. Aspersor de impacto típico	26
Figura 6. Aspersor de turbina	27
Figura 7. Aspersor de reacción (3 Brazos Con 968V)	28
Figura 8. Separación recomendada entre aspersores y ramales en marco cuadrado.	30
Figura 9. Separación recomendada entre aspersores y ramales de aspersión en marco triangular.	31
Figura 10. Separación recomendada entre aspersores y ramales de aspersión en marco rectangular	31
Figura 11. Efecto de la presión del agua en el aspersor en la distribución de la lluvia generada.	33
Figura 12. Dos Tuberías PVC de ½”.	40
Figura 13. Unión de las Tuberías PVC de ½” a la tee.	41
Figura 14. Unión de los tapones hembra a las tuberías PVC de ½”.	41
Figura 15. Perforación de los emisores en cada extremo del brazo de giro	41
Figura 16. Tubería PVC de ½”	42
Figura 17. Calentado del brazo de la tubería.	43

Figura 18. Brazo del aspersor doblado.	43
Figura 19. Unión de los Brazos a la tee.	44
Figura 20. Picos de botella plástica.	45
Figura 21. Pegado de los picos de botella a los extremos de los brazos del aspersor.	45
Figura 22. Perforación de los diámetros de los emisores.	46
Figura 23. Tubería de ¾” PVC cortados a 10 cm.	46
Figura 24. Calentado de la tubería de ¾”.	47
Figura 25. Ensanchado de la tubería de ¾”.	47
Figura 26. Tubería de ¾” ensanchada.	48
Figura 27. Corte del Pico de la botella plástica.	48
Figura 28. Rosca del pico de botella.	49
Figura 29. Lijado de la rosca.	49
Figura 30. Calentado de la tubería de ½”.	50
Figura 31. Obtención del anillo ensanchado de 12 cm.	51
Figura 32. Armado del eje de giro.	52
Figura 33. Unión del eje de giro a la tubería ensanchada.	52
Figura 34. Unión de la rosca de botella a la tubería de ¾” ensanchada.	53
Figura 35. Pegado del adaptador de ½” al eje de giro.	54
Figura 36. Cuerpo de giro terminado.	54
Figura 37. Aspersores T1 Y T2 terminados.	55
Figura 38. Aspersor T1 acondicionado con sus accesorios e instrumentos de medición.	56

Figura 39. Pruebas realizadas con el aspersor T1 y T2.	57
Figura 40. Prueba de cálculo de caudal para cada aspersor.	58
Figura 41. Medida del radio de humedecimiento del aspersor artesanal.	59
Figura 42. Esquema de la disposición de los pluviómetros para las pruebas del aspersor artesanal (T1 Y T2).	60
Figura 43. Midiendo el volumen de agua recolectado en los pluviómetros del aspersor T1	61
Figura 44. Medidas del vaso usado como pluviómetros en las pruebas.	62
Figura 45. Caudal versus presión aspersor T1 D=1mm	65
Figura 46. Caudal versus presión aspersor T1 D=1.5 mm.	66
Figura 47. Caudal versus presión aspersor T1 D=2 mm.	68
Figura 48. Caudal versus presión aspersor T2 D=1 mm.	69
Figura 49. Caudal versus presión aspersor T2 D=1.5 mm.	71
Figura 50. Caudal versus presión aspersor T2 D=1.5 mm.	72
Figura 51. Radio húmedo versus presión aspersor T1 D=1 mm.	74
Figura 52. Radio húmedo versus presión aspersor T1 D=1.5 mm.	75
Figura 53. Radio húmedo versus presión aspersor T1 D=2.0 mm.	76
Figura 54. Radio húmedo versus presión aspersor T2 D=1.0 mm.	77
Figura 55. Radio húmedo versus presión aspersor T2 D=1.5 mm.	78
Figura 56. Radio húmedo versus presión aspersor T2 D=2.0 mm.	79

Figura 57. Valor del coeficiente de uniformidad del aspersor T1 D=1 mm y presión de funcionamiento de 1 bar, volumen recogido en los pluviómetros.	81
Figura 58. Valor del coeficiente de uniformidad del aspersor T1 D=1 mm y presión de funcionamiento de 1.2 bar, volumen recogido en los pluviómetros.	82
Figura 59. Valor del coeficiente de uniformidad del aspersor T 1 D=1.5 mm y presión de funcionamiento de 0.8 bar, volumen recogido en los pluviómetros.	83
Figura 60. Valor del coeficiente de uniformidad del aspersor T 2 D=1 mm y presión de funcionamiento de 1 bar, volumen recogido en los pluviómetros.	84
Figura 61. Valor del coeficiente de uniformidad del aspersor T 2 D=1.5 mm y presión de funcionamiento de 1 bar, volumen recogido en los pluviómetros.	85
Figura 62. Resumen general de resultados obtenidos en todas las pruebas realizadas a los aspersores artesanales de brazos giratorios T1, T2.	86

## CONTENIDO DE ECUACIONES

Ecuación 1. Coeficiente de uniformidad	33
Ecuación 2. Caudal	34
Ecuación 3. Diámetro de humedecimiento	35
Ecuación 4. Curva característica del caudal emitido de los aspersores	36
Ecuación 5. Lámina recogida en los vasos	36

## CONTENIDO DE ANEXOS

Anexo A. Curva radial de distribución	92
Anexo B. Reparto de agua sobre el suelo y cálculo del coeficiente de uniformidad	122
Anexo C. Panel fotográfico	147

## RESUMEN

La presente tesis tiene como objetivo contrastar el diseño geométrico y el comportamiento hidráulico de dos tipos de aspersores artesanales brazos giratorios: T1, T2 en el fundo la Soledad - Huacrachuco – Marañón, para el cual se ha construido dos tipos de aspersores (T1, T2); presentando el aspersor T1 como principal característica brazos de giro rectos, se construyó tres aspersores T1, de 1mm, 1.5mm y 2mm de diámetro de emisores respectivamente y cada aspersor T1 tiene 8 emisores a cada lado de sus brazos; y el aspersor T2 presentando como principal característica brazos de giro curvos, se construyó tres aspersores T2, de 1mm, 1.5mm y 2mm de diámetro de emisores respectivamente y cada aspersor T2 tiene 7 emisores a cada lado de sus brazos. Donde se evaluó, la presión de trabajo, caudal, diámetro de humedecimiento y coeficiente de uniformidad (CU). Se determinó caudales para el aspersor T1 que varían desde 250.00 l/h hasta 1276.60 l/h, para el aspersor T2 los caudales varían desde 149.01 l/h hasta 886.70 l/h, para presiones que van de 0.4 bar a 1 bar respectivamente. El radio de humedecimiento para el aspersor T1 varían desde los 3 m hasta los 7 m, para el aspersor T2 varían desde los 3 m hasta los 8 m. Concluyendo que con el aspersor artesanal T1 de 1mm de diámetro de emisores a una presión de trabajo de 1 bar obtuvo un caudal de 573.25 l/h, un radio húmedo de 6.5 m y un (CU) de 83.53%, Para el aspersor T2 de 1.5 mm de diámetro de emisores a una presión de trabajo de 1 bar, obtuvo un caudal de 775.86 l/h, radio húmedo de 7 m y un (CU) de 82.79%; estos valores de coeficiente de uniformidad (CU) por encima del 80% se consideran aceptables puesto que representa una correcta distribución del agua bajo el riego. Por lo tanto, el aspersor T1 frente al aspersor T2 es ligeramente más eficiente.

Palabras clave: Aspersores artesanales, Coeficiente de uniformidad de Christiansen, Perfil radial de humedecimiento, Eficiencia de descarga

## ABSTRACT

The present thesis aims to contrast the geometric design and hydraulic behavior of two types of rotating arm sprinklers: T1, T2 in the farm La Soledad - Huacrachuco - Marañón, for which two types of sprinklers (T1, T2) have been built; presenting the T1 sprinkler as main characteristic straight rotating arms, three T1 sprinklers were built, of 1mm, 1.5mm and 2mm diameter emitters respectively and each T1 sprinkler has 8 emitters on each side of its arms; and the T2 sprinkler presenting as main characteristic curved turning arms, three T2 sprinklers were built, of 1mm, 1.5mm and 2mm diameter emitters respectively and each T2 sprinkler has 7 emitters on each side of its arms. Working pressure, flow rate, wetting diameter and coefficient of uniformity (CU) were evaluated. Flow rates were determined for sprinkler T1 ranging from 250.00 l/h to 1276.60 l/h, for sprinkler T2 the flow rates vary from 149.01 l/h to 886.70 l/h, for pressures ranging from 0.4 bar to 1 bar respectively. The wetting radius for sprinkler T1 varies from 3 m to 7 m, for sprinkler T2 from 3 m to 8 m. It was concluded that with the T1 sprinkler with 1 mm diameter emitters at a working pressure of 1 bar, a flow rate of 573.25 l/h, a wetting radius of 6.5 m and a (CU) of 83.53% was obtained, for the T2 sprinkler with 1.5 mm diameter emitters at a working pressure of 1 bar. 5 mm diameter emitters at a working pressure of 1 bar, obtained a flow rate of 775.86 l/h, wet radius of 7 m and a (CU) of 82.79%; these values of coefficient of uniformity (CU) above 80% are considered acceptable since it represents a correct distribution of water under irrigation. Therefore, sprinkler T1 versus sprinkler T2 is slightly more efficient.

Key words: Artisan sprinklers, Christiansen uniformity coefficient, Radial wetting profile, Discharge efficiency.

## I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Generalidades

La relación del recurso agua, la producción agrícola y la calidad de vida son directamente proporcionales para los agricultores de la zona sierra del Perú, porque el agua permite el buen crecimiento de los cultivos, más aún en los tiempos de estiaje, donde se reduce las aguas superficiales a medida que crece su demanda, por lo cual es fundamental para la producción y el ingreso económico de las poblaciones andinas. Sin embargo, la gestión y el manejo del recurso hídrico en la agricultura en la actualidad aún no se ha desarrolla por completo en las regiones andinas, debido a la ineficiencia en el uso del agua, respecto a la conducción, distribución y aplicación del agua en los cultivos.

La tecnología en la aplicación del agua en los cultivos en los últimos años se ha desarrollado altamente, permitiendo realizar este proceso de una forma eficiente y de este modo conservando el recurso vital, a través de los sistemas de riego presurizado tales como: riego por goteo y riego por aspersión, siendo la última adoptado por muchos agricultores de la zona sierra debido a su acceso económico, manejo e instalación.

El riego por aspersión se ha vuelto esencial en la agricultura y frente a estas realidades estamos obligados a innovar nuevos modelos de aspersores, es así que existen modelos de aspersores en grandes cantidades en el mercado, pero también existen aspersores artesanales que se encuentran en funcionamiento en las zonas rurales, estos aspersores son utilizados por las familias debido a su bajo costo fácil construcción , durabilidad y adaptabilidad, a presiones que son fáciles de obtener en la sierra debido al desnivel que existe entre los predios y las captaciones características de la topografía de la zona.

Es así que en la zona de Huacrachuco Marañón no es ajeno a ello pues desde hace tiempo se usan los aspersores artesanales (brazos giratorios), este tipo de aspersor es muy común encontrándose en los predios familiares el uso frecuente de riego en variedad de cultivos y pastos, pero su uso es de manera empírica sin saber adoptar las condiciones más óptimas de funcionamiento debido a que se desconoce las características principales de dichos aspersores como son la presión, caudal, radio

mojado y diámetro de boquillas. Debido a la poca información del método de riego por aspersión en el comportamiento hidráulico de aspersores artesanales (brazos giratorios) se plantea determinar la eficiencia del comportamiento de la distribución del agua de forma correcta. Además, que el coeficiente de uniformidad es el mejor indicador de la bondad del funcionamiento del aspersor y a partir de él se podrá obtener la eficiencia de aplicación que se utilizará para mejorar el riego.

Es así como se pretende diseñar, construir y contrastar el comportamiento hidráulico de dos tipos de aspersores artesanales (brazos giratorios) para conseguir que el riego por aspersión sea bueno y eficiente es necesario que algunos puntos sean bien estudiados y explicados, como son la presión de agua y el coeficiente de uniformidad.

## **1.2. Objetivo**

### **1.2.1. Objetivo general**

Contrastar el diseño geométrico y el comportamiento hidráulico de dos tipos de aspersores artesanales (brazos giratorios: T1, T2) en el fundo la Soledad - Huacrachuco – Marañón.

### **1.2.2. Objetivo específico**

- Realizar el diseño geométrico y la construcción de los aspersores artesanales de brazos giratorios (T1, T2).
- Determinar las características hidráulicas de los aspersores artesanales giratorios (T1, T2): altura de aspersor, caudales, presión de trabajo, radio de humedecimiento y diámetro de boquillas.
- Determinar el coeficiente de uniformidad de Christiansen para los aspersores (T1, T2).

## II. MARCO TEORICO

### 2.1. Antecedentes del Tema

En este capítulo se ha realizado un detallado resumen de la literatura científica escrita hasta la fecha sobre los aspersores artesanales, donde se destacarán sus características principales, permitiendo así al futuro lector de esta investigación tener una idea global sobre los fenómenos a estudio y comprender el porqué de la importancia de estudiar la contrastación de aspersores artesanales.

#### 2.1.1. Antecedentes internacionales

Chávez H, (2011), en la investigación titulado “Comportamiento hidráulico del aspersor artesanal para la distribución óptima del riego en regiones del valle”, tuvo como objetivo determinar el cálculo hidráulico del espesor artesanal para la optimización de micro riego. Método se diseñó geoméricamente el aspersor artesanal, Parámetros de evaluación que caracterizan la distribución del agua, Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CU), Coeficiente de distribución (UD), Eficiencia de descarga (ED) y Caudal emitido por los emisores .Resultados se observó que el aspersor ha mostrado un mejor comportamiento con una presión de trabajo de 0.5 bar, con 1 mm de diámetro de los emisores, un gasto de caudal de 600 l/h, con un coeficiente de uniformidad promedio de 83.5 % y una uniformidad de distribución de riego de 76.9%, el aspersor artesanal tiene un radio de riego entre 5 a 7 m. Conclusiones ;se concluyó que para el marco cuadrado (5 x 5m) de aspersión ha resultado ser la variable mejor en la uniformidad de riego con un promedio de 83.7 5% a una presión promedio de trabajo de 0.75 bar, con un 1 mm de diámetro de los emisores y un distanciamiento entre emisores de 2.5 cm.

Calderón Mayte & López Rodríguez, (2009), en su tesis titulado “Evaluación del sistema de riego por microaspersión artesanal fijo en el parque de ciencia Estelí mar, Estelí 2008”, cuyo objetivo: Contribuir al mejoramiento del sistema de riego por microaspersión artesanal fijo con múltiples salidas diámetro y presiones de acuerdo con las características edáficas del suelo. Método: se estableció en un diseño de bloques completamente al azar (B.C.A) con arreglo combinatorio bifactorial, con cuatro repeticiones con un Área total del experimento de = 1794m<sup>2</sup>, área de la parcela experimental de = 108m<sup>2</sup>, área de la parcela útil de = 72m<sup>2</sup>, espacio entre parcela

2m, los tratamientos se constituyeron combinando todos los niveles del factor A con todos los niveles del factor B; también calculándose el diámetro mojado, bulbo húmedo, presión de operación y gasto de agua. Resultados, el agua a los 10 di para el factor A (altura del terreno desde la fuente de abastecimiento de agua a la parcela a regarse) se aprecia que los mayores gastos se alcanzaron en el nivel a3 (10 m de altura del terreno) con 2.78 lt/mito con un orificio de botella de 1.5 mm, seguido el nivel a2 (6 m de altura del terreno) con 2.76 lt/mito con un orificio de botella de 1 mm y por último el nivel a1 (3 m de altura del terreno) con 2.02 lt/mito con un orificio de botella. Conclusiones: La presión en (m) mostró un efecto significativo en el factor A (altura del terreno desde la fuente de abastecimiento de agua a la parcela a regarse 3, 6,10 m), y el factor B (orificios aplicados en las botellas de 0.5, 1,1.5 mm) y la interacción de A\*B resulto un efecto no significativo .El efecto del gasto de agua (lt/mito) mostró un efecto significativo en el factor A (altura del terreno desde la fuente de abastecimiento de agua a la parcela a regarse 3, 6,10 m), y el factor B (orificios aplicados en las botellas de 0.5, 1,1.5 mm) y la interacción A\*B resulto un efecto no significativo.

Baltazar Poma & Chipana Mendoza (2016), en su tesis Estudio del comportamiento hidráulico relacionado a la uniformidad de aplicación mediante el método de riego por aspersión en la estación experimental de choquenaira; cuyos objetivos fueron determinar el comportamiento hidráulico de los aspersores en la unidad de riego por aspersión, Analizar los indicadores de uniformidad en el riego por aspersión, Evaluar el comportamiento de riego por aspersión relacionado a los principales indicadores de calidad. Donde el método Para evaluar el sistema de riego se tomó en cuenta varios factores tales como el diagnostico de campo y otros parámetros como son coeficiente de variación (CV), resultados la uniformidad de distribución referida al 25% del área menos regada (UD), el coeficiente de uniformidad (CU) de Christiansen. De los resultados el valor de 45,55 % de Eficiencia de aplicación, indica una eficiencia baja. Este valor indica que al menos  $\frac{3}{4}$  partes del cultivo ha recibido solamente de 45,55 % de agua aplicada. El sistema de aspersión que cuenta con un coeficiente de uniformidad de 75,4 % y se desea de área bien regada f de 85%se tendrá una eficiencia de 65,80 %, lo cual implica que para aplicar al menos una altura de 1 mm de agua en el 85 % del área regada con este método la altura media infiltrada debe ser  $1 \text{ mm} / 0,658 = 1,52 \text{ mm}$  por otro lado el

método de aspersión con un CU de 51,94 se obtiene como resultado de EDA 36,92 %, señala que se necesita aplicar una altura media de 2,71 mm de agua para conseguir al menos una altura neta de 1 mm en el 85 % del área regada. Por tanto, esto justifica que, a un menor CU, menor será la EDA, lo cual implica que para conseguir el mismo objetivo de 1 mm se necesita aproximadamente un 75 % más de agua con un CU de 51,94 que con uno del 75,25 %, provocando una mayor pérdida de agua. Conclusiones el viento, humedad, variación de presión y un diseño agronómico e hidráulico inadecuado ocasionan bajas uniformidades en la evaluación a consecuencia de la distribución impropia del reparto de agua es causa principal por la influencia de la presión. Un coeficiente de uniformidad:  $CU = 73.94 \%$ , implica que el 73.94% de la superficie regada recibió una aplicación de agua uniforme y una des uniformidad en la aplicación del agua de un 26.06 %, con relación a la media aplicada. En base a la evaluación hidráulica de la parcela implementada el método por aspersión presenta problemas de carácter técnico que han generado una baja uniformidad de distribución del reparto del agua el cual afecta directamente la baja producción del producto, por esta razón es necesario hacer correctivos que permitan una adecuada distribución y uso eficiente del agua de riego.

Marco Andrés Mena Zapata, (2014), Título: “Diseño de un sistema de riego parcelario para el sistema de riego Pastora Alomia, en el Cantón Montufar, parroquia La Paz, Provincia del Carchi.” Objetivo: Diseñar para el sistema Pastora Alomia, un sistema de riego presurizado parcelario semi fijo por aspersión que reúna las mejores condiciones técnico-económicas para su instalación y funcionamiento. Método Para realizar el diseño del sistema de riego parcelario de la acequia Pastora Alomia, se lo ha dividido en tres fases, la primera fase corresponde a la recolección de datos en campo, la segunda fase al diseño agronómico y la tercera fase al diseño hidráulico y para Calculo del riego a presión por cada módulo se ha ejecutado con el software EPANET, el software RG2008 y los diagramas de implantación del riego a presión para cada módulo. Resultados El caudal calculado con esta información establece que a la salida del rociador este debe ser de 3.0 l/s con lo cual se obtiene 14.3 m<sup>3</sup>/Hora, una presión de trabajo de tres atmosferas y una separación de 33 x 33 metros entre la línea terciara y la línea porta rociador, un área cubierta de 1521 m<sup>2</sup>. Conclusiones. en el diseño hidráulico de este Sistema: la implantación del reservorio modular con funcionamiento independiente y el riego por aspersión en reemplazo del de gravedad,

El acceso al agua de riego con mayor frecuencia- cada 10 días en el mejor caso para el riego en parcela – permitirá la diversificación productiva en torno del patrón de cultivos generalizado ya que aparecerán nuevas expectativas de 160 cultivos no tradicionales para una mayor seguridad alimentaria y la generación de ingresos por la venta de la producción.

### 2.1.2. Antecedentes nacionales

Ramírez I, (2018) , En su tesis de pregrado denominado “Diseño y caracterización de micro aspersores artesanales para riego en horticultura, en el centro de investigación y experimentación Cañasbamba – UNASAM”; consigue diseñar y construir dos tipos de micro aspersores artesanales a partir de materiales reciclables y/o fáciles de adquirir a bajo costo; así mismos consigue caracterizarlos, es decir determina la relación de caudal - presión, también la relación de radio de humedecimiento vs presión de trabajo, también se determina los coeficientes de uniformidad de Christiansen (CU) realizando solapamientos para cualquier marcos de riego en su forma: rectangular, cuadrada y triangular.

De la Cruz, (2015); en su tesis evaluación del coeficiente de uniformidad y eficiencia de aplicación en el sistema de riego por aspersión Pacuri -Socos – Ayacucho objetivos: Evaluar el coeficiente de uniformidad y determinar la eficiencia de aplicación del sistema de riego de Pacuri, bajo condición de operación. Verificar y analizar el planeamiento del sistema, el diseño agronómico e hidráulico, operación, mantenimiento y manejo del módulo de riego por aspersión. Método: Evaluación de la uniformidad y eficiencia de aplicación resultados: los resultados obtenidos en esta primera prueba son, uniformidad de la zona evaluada 75.15%, este valor es considerablemente aceptable, se tiene un 77.90% de uniformidad de instalación, se tiene un coeficiente de uniformidad de Christhiansen de 81.08%, eficiencia de aplicación de 35.21%, lamina promedio aplicada 10.51mm/h, paralelo a la lectura de la lámina de agua recogida en la primera prueba se fue colocando los pluviómetros en el sub sector 1, iniciándose la segunda prueba aproximadamente a la 10:20 am, esta prueba también tuvo una duración 90 minutos, culminando la misma a las 11 :50 am, en esta prueba se tuvieron los siguientes resultados, uniformidad de la zona evaluada 59.94%, uniformidad de instalación 62.14%,

coeficiente de uniformidad de Christiansen de 80.75%, eficiencia de aplicación 57.52% y una lámina aplicada de 10.21 mm/h. Conclusiones: El empleo del sistema de riego presurizado por aspersión es favorable para las condiciones geográficas que la sierra ofrece, manifestando mayor uniformidad en aquellas zonas donde la presencia del viento no es muy fuerte, no recomendándose su empleo entre las 15:00 a 17:00 horas, donde el viento manifiesta fuertes alteraciones. Teniendo en cuenta estas consideraciones las pruebas que se realizaron en horas de la mañana aproximadamente a las 9 de la mañana, en ausencias de los vientos, los valores hallados se encuentran dentro del rango aceptable; en el sub sector I se tiene una uniformidad de la zona evaluada entre 78.49% a 81.88%, uniformidad de instalación de 55.03% a 77.9%, una eficiencia de aplicación de 35.21% a 44.64% y un coeficiente de uniformidad de Christiansen de 78.49% a 81.88%, mientras que en el sub sector II se tiene una uniformidad de la zona evaluada entre 58.63% a 80.75%, uniformidad de instalación de 60.77% a 63.00%, una eficiencia de aplicación de 51.81% a 57.52% y un coeficiente de uniformidad de Christiansen de 78.90% a 80.75%.

López Rivera, (2018), Título: Limitaciones del riego artesanal y diseño de un sistema de riego por aspersión en el fundo Tauca-Tarma. Objetivo: Analizar la influencia de las limitaciones de riego artesanal en el diseño de un sistema de riego por aspersión en el fundo Tauca – Tarma. Método: Diseño de un sistema de riego por aspersión se tuvieron en cuenta el levantamiento topográfico, costos de inversión por hectárea, costo real del agua, tipo de cultivo, tipos de suelos y presiones disponible Y Para el diseño hidráulico del sistema de riego se empleó el caudal de diseño, elección del aspersor, diseño de la línea de riego móvil, cálculo de la distancia entre aspersores. Resultados: Requerimiento de riego máximo es de 21 l/s considerando para el diseño hidráulico según el método donde el caudal de diseño de 21.22 l/s en 12 horas, por lo tanto, para el diseño hidráulico se está considerando 21 l/s en 12 horas de riego se busca seleccionar un aspersor que tenga un caudal igual o superior a 0.26 litros/segundo, para el riego por aspersión funcionando simultáneamente 48 aspersores regaran un área de 1.08 hectáreas en un tiempo de 2 horas por posición con un caudal de 20.67 l/seg ; por lo cual se realizará 6 posiciones de riego por día, abarcando un área de 6.48 hectáreas en un día. El riego en 1 hectárea con 40 aspersores funcionando simultáneamente, con los componentes: tubería PVC

diámetro 5", Canal matriz, tubería PVC diámetro 3", red primaria, tubería PVC diámetro 2" lateral. Conclusiones: Con el diseño de un sistema de riego por aspersión en el Fundo Tauca se mejorará las limitaciones del riego artesanal conociendo la demanda del caudal de 25 l/seg. del canal de Yanam. Según el diseño hidráulico funcionando simultáneamente con 48 aspersores regaran un área de 1.08 hectáreas en un tiempo de 2 horas por posición con un caudal de 20.67 l/seg, por lo cual se realizará 6 posiciones de riego por día, abarcando un área de 6.48 hectáreas en un día de 12 horas y los componentes de la red matriz y distribución son propuestos de tubería PVC – C-7.5, de diámetros 5",3",2",1 1/2", manguera HDPE de 1" y aspersores costa RC-130.

## 2.2. Revisión Bibliográfica

### 2.2.1. Irrigación

La práctica del riego de los cultivos data desde hace más de 5,000 años, las primeras civilizaciones pudieron observar que para el crecimiento de las plantas los elementos básicos eran el suelo, el agua, los nutrientes y el sol (energía), desde esa época el uso del riego se fue introduciendo, extendiendo y perfeccionando en todas partes del mundo, hasta llegar a la actualidad (Vásquez et al., 2017, p. 9).

El agua es un requisito primordial para todos los aspectos de la vida, es imperativo asegurarse de que se mantengan suministros adecuados de agua de buena calidad para todas las necesidades de toda la población, como consumo humano, irrigación, centrales hidroeléctricas entre otros. El uso inteligente del agua en el riego requiere una correcta comprensión de las condiciones en las que existe el agua en el suelo y de las fuerzas que controlan su distribución como el agua higroscópica, agua capilar y agua por gravedad.

Centro de desastres control y prevención (2018), menciona que el riego es la aplicación artificial de agua al suelo a través de varios sistemas de tubos, bombas y aerosoles; el riego se usa generalmente en áreas donde las lluvias son irregulares o en épocas de sequía y hay muchos tipos de sistemas de riego, en los que el agua se suministra a todo el campo de manera uniforme, las fuentes para el agua de riego puede provenir de manantiales o pozos, agua superficial, a través de ríos, lagos o embalses, o incluso de otras fuentes, como aguas residuales tratadas o agua

desalinizada, como resultado, es fundamental que los agricultores protejan su fuente de agua agrícola para minimizar el potencial de contaminación.

## 2.2.2. Métodos de riego

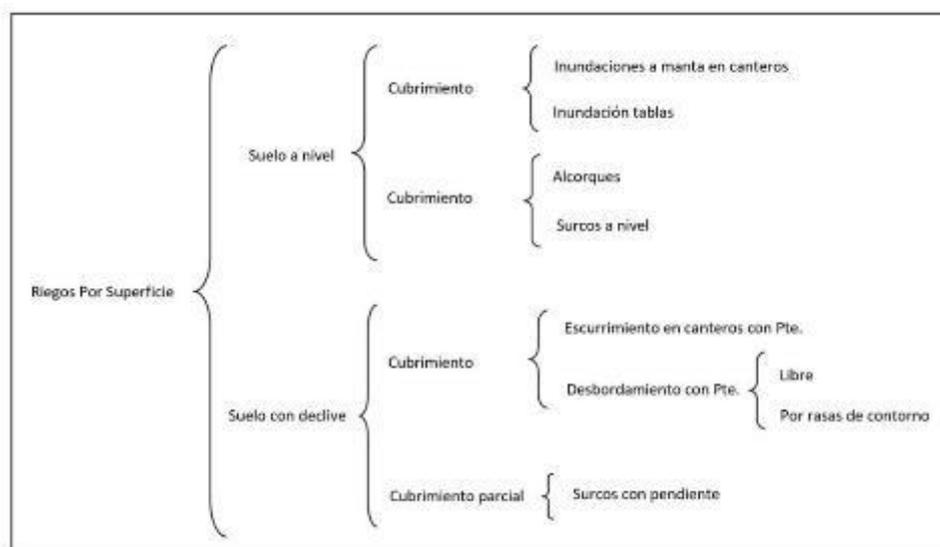
La clasificación más común de los métodos de riego se establece de acuerdo con la forma como el agua es esparcida o distribuida sobre el suelo, dependiendo de las características topográficas, los tipos de cultivo, la disponibilidad del recurso hídrico, los costos y la posibilidad de acceder a tecnologías con altos requerimientos de inversión, entre otros factores.

### a. Métodos Superficiales

En esta modalidad de riego el agua penetra desde la superficie y se repone a intervalos de tiempo, generalmente de varios días, toda vez que la lámina de agua consumida alcanza un espesor adecuado para su manejo eficiente. De esta forma el agua penetra en el suelo a medida que escurre sobre el terreno.

**Figura 1.**

*Riego por superficie*



Nota: En esta figura se muestra la clasificación del riego por superficie, obtenida de la fuente: Lamo Jimenez, sn.

### b. Método por surcos

En esta modalidad, el perímetro mojado es generalmente inferior al espacio que existe entre los surcos; por lo tanto, el área neta de infiltración es inferior al

producto del espacio por la longitud del surco. En terrenos de relieve plano o de pendiente uniforme se trazan surcos rectos; mientras que, en terrenos ondulados, los surcos deben seguir un recorrido que se aproxima a las curvas de nivel: surcos en contorno o surcos en curvas de nivel.

**Figura 2.**

*Riego por surco*



Nota: En esta figura se observa cómo se da el riego por surco, obtenido de la fuente: Lamo Jimenez, sn.

*c. Método por Inundación*

Llamado también por desborde o anegamiento, consiste en dejar escurrir el agua desde canales, los cuales son trazados por los sectores más altos de los potreros. En el riego por inundación el suelo se humedece al tiempo que el agua cubre la superficie en una delgada lamina. Dicha inundación puede ser natural cuando se aprovecha la elevación del nivel de los ríos (Lamo Jimenez, sn).

**Figura 3.**

*Método por inundación*



Nota: En esta figura se observa el riego por inundación, obtenida de la fuente: Lamo Jimenez, sn.

*d. Riego por aspersión*

El riego por aspersión consiste en aplicar agua al cultivo en forma de llovizna. Con este método se alcanzan eficiencias de aplicación entre 80 y 85% pero se requiere una alta inversión inicial de capital en los sistemas de distribución y aplicación más el costo de la mano de obra y el mantenimiento de los equipos. En este método de riego es importante suministrar la cantidad precisa de agua que requiere la motobomba y bifurcar las líneas laterales para balancear las presiones de los aspersores. (Cenicaña, 2015)

**Figura 4.**

*Riego por aspersión*



Nota: Se observa en esta figura el riego por aspersión, extraída de la fuente: Cenicaña, 2015.

### 2.2.3. Clasificación de los aspersores

Fernández Gómez et al, (2010); indica que los diferentes tipos de aspersores pueden agruparse de acuerdo con diferentes aspectos.

#### 2.2.3.1. Según el mecanismo de giro se clasifican en:

##### a. *Aspersores de impacto*

Son los más utilizados en agricultura. El giro se consigue mediante el impulso del chorro del agua sobre un brazo oscilante que se desplaza y vuelve a su posición inicial gracias a un muelle recuperador. Cuando el brazo vuelve a su posición original, golpea el cuerpo del aspersor provocando un ligero giro de este. La velocidad de giro es relativamente pequeña, por lo que se les considera aspersores de giro lento.

Los aspersores de impacto pueden disponer de una o varias boquillas, una de las cuales, denominada boquilla motriz, produce el chorro que impacta sobre el brazo móvil. El material utilizado en su construcción es latón o bronce, aunque también se fabrican de plástico de alta resistencia al desgaste por rozamiento, (Fernández Gómez et al, 2010).

#### Figura 5.

*Aspersor de impacto típico*



Nota: La figura muestra el aspersor de impacto, extraída de la fuente: VYRSA.com.

*b. Aspersores de turbina o engranaje*

Su giro es continuo empleando la presión del agua a su paso por un mecanismo de engranajes que va unido al cuerpo del aspersor. En general son aspersores de gran tamaño que trabajan con altas presiones y suministran caudales elevados. Su uso está bastante limitado en agricultura, estando más difundidos en jardinería, (Fernández Gómez et al, 2010).

**Figura 6.**

*Aspersor de turbina*



Nota: Se muestra en esta figura el aspersor de turbina, extraída de la fuente: VYRSA.com.

*c. Aspersores rotativos o de reacción*

Poseen una o varias boquillas orientadas de forma que la reacción al cambio de dirección del movimiento del agua produce la rotación del aspersor. Su uso es muy frecuente en jardinería, horticultura, viveros, etc. pero no son utilizados en agricultura extensiva.

**Figura 7.**

*Aspersor de reacción (3 Brazos Con 968V).*



Nota: Esta figura muestra el, obtenida de la fuente: ferreidea.com.

#### **2.2.3.2. Según el área mojada se clasifican en:**

*a. Aspersores circulares*

Son aquellos que mojan una superficie de terreno de forma circular. Son de este tipo los que se colocan en el interior de la parcela a regar

*b. Aspersores sectoriales*

Son aquellos que tienen la opción de girar sólo en un sector circular en lugar de realizar el círculo completo. Están indicados especialmente en los bordes de las parcelas donde es preciso regar esquinas y laterales.

#### **2.2.3.3. Según la presión de trabajo se clasifican en:**

Según (Fernández Gómez et al, 2010); menciona que la presión de trabajo se clasifica en:

*a. Baja presión*

Los más usuales son los de impacto, que suelen trabajar a presiones menores de 2.5 kg/cm<sup>2</sup>. Por lo general tienen una sola boquilla de un diámetro de salida inferior a 4 milímetros, y generan un caudal inferior a 1.000 litros/hora. Suelen utilizarse en jardinería y para riegos de hortalizas, siendo también eficaces para

riego de frutales donde se usan aspersores con un reducido ángulo de salida para no mojar la copa de los árboles.

*b. Media presión*

Son aspersores que trabajan a una presión comprendida entre 2.5 y 4 kg/cm<sup>2</sup>. Suelen llevar una o dos boquillas con un diámetro comprendido entre 4 y 7 milímetros, pudiendo suministrar caudales entre 1.000 y 6.000 litros/hora.

*c. Alta presión*

Son aspersores cuya presión de funcionamiento es superior a los 4 kg/cm<sup>2</sup>. Suelen ser de gran tamaño, más conocidos como “cañones”, y pueden tener una, dos o tres boquillas. El caudal del aspersor puede variar entre 6.000 y 40.000 litros/hora, aunque los grandes cañones pueden llegar a los 200.000 litros/hora.

#### **2.2.4. Marco de riego**

Tarjuelo (1999); Menciona que determina las interacciones o solapes entre los modelos de distribución de agua de los aspersores contiguos para lograr una buena uniformidad de reparto de agua, también señala que el espaciamiento entre aspersores es uno de los aspectos fundamentales en el diseño del sistema.

Herman y Kohl (1980 citado en Tarjuelo, 1999); indican, según recomendaciones de Strong (1961), separaciones de 60 % del diámetro efectivo del aspersor para marcos cuadrados o en triangular y el 40% y 75% para marcos rectangulares, en condiciones de viento poco intensos (menores a 2m/s). Este espaciamiento debe reducirse según la velocidad del viento.

**Tabla 1.**

*Porcentaje de reducción según velocidad de viento*

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

Nota: La tabla muestra Porcentaje de reducción según velocidad de viento, obtenida por la fuente: Herman y Kohl (1980 citado en Tarjuelo, 1999).

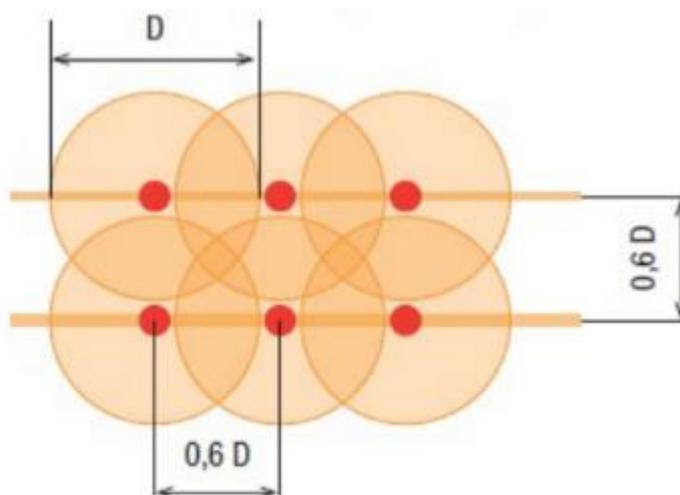
Fernández et al. (2010), para lograr una mayor uniformidad de aplicación de la lluvia provocada por los aspersores es necesario que exista un solape de las superficies regadas por los aspersores cercanos entre sí. Por esta razón, la elección del marco de riego es fundamental.

Los marcos de riego más habituales son: marco cuadrado o real, en rectángulo y en triángulo o tresbolillo.

En disposiciones o marcos en cuadrado y triangular (tresbolillo), la separación entre los aspersores y ramales de aspersión debe ser el 60% del diámetro mojado.

**Figura 8.**

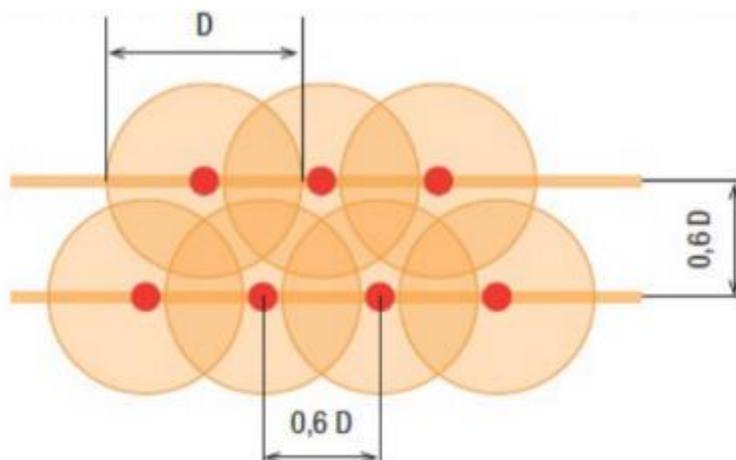
*Separación recomendada entre aspersores y ramales en marco cuadrado.*



Nota: En esta figura se observa la separación recomendada entre aspersores y ramales de aspersión en marco cuadrado, se obtuvo de la fuente: Fundación Intercoop p.9.

**Figura 9.**

*Separación recomendada entre aspersores y ramales de aspersión en marco triangular.*

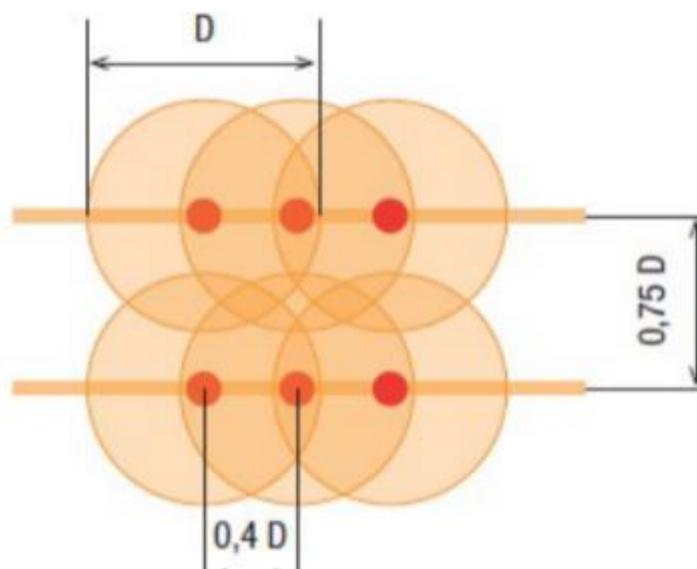


Nota: En esta figura se observa la separación recomendada entre aspersores y ramales de aspersión en marco triangular, se obtuvo de la fuente: Fundación Intercoop p.9.

En disposiciones o marcos rectangulares: la separación entre ramales debe ser el 75% del diámetro mojado y el 40% del diámetro entre aspersores de un ramales.

**Figura 10.**

*Separación recomendada entre aspersores y ramales de aspersión en marco rectangular*



Nota: En esta figura se observa la separación recomendada entre aspersores y ramales de aspersión en marco rectangular, se obtuvo de la fuente: Fundación Intercoop p.9.

### 2.2.5. Distribución del agua en el riego

Fernández et al. (2010); El proceso de distribución del agua aplicada por cada aspersor no es uniforme en toda la superficie regada por él, sino que la cantidad de agua que cae en cada sitio varía en función de la distancia al aspersor. En general, la zona más próxima al aspersor recibe más cantidad de agua, disminuyendo a medida que aumenta la distancia.

Cada tipo de aspersor origina una distribución del agua que depende principalmente del tamaño de la boquilla, de la dispersión del chorro del agua, de la presión de trabajo y de las condiciones de viento.

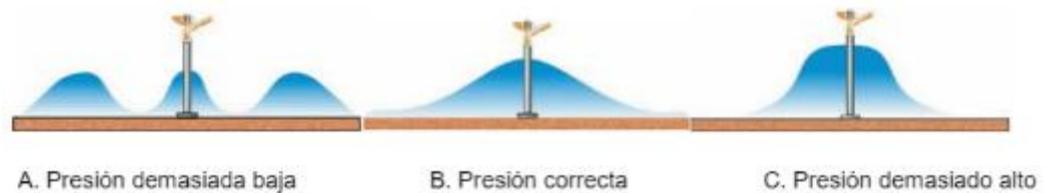
La presión afecta de tal manera que cuando es demasiado baja, las gotas son demasiados grandes y la distribución es muy poco uniforme. Cuando la presión es demasiado alta, el agua se pulveriza en gotas muy finas y caen muy cerca del aspersor.

El viento es uno de los principales elementos que distorsiona el perfil de distribución del aspersor, de tal forma que a mayor velocidad del viento mayor distorsión del chorro de agua. Por ello es muy útil conocer los vientos dominantes de la zona a la hora de seleccionar el marco de riego (distancia que existe entre dos aspersores contiguos del mismo ramal de aspersión y entre dos ramales).

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

**Figura 11.**

*Efecto de la presión del agua en el aspersor en la distribución de la lluvia generada.*



Nota: La figura muestra cómo se da el efecto de la presión del agua en el aspersor para la distribución de lluvia generada, obtenida de la fuente: Fernández et al. (2010).

## 2.2.6. Curva radial de los aspersores

Stambouli T. et al (2014); El conocimiento del patrón de distribución de agua a lo largo del radio mojado de los aspersores es crucial para caracterizar la distribución y uniformidad de las coberturas de riego por aspersión. En condiciones de viento en calma esta distribución es circular e igual en todas las direcciones alrededor del aspersor. La evaluación de la descarga de agua del aspersor (mm/h) en función de la distancia al aspersor se denomina curva radial del aspersor.

### 2.2.6.1. Coeficiente de uniformidad

Si no existe un buen traslape se producirá un mojado disparejo del terreno, con lo cual disminuirá la eficiencia del riego. Una metodología usada para determinar la eficiencia del método de riego es a través del llamado Coeficiente de Uniformidad (CU) o Coeficiente de Christiansen. Este coeficiente se calcula a partir de la siguiente expresión:

Ecuación 1. *Coeficiente de uniformidad*

$$CU = 100 * \left[ 1 - \frac{\sum Abs(X - \bar{X})}{n * \bar{X}} \right] \quad (1)$$

Donde:

Abs (): valor absoluto de lo contenido en el paréntesis.

X: Volumen de agua medida en los pluviómetros

$\bar{X}$ : Volumen promedio del agua medida

n: Número de observaciones realizadas

Tarjuelo (1999); Menciona, para la determinación del Coeficiente de Uniformidad de Christiansen y otros parámetros que caracterizan el reparto de agua en la superficie, se necesita conocer la pluviometría recogida en una red de pluviómetros bajo el campo de acción del aspersor. [...] La mayor parte de los riegos agrícolas requieren un valor de coeficiente de uniformidad de Christiansen CU= 80% para considerar aceptable. Valores bajos de CU son indicadores normalmente de una incorrecta combinación del número y tamaño de boquillas, presión de trabajo y marco de riego.

a. *Caudal.*

Fernández et al. (2010) Se define el caudal como la cantidad de agua que pasa por una conducción o tubería en un tiempo determinado. Los caudales se miden principalmente en las siguientes unidades: litros/segundos(L/s), litros/hora (L/h), metros cúbicos/hora (m<sup>3</sup>/h). La medida del caudal del aspersor se evaluará con ayuda de un cronómetro y un recipiente de plástico en el que se habrá marcado un volumen conocido (10 – 20 litros). Se anotará el tiempo (en segundos) que el bidón tarda en llenarse hasta la marca realizada y se calculará con la siguiente formula

Ecuación 2. *Caudal*

$$Q_{ma} = \frac{V_r}{T_r} \times 3600 \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

$Q_{ma}$  : Caudal del aspersor (litros/minuto)

$V_r$  : Volumen de llenado del recipiente (litros)

$T_r$  : Tiempo en llenar el recipiente (segundos)

*b. Presión*

Fernández et al. (2010); La presión se puede definir como la fuerza ejercida sobre una superficie determinada. En referencia al agua que circula en una tubería, la presión es la fuerza que ejerce el agua sobre las paredes de ésta y los distintos elementos que componen el sistema. válvulas, reguladores, etc.) y hacer funcionar correctamente los emisores (en riego por aspersión los aspersores); La presión suele medirse utilizando manómetros. Las principales unidades en que se mide la presión del agua en una conducción o tubería son las siguientes: Atmósferas (atm), Kilogramos/centímetro cuadrado (kg/cm<sup>2</sup>), Metros de columna de agua (m.c.a.).

*c. Diámetro de humedecimiento.*

El Regante, (2014) esta web menciona que, en difusores y micro aspersores, el valor de diámetro puede obtenerse a partir de mediciones experimentales o en su defecto según la ecuación de radio contra presión de trabajo del emisor

Ecuación 3. Diámetro de humedecimiento

$$R = CP^m \quad (3)$$

Donde:

$R$  : Radio de alcance medio del emisor para la presión de trabajo (m.)

$C$  : Coeficiente de la ecuación empírica

$P$  : Altura de presión hidráulica a la boquilla

$m$  : Exponente de ecuación empírica

d. *Curva característica del caudal emitido de los aspersores*

Tarjuelo (1991), menciona que son curvas que representan la relación entre el caudal que descarga el emisor y la presión existente en la entrada del mismo, adjudicándose a una ecuación del tipo:

Ecuación 4. *Curva característica del caudal emitido de los aspersores*

$$Q = KP^X \quad (4)$$

Donde:

$Q$ : Caudal emitido

$K$ : Coeficiente de descarga característico del emisor (representa caudal bajo carga unitaria)

$P$ : Altura de presión hidráulica a la boquilla

$X$ : Exponente de descarga característico del aspersor

e. *lámina recogida en los pluviómetros*

La lámina de agua recogida en los pluviómetros se calculará mediante la expresión:

Ecuación 5. *lámina recogida en los vasos*

$$L_{rv} = \frac{V_m}{A_a} \times 10 \dots\dots\dots (5)$$

Donde:

$L_{rv}$  : Lámina de agua recogida en los pluviómetros (mm)

$V_m$  : Volumen medio recogido (cm<sup>3</sup>)

$A_a$  : Área de la embocadura de los pluviómetros (cm<sup>2</sup>)

*f. Influencia del tamaño de las gotas de agua.*

Santos et al. (2010), mencionan que un aspersor produce normalmente una amplia gama de tamaños de gotas; generalmente, de 0,5 a 4 mm de diámetro. Las gotas de diámetro inferior caen cerca del aspersor. Las gotas de grandes dimensiones pueden dañar sembríos en periodo de germinación, flores, frutos o hasta las hojas de cultivos delicados, y destruyen la estructura superficial de los suelos que tengan estructura frágil, provocando la formación de costra y reduciendo la tasa de infiltración. En tales casos, deben utilizarse, solo aspersores que produzcan gotas pequeñas que minimicen estos problemas. El tamaño de las gotas puede ser controlado mediante la relación entre el diámetro de la boquilla y la presión de funcionamiento.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Tipo de Investigación**

Es del tipo aplicada, ya que pone en práctica los conocimientos teóricos adquiridos, con el propósito de dar solución a situaciones o problemas concretas.

#### **3.2. Descripción de la Zona de Estudio**

El trabajo se realizó en el fundo La Soledad, distrito de Huacrachuco, provincia de Marañón en la región Huánuco, localizado en las coordenadas geográficas: latitud 8°35'47.12"S, longitud 77° 9'16.63"O, altitud 2861 m s.n.m; el clima es templado.

#### **3.3. Materiales**

##### **3.3.1. Características Generales del Proyecto**

##### **3.3.2. Ubicación.**

- Departamento : Huánuco
- Provincia : Marañón
- Distrito : Huacrachuco
- Lugar : Fundo la Soledad

### **3.3.3. Materiales para la construcción de los aspersores artesanales T1 y T2.**

- Tubería (½” SAP)
- Tubería (¾” SAP)
- Tee de ½”
- Adaptador roscado de ½”
- Tapón hembra de ½”
- Reducción de ¾” a ½”
- Picos de botella plástica (rosca y tapa)
- Pegamento PVC
- vela
- Fósforo
- Taladro con brocas de 1, 1.5 y 2 mm
- Lija
- Marcador

### **3.3.4. Materiales para caracterizar los aspersores**

- Manguera
- Adaptador
- Válvula de control de ½”
- Recipiente de 10 litros
- Recipiente 500 ml (pluviómetros)
- Cinta métrica 10 m

- Baldes
- Estacas
- Probetas de 100 ml
- Lapiceros
- Libreta de campo
- Alicata
- Wincha
- Cordel
- Pico

### **3.3.5. Equipos:**

- Cámara fotográfica
- Calculadora
- Cronómetro
- Computadora con entorno Windows 10.
- Manómetro
- Anemómetro digital

### **3.3.6. Software**

- Microsoft office
- Microsoft office Excel
- Auto CAD Civil 3D 2016.

### 3.4. Métodos

La presente investigación se desarrolló en tres etapas, diseño geométrico y construcción de los aspersores artesanales T1 T2, prueba en campo y trabajo en gabinete con los datos obtenidos.

#### 3.4.1. Diseño y construcción de los aspersores artesanales T1 y T2.

##### *Construcción de Aspersor con brazos giratorio*

Se realizó la construcción de los dos tipos de aspersores artesanales (brazos giratorios: T1, T2) en base a los existentes en la zona de estudio, detallando la construcción paso a paso a continuación.

##### *Construcción de los brazos del aspersor T1*

#### **Figura 12.**

*Dos Tuberías PVC de ½”.*

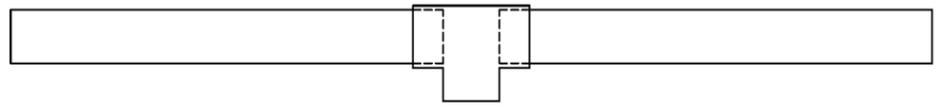


Elaboración propia.

Comenzamos cortando dos pedazos iguales de tubería PVC de ½” con longitud de 22 cm.

**Figura 13.**

*Unión de las Tuberías PVC de ½" a la tee.*



Elaboración propia.

Luego unimos estos dos pedazos de tubería con pegamento para PVC, a la tee de ½" .

**Figura 14.**

*Unión de los tapones hembra a las tuberías PVC de ½" .*

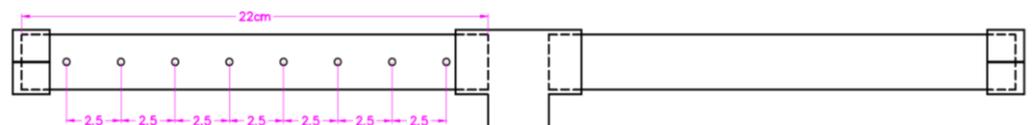


Elaboración propia.

Luego pegamos con pegamento para PVC, ambos extremos de los brazos con tapón hembra PVC de ½"

**Figura 15.**

*Perforación de los emisores en cada extremo del brazo de giro*



Elaboración propia.

Paso seguido realizamos la perforación de los emisores con ayuda de un taladro y sus brocas. La selección del diámetro de las emisores o boquillas obedece a que estos aspersores artesanales de brazos giratorios T1 y T2 estan clasificados según la presión de trabajo como de baja presión por que trabajan con presiones menores a 2.5 bar; según (Fernández Gómez et al, 2010) en el Manual de Riego para Agricultores Módulo 3: Riego por Aspersión; en consecuencia, menciona que los diámetros de salida de los emisores deben de ser inferiores a 4 mm. Además, que este tipo de aspersor artesanal al estar clasificado como aspersor rotativo o de reacción y al inspeccionar modelos de aspersores de este tipo de clasificación encontré que en el mercado hay muchos modelos en los cuales hacen el uso de diámetro de emisores de 1.5 mm como el aspersor (Aspersor Giratorio 3 Brazos 968V). Por estos motivos me propuse en diseñar los aspersores artesanales de brazos giratorios T1 y T2 con diámetro de emisores de 1,1.5 y 2 mm respectivamente.

El distanciamiento entre emisores para el aspersor T1 fue de 2.5 cm y cada brazo del aspersor (T1) tendrá 8 emisores, las perforaciones se realizarán tal y como se muestra en la imagen al lado izquierdo mirando de frente y al lado derecho en la parte posterior mirando hacia atrás en sentido opuesto.

#### *Construcción de los brazos del aspersor T2*

**Figura 16.**

*Tubería PVC de ½"*

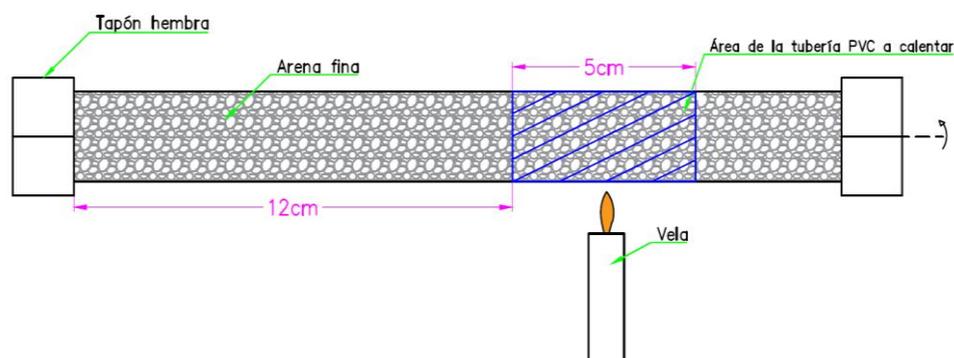


Elaboración propia.

Primero: cortamos dos pedazos iguales de tubería PVC de  $\frac{1}{2}$ " con longitud de 21 cm.

**Figura 17.**

*Calentado del brazo de la tubería.*

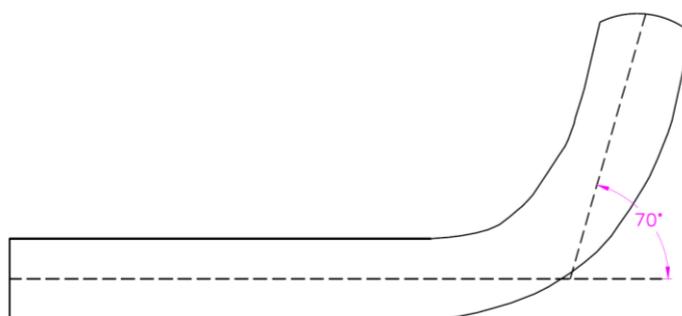


Elaboración propia.

Luego procedemos a tapar provisionalmente un extremo de cada tubo con un tapón hembra, luego rellenos los tubos con arena fina, y tapamos los otros extremos de igual forma con el tapón hembra. para evitar que una vez calentado al doblar el tubo, este quede aplastado o achatado, y de esta manera trate de conservar su diámetro interior original, se procede calentando con ayuda de una vela toda la parte del área marcada, calentamos girando uniformemente el tubo hasta que esté este completamente maleable.

**Figura 18.**

*Brazo del aspersor doblado.*



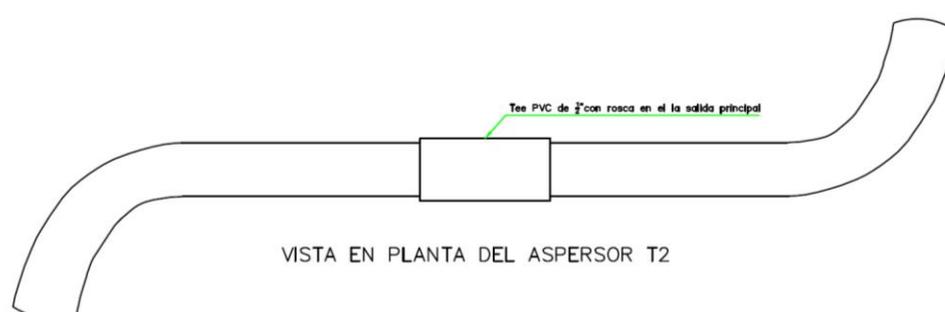
Elaboración propia.

Luego procedemos a realizar el doblado del tubo PVC de ½” teniendo en cuenta que dicho ángulo que forma el eje horizontal del tubo con el nuevo eje doblado debe tener aproximadamente entre 65 a 70 grados. De igual manera se realiza para el otro extremo del brazo.

El ángulo de curvatura que se estableció fue debido a que este tipo de aspersores de brazos giratorios están clasificados según su mecanismo de giro por (reacción) donde el ángulo de inclinación del orificio de salida es el que depende para que inicie el movimiento del aspersor. En consecuencia, al elegir ángulos menores de 60 grados harían que el aspersor comience su movimiento de manera más lenta y la velocidad de giro sea menor según indica (Fernández Gómez et al, 2010) en el Manual de Riego para Agricultores Módulo 3: Riego por Aspersión.

**Figura 19.**

*Unión de los Brazos a la tee.*

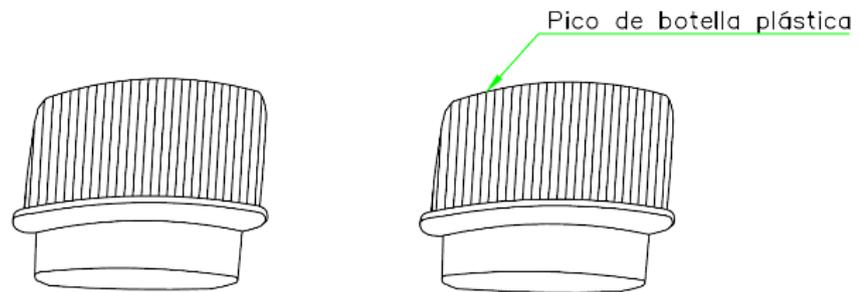


Elaboración propia.

Luego procedemos a pegar ambos extremos de los tubos ya doblados a la Tee PVC de ½” con rosca en la salida principal. Tal como se muestra en la figura.

**Figura 20.**

*Picos de botella plástica.*

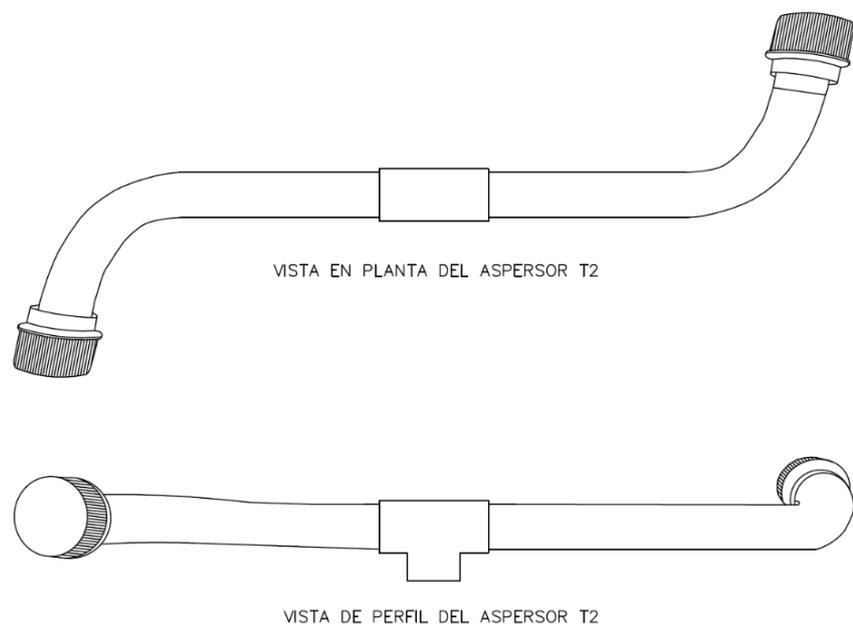


Elaboración propia.

Luego procedemos a cortar dos picos de botella plástica.

**Figura 21.**

*Pegado de los picos de botella a los extremos de los brazos del aspersor.*

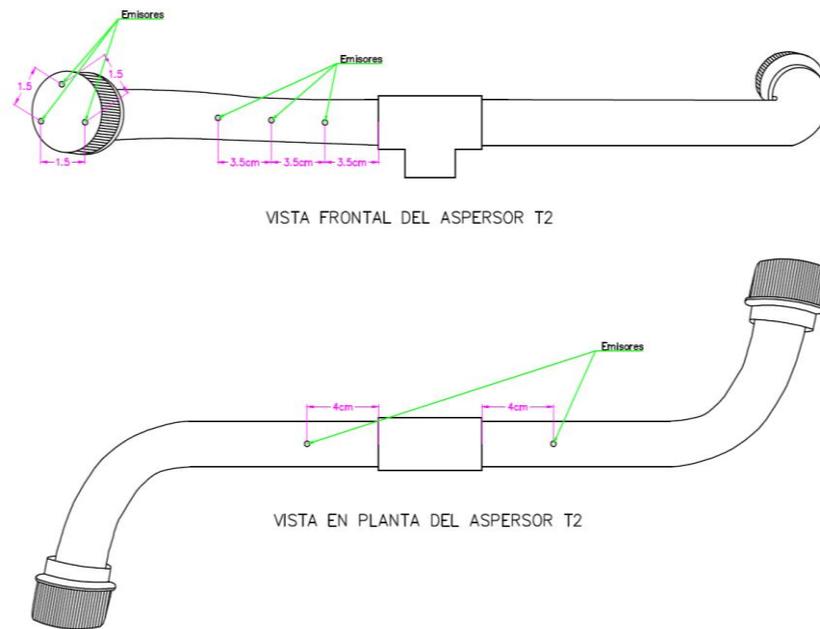


Elaboración propia.

Paso seguido se procede a pegar los dos picos de botella a los extremos de los brazos del aspersor, usando pegamento para tubos PVC.

**Figura 22.**

*Perforación de los diámetros de los emisores.*



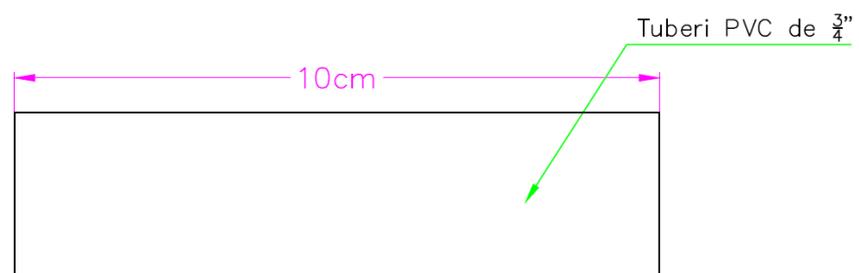
Elaboración propia.

Luego se procede a perforar los diámetros de los emisores con ayuda de un taladro brocas de diámetros (1, 1.5 y 2 mm) de acuerdo sea el caso emisores.

- 3) Construcción del cuerpo de giro de los aspersores T1 y T2.

**Figura 23.**

*Tubería de  $\frac{3}{4}$ '' PVC cortados a 10 cm.*

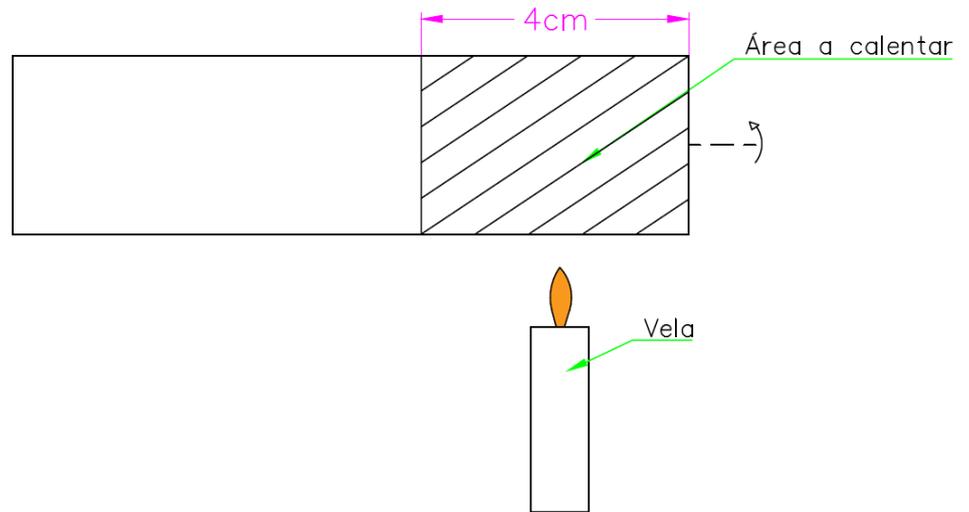


Elaboración propia.

le calentamos uniformemente un extremo.

**Figura 24.**

*Calentado de la tubería de  $\frac{3}{4}$ ".*

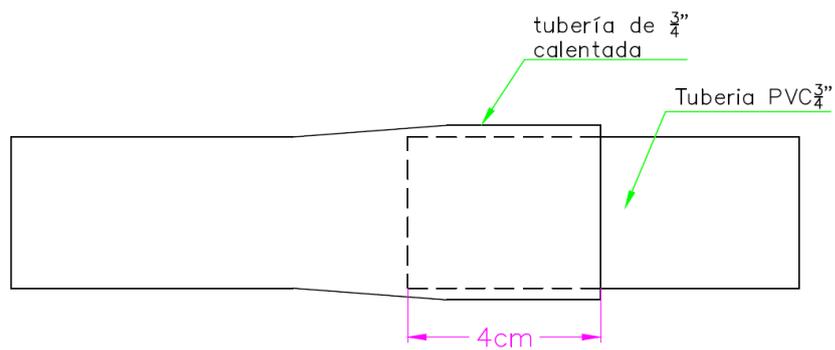


Elaboración propia.

Luego calentamos un extremo de la tubería PVC  $\frac{3}{4}$ " rotando constantemente para que se caliente el área uniformemente, tal y como se muestra en la figura.

**Figura 25.**

*Ensanchado de la tubería de  $\frac{3}{4}$ ".*



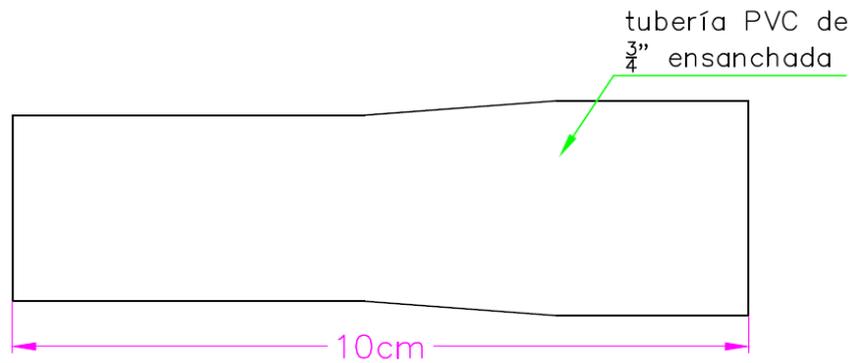
Elaboración propia.

Una vez que el área calentada está completamente maleable se procede a introducir otro pedazo de tubo PVC  $\frac{3}{4}$ " en el tubo calentado, se introduce una

profundidad aproximada de 4 centímetros, para así lograr ensanchar la parte del tubo PVC  $\frac{3}{4}$ " calentada.

**Figura 26.**

*Tubería de  $\frac{3}{4}$ " ensanchada.*

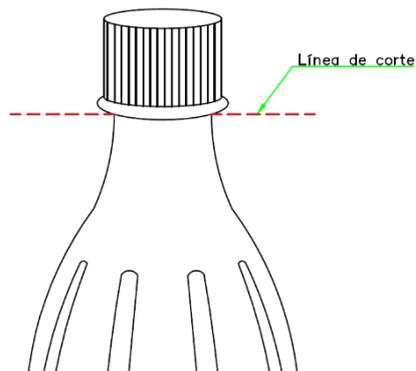


Elaboración propia.

Luego se retira la tubería de  $\frac{3}{4}$ " que está dentro de la tubería de  $\frac{3}{4}$ " calentada y queda tal y como se aprecia en la figura.

**Figura 27.**

*Corte del Pico de la botella plástica.*

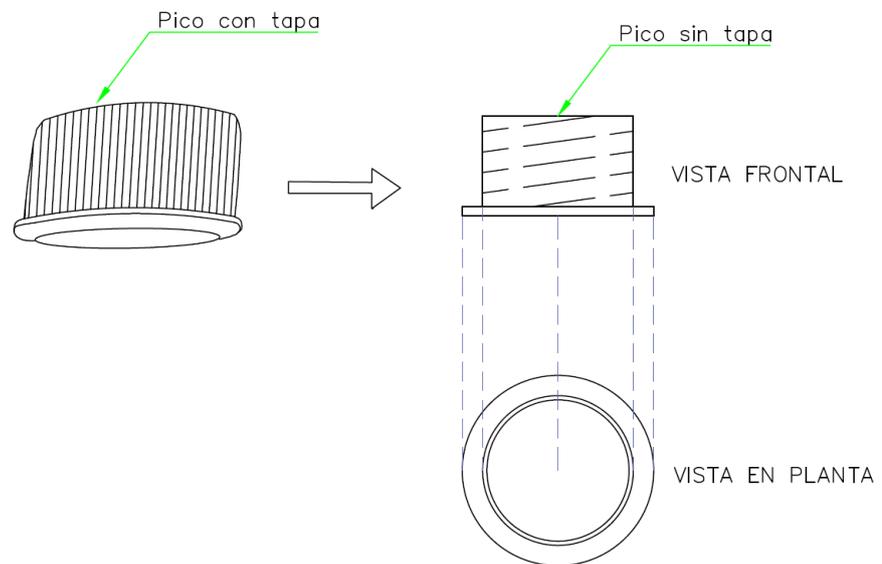


Elaboración propia.

Luego procedemos a cortar el pico de una botella plástica, tal y como se muestra en la figura.

**Figura 28.**

*Rosca del pico de botella.*

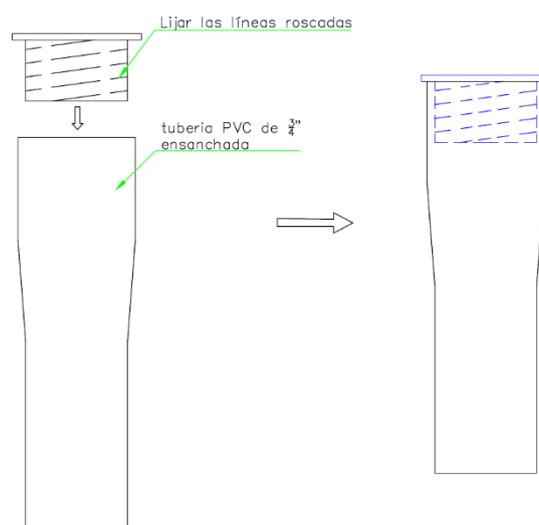


Elaboración propia.

Luego le quitamos la tapa y nos queda tal y como se aprecia en la figura.

**Figura 29.**

*Lijado de la rosca.*

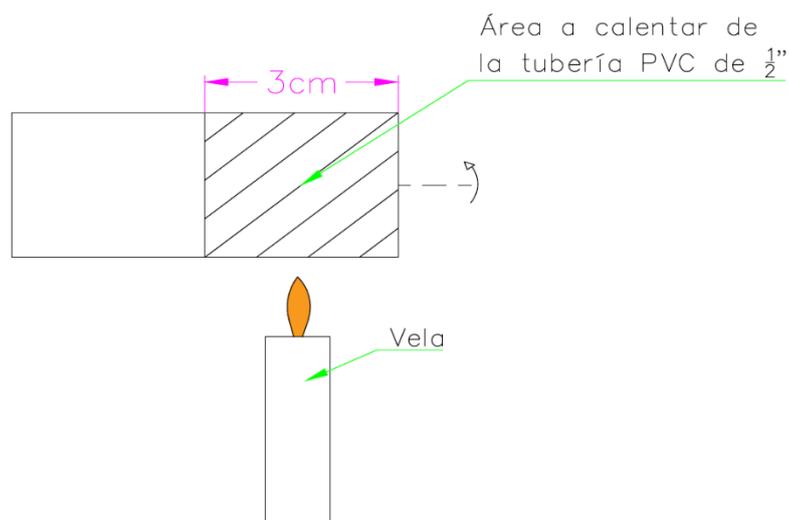


Elaboración propia.

Paso seguido procedemos a lijar parte de la rosca, hasta que esta entre sin problemas en la tubería ensanchada de  $\frac{3}{4}$ " que realizamos anteriormente tal como se muestra en la figura.

**Figura 30.**

*Calentado de la tubería de  $\frac{1}{2}$ ".*

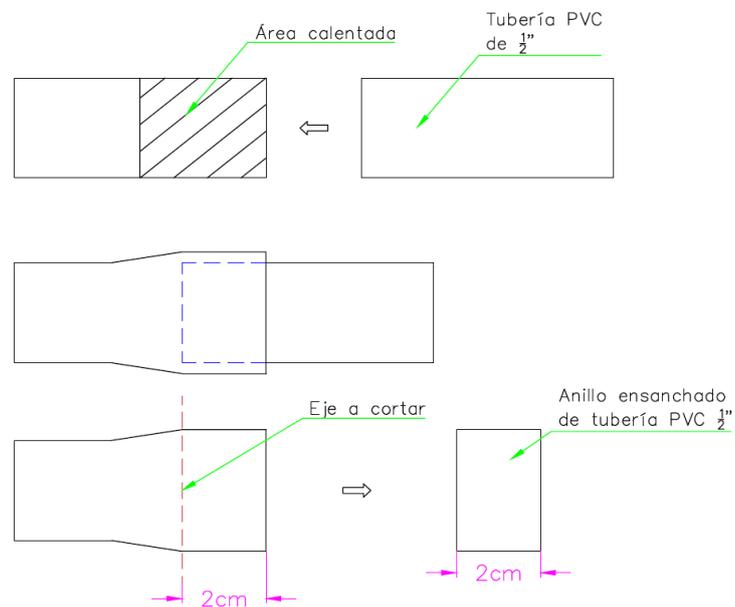


Elaboración propia.

Luego necesitamos tener un pedazo de tubería PVC  $\frac{1}{2}$ " de un mínimo de 6 centímetros. Obtenido este pedazo de tubería, le calentamos uniformemente un extremo, con ayuda de una vela encendida.

**Figura 31.**

*Obtención del anillo ensanchado de 12 cm.*

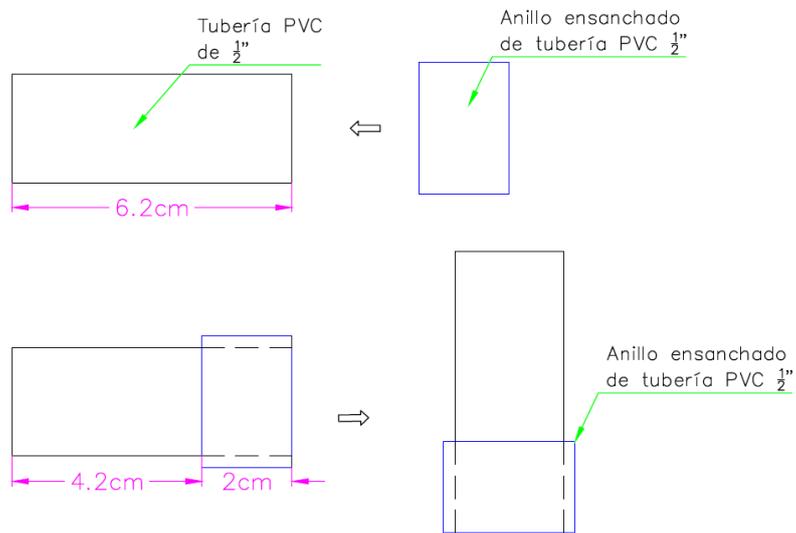


Elaboración propia.

Paso seguido pasamos a ensanchar la parte de la tubería PVC de 1/2\" que calentamos previamente, usando el otro pedazo de tubería que tenemos, introducimos en el interior del extremo de la tubería calentada hasta una profundidad de 2 cm aproximadamente para crear un anillo ensanchado de aproximadamente 2 centímetros de largo.

**Figura 32.**

*Armado del eje de giro.*

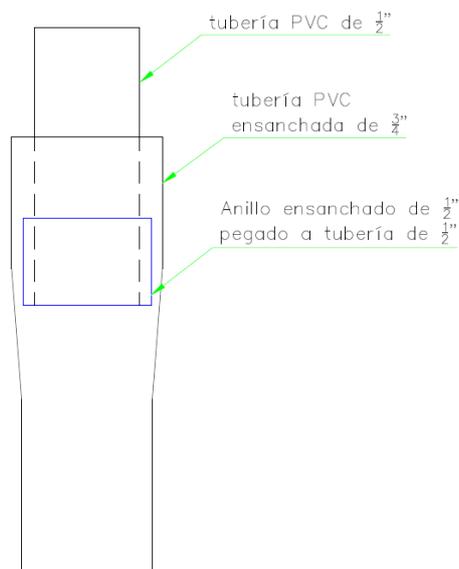


Elaboración propia.

Luego cortamos otro pedazo de tubería PVC de  $\frac{1}{2}$ " de una longitud de 6.2 centímetros e introducimos el anillo ensanchado en uno de sus extremos utilizando pegamento de tubería PVC y lo dejamos secar. Tal y como se muestra en a la figura.

**Figura 33.**

*Unión del eje de giro a la tubería ensanchada*

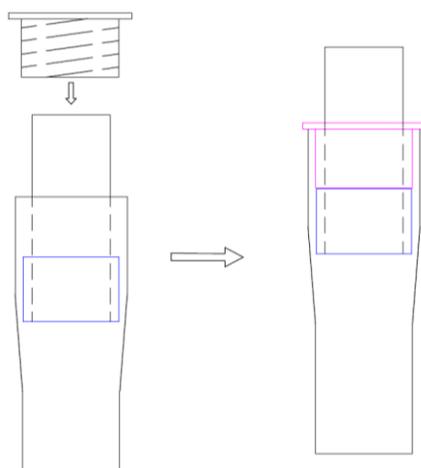


Elaboración propia.

Luego introducimos la tubería de  $\frac{1}{2}$ " que está pegado al anillo ensanchado dentro de la tubería de PVC de  $\frac{3}{4}$ ".

**Figura 34.**

*Unión de la rosca de botella a la tubería de  $\frac{3}{4}$ " ensanchada.*



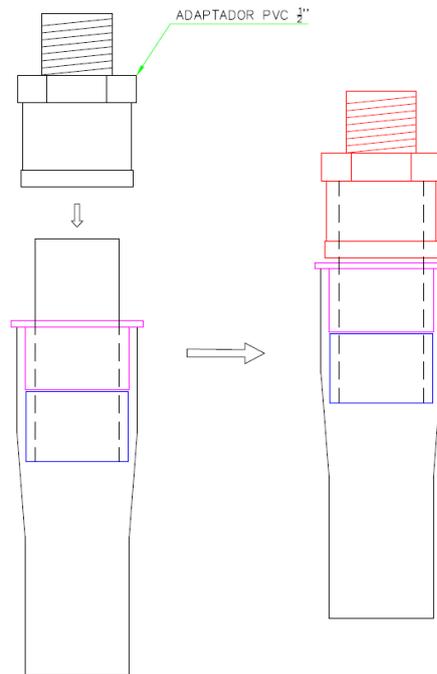
Elaboración propia.

Paso seguido introducimos la rosca del pico de botella que previamente lijamos para que pueda introducirse en la tubería de  $\frac{1}{2}$ " y también en la de  $\frac{3}{4}$ " que ensanchemos tal y como se observa en la figura, y con pegamento para tubería PVC pegamos la rosca de botella a la tubería de  $\frac{3}{4}$ " que ensanchemos. De tal manera que el tubo de  $\frac{1}{2}$ " que sobresale entre la tubería de  $\frac{3}{4}$ " y la rosca pueda girar y moverse libremente.

Luego de que se seque el pegamento procedemos a pegar el adaptador roscado en parte de la tubería PVC de  $\frac{1}{2}$ " que sobresale del cuerpo de giro, pegar de tal manera que parte inferior del adaptador y el tubo de  $\frac{3}{4}$ " estén separados aproximadamente 2mm para que el aspersor pueda rotar libremente.

**Figura 35.**

*Pegado del adaptador de 1/2" al eje de giro.*

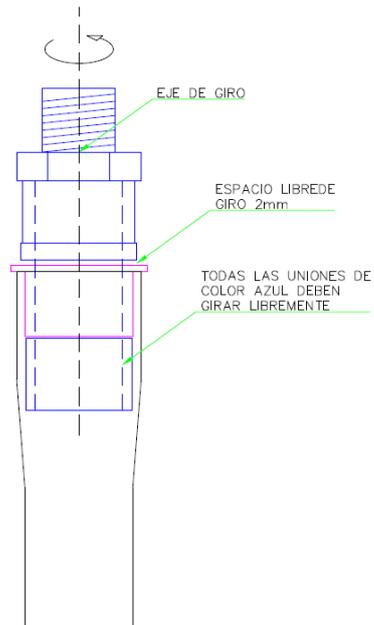


Elaboración propia.

Finalmente, el cuerpo principal de giro debe quedar tal y como se muestra en la figura.

**Figura 36.**

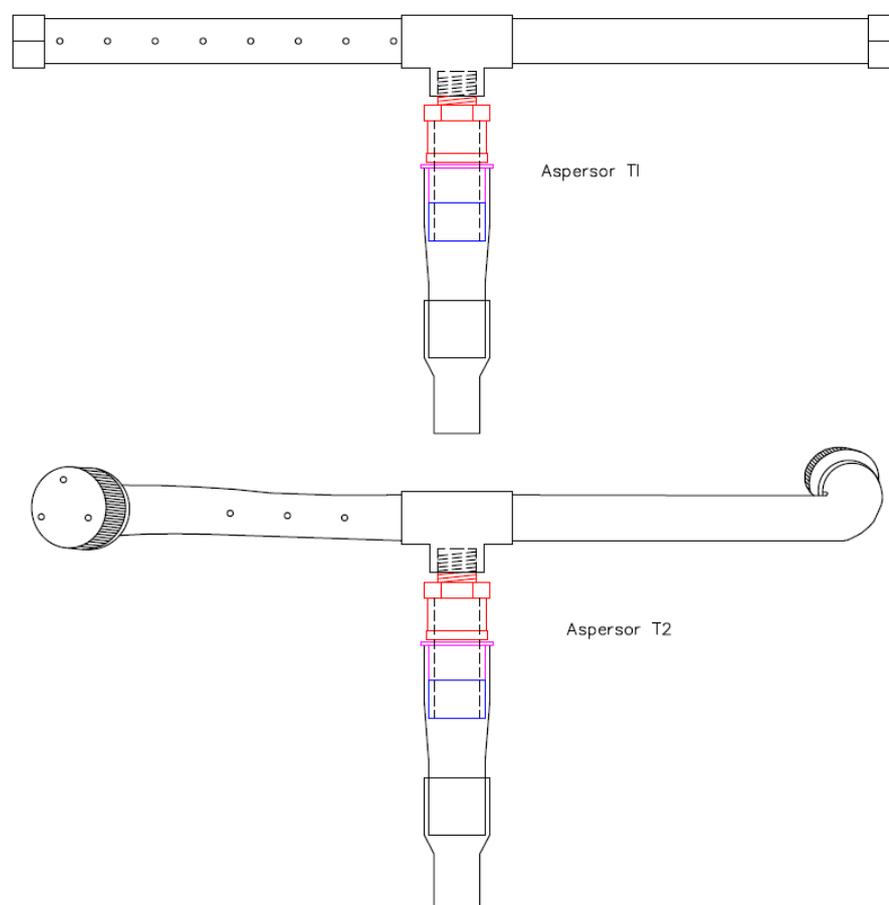
*Cuerpo de giro terminado.*



Elaboración propia.

**Figura 37.**

*Aspersores T1 Y T2 terminados.*



Elaboración propia.

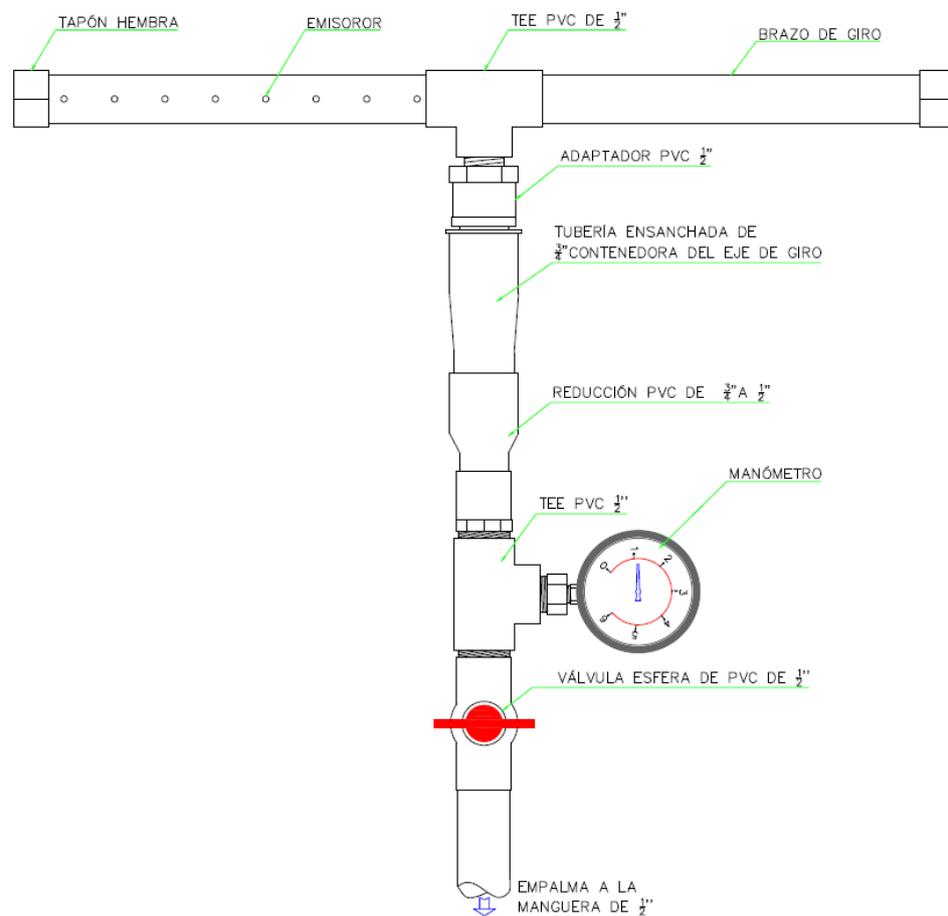
### 3.4.2. Caracterización de los aspersores Tipo 1 y Tipo 2

Para conocer las características técnicas de los aspersores diseñados se realizó varias pruebas, para lo cual se instaló un solo aspersor al aire libre. La toma de agua fue de un pequeño reservorio que se ubica en la parte alta, se utilizaron filtros, válvulas de control, manguera de  $\frac{3}{4}$ " que suministran el caudal al aspersor.

El aspersor se sujetó sobre una estaca a una altura con respecto al nivel del suelo de 1.3 m, dicho aspersor estuvo conectado por medio de una válvula de control y un manómetro de glicerina, en un terreno acondicionado para las pruebas.

**Figura 38.**

*Aspersor T1 acondicionado con sus accesorios e instrumentos de medición.*



Elaboración propia.

### 3.4.2.1. Parámetros o variables evaluadas.

Para la presente investigación se tuvo en cuenta la influencia de las siguientes variables:

#### a. Tipo aspersores evaluados.

Se tratan dos tipos T1 (1, 1.5 y 2 mm de diámetro de emisores) y cada brazo cuenta con ocho emisores a cada lado de su brazo de giro.

y T2 (1, 1.5 y 2 mm de diámetro de emisores) y cada brazo cuenta con siete emisores a cada lado de su brazo de giro.

*b. Velocidad de viento.*

Los valores de velocidad de viento se tomaron en el lugar de la prueba con la ayuda de un anemómetro digital, debido a la ausencia de estaciones meteorológicas en el lugar de estudio.

*c. Altura de los aspersores desde el suelo.*

Para dichas pruebas se consideró la altura del nivel del suelo al aspersor de 1.3m la cual fue constante para todas las pruebas realizadas.

*d. Hora de prueba.*

Las pruebas se realizaron tanto en mañana como en tarde.

En total se realizó quince pruebas, con el aspersor tipo 1, y otros quince con el aspersor tipo 2, tal como se muestran en las siguientes figuras.

**Figura 39.**

*Pruebas realizadas con el aspersor T1 y T2.*

ASPERSOR T1	T1 (1 mm)	0.4 Bares 0.6 Bares 0.8 Bares 1.0 Bares 1.2 Bares	ASPERSOR T2	T2 (1 mm)	0.4 Bares 0.6 Bares 0.8 Bares 1.0 Bares 1.2 Bares
	T1 (1.5mm)	0.4 Bares 0.6 Bares 0.8 Bares 1.0 Bares 1.2 Bares		T2 (1.5mm)	0.4 Bares 0.6 Bares 0.8 Bares 1.0 Bares 1.2 Bares
	T1 (2 mm)	0.4 Bares 0.6 Bares 0.8 Bares 1.0 Bares 1.2 Bares		T2 (2 mm)	0.4 Bares 0.6 Bares 0.8 Bares 1.0 Bares 1.2 Bares

Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la figura 39 para cada tipo de aspersor se realizó pruebas a diferentes presiones para así poder evaluar el radio majado, caudal y coeficiente de uniformidad.

### 3.4.2.2. Caudal

Para el cálculo del gasto de cada aspersor, se envolvió con un plástico transparente al aspersor sin que este llegue a interferir con el libre giro de este, se tomó un recipiente de 10 lt al cual recogía toda el agua que llegaba por medio del plástico acondicionado para la prueba.

Se realizaron pruebas para el aspersor TI y T2 a presiones de funcionamiento de 0.2,0.4,0.6,0.8,1.0 bar, respectivamente; Se controló con cronometro el tiempo que tarda en llenarse el recipiente. Se realizó tres repeticiones para cada presión, y así poder promediar para tener un resultado más preciso.

**Figura 40.**

*Prueba de cálculo de caudal para cada aspersor.*



Elaboración propia.

### 3.4.2.3. Radio de humedecimiento

Este parámetro se obtuvo al medir el radio mojado en la superficie de riego, al girar el aspersor produce una distribución circular de riego, el radio de humedecimiento depende principalmente de la presión en el sistema y de la altura del aspersor con respecto al nivel del suelo.

El radio húmedo es un parámetro muy importante para evaluar porque de esta depende el espaciamiento entre aspersores.

**Figura 41.**

*Medida del radio de humedecimiento del aspersor artesanal.*



Elaboración propia.

Para ver cuál era el radio húmedo de cobertura correspondiente a cada presión, se extendió una cinta métrica desde la base del aspersor hasta el borde del área regada.

Para el aspersor T1, la evaluación se realizó para una altura de 1.3 metros a partir del suelo, para presiones de funcionamiento de 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 y 1.2 bar

Para el tipo 2 las presiones fueron 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 y 1.2 bar, estos también para altura de 1.3 metros desde el suelo.

#### **3.4.2.4. Evaluación de la distribución del agua en el área regada.**

*Coefficiente de uniformidad de Christiansen y curva radial de los aspersores*

Los procedimientos para determinar el reparto de agua fueron: Colocar una red de pluviómetros alrededor de un solo aspersor al aire libre, para posteriormente calcular el coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU), Y para determinar la curva radial se tomó los datos de los pluviómetros en dirección de los ejes Norte,

Este, Oeste y Sur del círculo mojado. A continuación, se describe los procedimientos:

Se tendió dos cordeles perpendiculares entre sí en direcciones Norte Sur, Este Oeste que vienen a ser los ejes principales, en cuya intersección irá ubicado el aspersor. La distancia de estos ejes debe ser lo suficiente para cubrir el diámetro de humedecimiento de los aspersores T1 y T2.

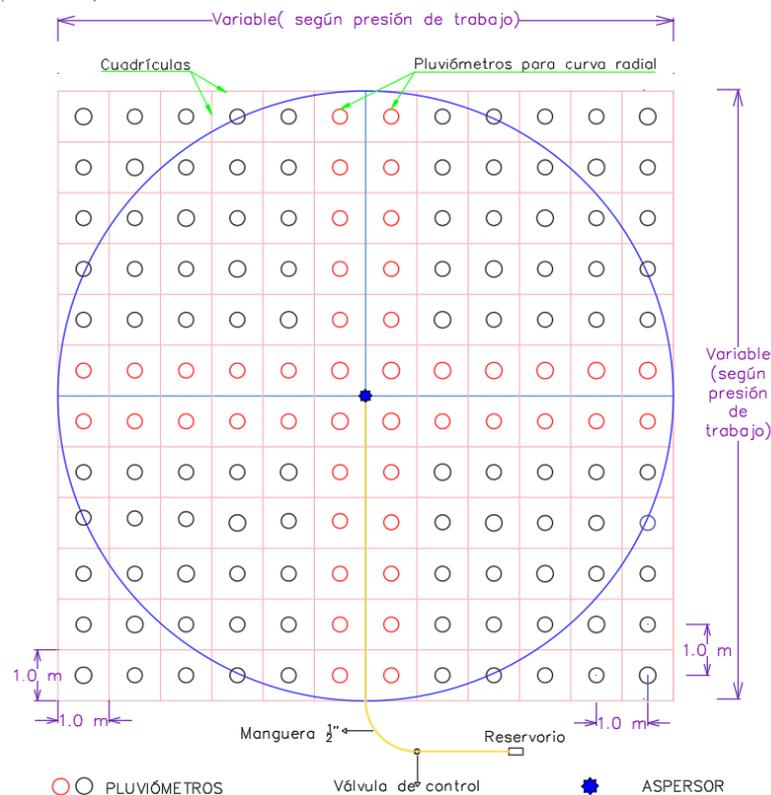
A partir de los ejes principales se traza líneas paralelas a estos ejes formando así una red en forma de malla cuadrada de 1x1m<sup>2</sup> (sub área).

Luego se coloca los pluviométricos en el centro de cada sub-área.

Con el fin de obtener el perfil radial de la distribución de agua de los aspersores y aprovechando el enmallado se promedió el volumen recolectado en los pluviómetros que se encuentran paralelos a los ejes Norte, Sur, Este y Oeste.

**Figura 42.**

*Esquema de la disposición de los pluviómetros para las pruebas del aspersor artesanal (T1 Y T2).*



Elaboración propia.

Los pluviómetros utilizados fueron recipientes de medio litro, con diámetro en la parte superior de 12 cm y altura de 06 cm.

El tiempo que duro los ensayos fu de una hora, una vez finalizado el ensayo se midió el volumen recogido en cada pluviómetro con ayuda de una probeta graduada.

Todos los datos durante el ensayo fueron anotados para posteriormente analizarlo en gabinete.

**Figura 43.**

*Midiendo el volumen de agua recolectado en los pluviómetros del aspersor T1*



Elaboración propia.

### 3.4.3. Trabajo en gabinete

✓ Caudal

1) Con los datos obtenido en la prueba, el caudal para cada presión se calculó con la ecuación (2)

2) Una vez obtenido el caudal (litros/hora) para cada presión (bar) se graficó la curva presión vs caudal, con regresión potencial haciendo uso del programa Excel. Para así poder calcular caudales a diferentes presiones.

✓ Diámetro de humedecimiento

Con los datos obtenidos en campo radio húmedo (m) y presión (bar) se graficó la curva radio vs presión, con su respectiva regresión potencial haciendo uso del programa Excel. Para así poder calcular radios de humedecimiento para diferentes presiones.

✓ Evaluación de la distribución del agua en el área regada.

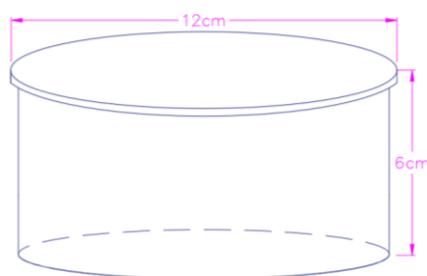
a. Curva radial de los aspersores

una vez obtenida los datos en la prueba de los colectores radiales (en cm<sup>3</sup>) se procedió a calcular de la siguiente manera:

1) Para obtener la lámina de agua recogida en los pluviómetros, primero se calcula el área de la embocadura de los pluviómetros en centímetros cuadrados.

**Figura 44.**

*Medidas del vaso usado como pluviómetros en las pruebas.*



Elaboración propia.

- 2) La lámina de agua recogida en los pluviómetros se halla a partir de la ecuación (5).
- 3) La pluviometría en (mm/h) se calculó con la lámina de agua recogida en los pluviómetros en (mm) y dividido entre el tiempo que duro la prueba en (min) y multiplicado por 60 para llevarlo a horas.
- 4) Por último, se graficó distancia vs pluviometría, así poder determinar la forma de la distribución de agua.

✓ Coeficiente de uniformidad de Christiansen

Con los datos obtenidos de los pluviómetros de la prueba de reparto de agua alrededor de un solo aspersor al aire libre y utilizando la ecuación (1) se procede a calcular el coeficiente de uniformidad de Christiansen, con los resultados obtenidos podemos saber cuál aspersor presenta mejor desempeño de acuerdo con su presión y a su diámetro de emisor.

## **IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES**

### **4.1. Construcción de los Aspersores Artesanales**

#### **4.1.1. Diseño y construcción de aspersor artesanal T1.**

Luego de varias pruebas se diseñó y se construyó el aspersor artesanal T1 en base a los existentes en la zona de estudio donde la principal característica es que sus brazos de giro son rectos ,trabaja a bajas presiones, su construcción es relativamente sencilla, se construyó tres aspersores del tipo T1 con diámetro de emisores de 1, 1.5 y 2 mm respectivamente, cada brazo de giro consta de ocho emisores que están situados en sentido opuesto respecto a cada brazo, para así poder generar el empuje necesario para que gire el aspersor artesanal T1

#### **4.1.2. Diseño y construcción de aspersor artesanal T2.**

Luego de varias pruebas se diseñó y se construyó el aspersor artesanal T2 en base a los existentes en la zona de estudio donde la principal característica es que sus brazos de giro son curvos trabaja a bajas presiones, su construcción tiene un poco más de dificultad que la del T1 debido que hay que curvar los brazos de giro, se construyó tres aspersores del tipo T2 con diámetro de emisores de 1, 1.5 y 2 mm respectivamente, cada brazo de giro consta de siete emisores que están situados en sentido opuesto respecto a cada brazo, para así poder generar el empuje necesario para que gire el aspersor artesanal T2.

De los resultados podemos mencionar que la clasificación de los dos tipos de aspersores artesanales T1 Y T2 diseñados y construidos son:

- De giro rápido ( $> 6$  vueltas/min)

- En función del mecanismo de giro es de reacción debido a que la inclinación del orificio de salida origina el giro, su alcance es de 360 grados
- De baja presión (menos de 2.5 bares)

Estas características según referencias bibliográficas hacen que los aspersores artesanales T1 Y T2 sean ideales para usarse en jardinería, viveros y horticultura.

## 4.2. Caudal del aspersor artesanal.

### 4.2.1. aspersor tipo 1.

**Tabla 2.**

*Variación del caudal debido a la presión del aspersor tipo 1 D = 1.00 mm.*

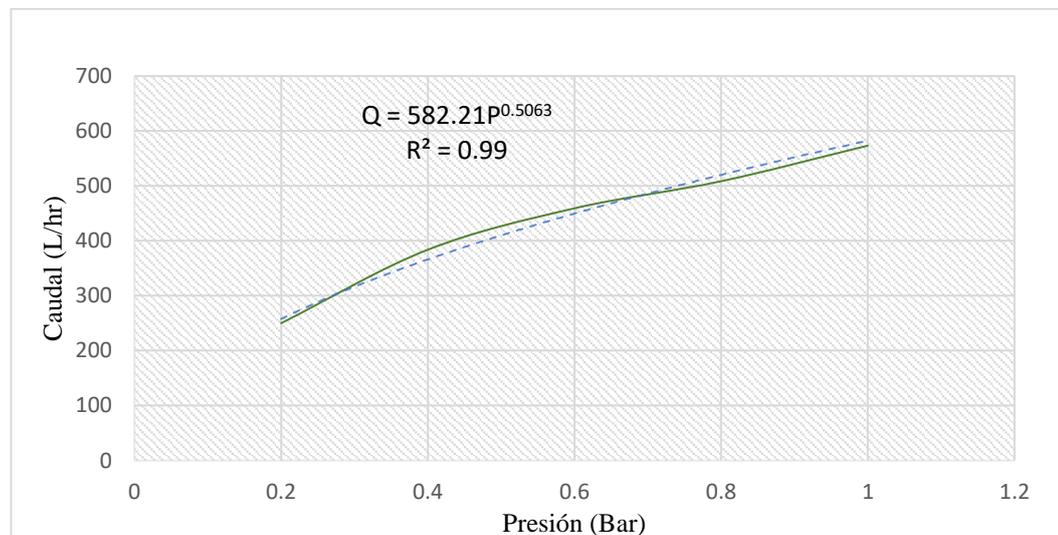
Presión (bar)	Tiempo (min)				Volumen (l)	Caudal (l/h)
	1°	2°	3°	Promedio		
0.2	2.39	2.4	2.41	2.40	10	250.00
0.4	1.55	1.56	1.58	1.56	10	383.80
0.6	1.31	1.31	1.30	1.31	10	459.18
0.8	1.18	1.17	1.19	1.18	10	508.47
1	1.04	1.05	1.05	1.05	10	573.25

Elaboración propia.

La tabla 2 representa la variación del caudal debido a la presión en el aspersor T1 con diámetro de emisores igual a un 1mm, observándose valores que van desde un mínimo de 250.00 l/h para una presión de 0.2 bares hasta un máximo de 573.25 l/h para una presión de 1 bar.

**Figura 45.**

*Caudal versus presión aspersor T1 D=1mm*



Elaboración propia.

En la figura 45, existe una correlación altamente significativa entre dichas variables, siendo el coeficiente de correlación para este caso de  $r^2 = 0.99$ , es decir, el 99 por ciento de la variación del caudal se debe a la influencia de la presión en el modelo. Pudiéndose observar que a medida que aumenta la presión aumenta el caudal, como se muestra en la tabla 2 y figura 42, y ajustándose a la siguiente ecuación:

$$Q = 582.21P^{0.5063}$$

$$r^2 = 0.99$$

Donde:

Q: caudal l/h

P: Presión de trabajo del aspersor T1, D = 1mm en bares

$r^2$ : Coeficiente de determinación

**Tabla 3.**

*Variación del caudal debido a la presión del aspersor tipo 1 D = 1.50 mm.*

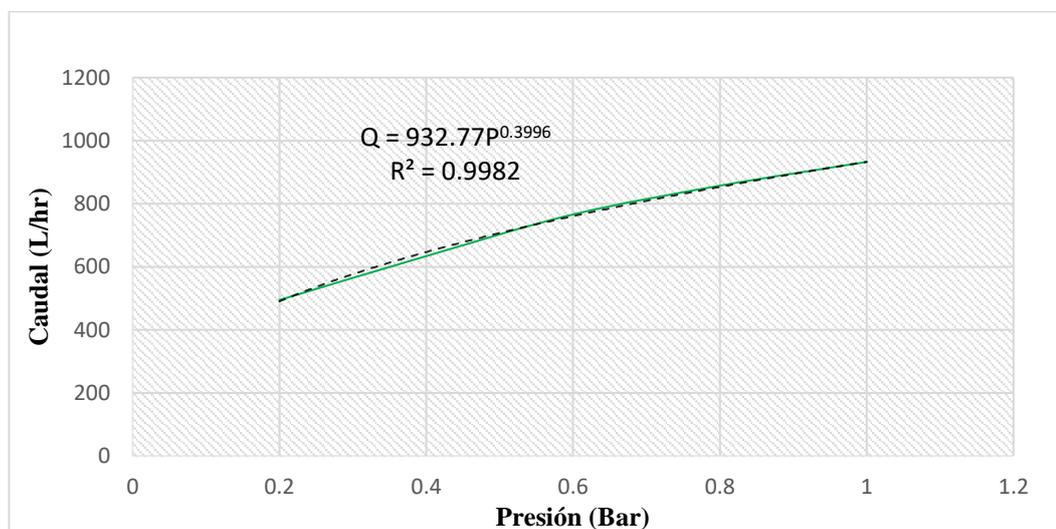
Presión (bar)	Tiempo (min)				Volumen (l)	Caudal (l/h)
	1°	2°	3°	Promedio		
0.2	1.22	1.21	1.21	1.21	10	494.51
0.4	0.94	0.95	0.95	0.95	10	633.80
0.6	0.79	0.79	0.77	0.78	10	765.96
0.8	0.69	0.70	0.71	0.70	10	857.14
1	0.65	0.64	0.64	0.64	10	932.64

Elaboración propia.

La tabla 3 representa la variación del caudal debido a la presión en el aspersor T1 con diámetro de emisores igual a un 1.5 mm, observándose valores que van desde un mínimo de 494.51 l/h para una presión de 0.2 bares hasta un máximo de 932.64 l/h para una presión de 1 bar.

**Figura 46.**

*Caudal versus presión aspersor T1 D=1.5 mm.*



Elaboración propia.

En la figura 46, existe una correlación altamente significativa entre dichas variables, siendo el coeficiente de correlación para este caso de  $r^2 = 0.99$ , es decir, el 99 por ciento de la variación del caudal se debe a la influencia de la presión en el modelo. Pudiéndose observar que a medida que aumenta la presión aumenta el

caudal, como se muestra en la tabla 3 y figura 43, y ajustándose a la siguiente ecuación:

$$Q = 932.77P^{0.3996}$$

$$r^2 = 0.99$$

Donde:

Q: caudal l/h

P: Presión de trabajo del aspersor T1, D = 1.5mm en bares

r<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación

**Tabla 4.**

*Variación del caudal debido a la presión del aspersor tipo 1 D = 2.00 mm.*

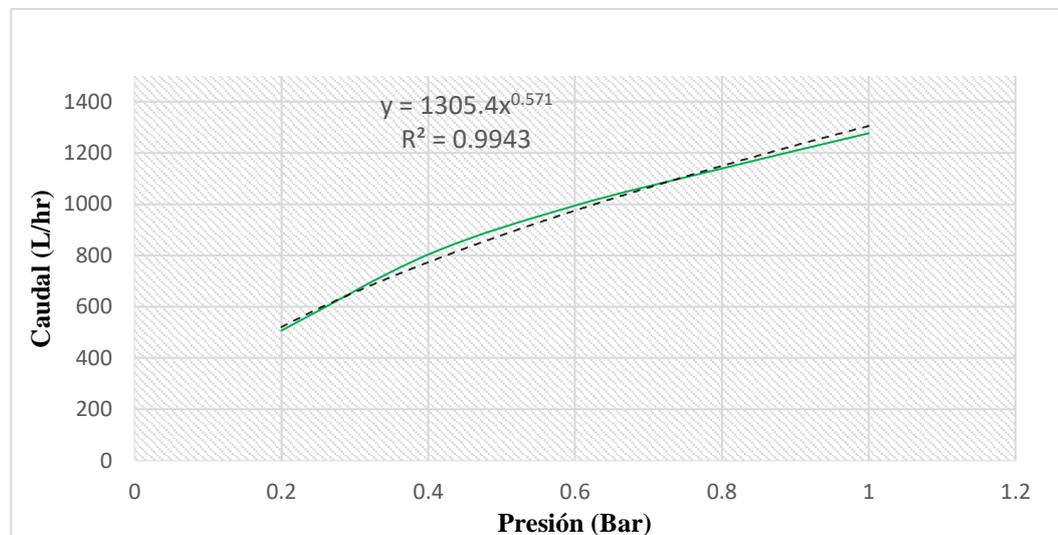
Presión (bar)	Tiempo (min)				Volumen (l)	Caudal (l/h)
	1°	2°	3°	Promedio		
0.2	1.18	1.19	1.18	1.18	10	507.04
0.4	0.74	0.75	0.75	0.75	10	803.57
0.6	0.60	0.61	0.60	0.60	10	994.48
0.8	0.53	0.52	0.53	0.53	10	1139.24
1	0.48	0.46	0.47	0.47	10	1276.60

Elaboración propia.

La tabla 4 representa la variación del caudal debido a la presión en el aspersor T1 con diámetro de emisores igual a un 2 mm, observándose valores que van desde un mínimo de 507.04 l/h para una presión de 0.2 bares hasta un máximo de 1276.60 l/h para una presión de 1 bar.

**Figura 47.**

*Caudal versus presión aspersion T1 D=2 mm.*



Elaboración propia.

En la figura 47 existe una correlación altamente significativa entre dichas variables, siendo el coeficiente de correlación para este caso de  $r^2 = 0.99$ , es decir, el 99 por ciento de la variación del caudal se debe a la influencia de la presión en el modelo. Pudiéndose observar que a medida que aumenta la presión aumenta el caudal, como se muestra en la tabla 4 y figura 44, y ajustándose a la siguiente ecuación:

$$Q = 1305.4P^{0.571}$$

$$r^2 = 0.99$$

Donde:

Q: caudal l/h

P: Presión de trabajo del aspersion T1, D = 2mm en bares

$r^2$ : Coeficiente de determinación

#### 4.2.2. Aspersor tipo 2

**Tabla 5.**

*Variación del caudal debido a la presión del aspersor tipo 2 D = 1mm.*

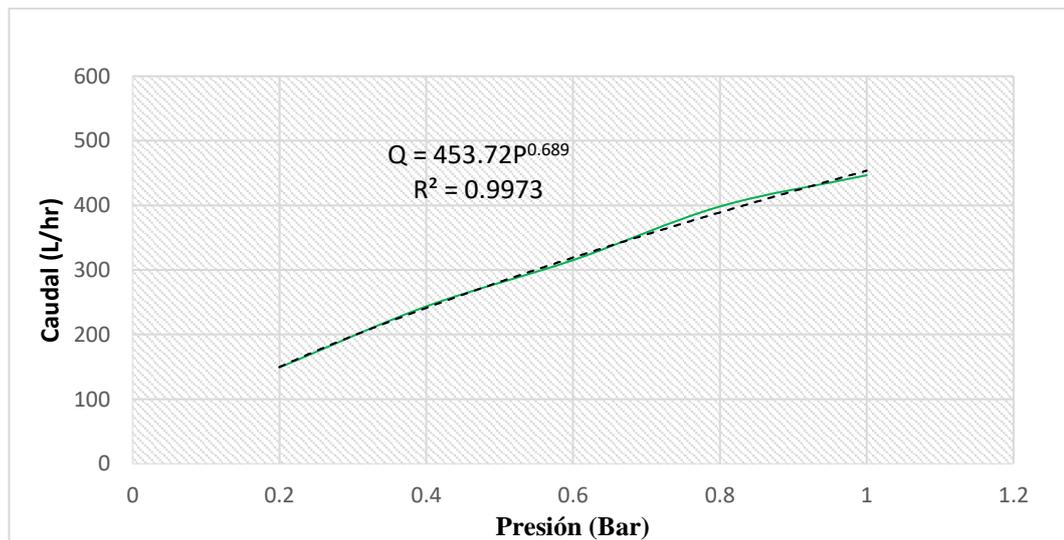
Presión (bar)	Tiempo (min)				Volumen (l)	Caudal (l/h)
	1°	2°	3°	Promedio		
0.2	4.04	4.01	4.03	4.03	10	149.01
0.4	2.47	2.45	2.47	2.46	10	243.57
0.6	1.91	1.90	1.90	1.90	10	315.24
0.8	1.51	1.51	1.50	1.51	10	398.23
1	1.36	1.34	1.33	1.34	10	446.65

Elaboración propia.

La tabla 5 representa la variación del caudal debido a la presión en el aspersor T2 con diámetro de emisores igual a un 1 mm, observándose valores que van desde un mínimo de 149.01 l/h para una presión de 0.2 bares hasta un máximo de 446.65 l/h para una presión de 1 bar.

**Figura 48.**

*Caudal versus presión aspersor T2 D=1 mm.*



Elaboración propia.

En la figura 48, existe una correlación altamente significativa entre dichas variables, siendo el coeficiente de correlación para este caso de  $r^2 = 0.99$ , es decir,

el 99 por ciento de la variación del caudal se debe a la influencia de la presión en el modelo. Pudiéndose observar que a medida que aumenta la presión aumenta el caudal, como se muestra en la tabla 5 y figura 45, y ajustándose a la siguiente ecuación:

$$Q = 453.72P^{0.689}$$

$$r^2 = 0.99$$

Donde:

Q: caudal l/h

P: Presión de trabajo del aspersor T2, D = 1mm en bares

r<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación

**Tabla 6.**

*Variación del caudal debido a la presión del aspersor tipo 2 D = 1.5mm.*

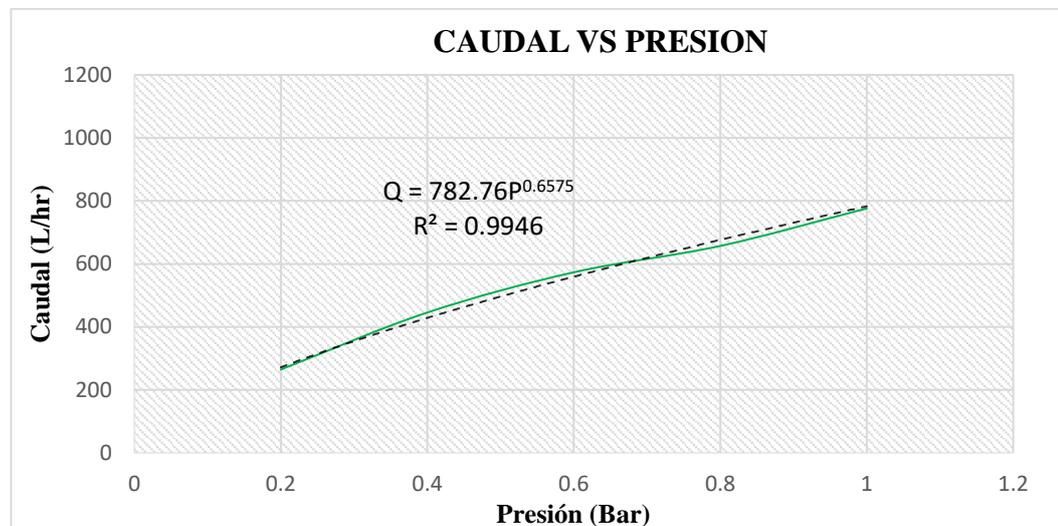
Presión (bar)	Tiempo (min)				Volumen (l)	Caudal (l/h)
	1°	2°	3°	Promedio		
0.2	2.28	2.25	2.27	2.27	10	264.71
0.4	1.35	1.35	1.34	1.35	10	445.54
0.6	1.05	1.06	1.03	1.05	10	573.25
0.8	0.92	0.91	0.91	0.91	10	656.93
1	0.77	0.78	0.77	0.77	10	775.86

Elaboración propia.

La tabla 6 representa la variación del caudal debido a la presión en el aspersor T2 con diámetro de emisores igual a un 1.5 mm, observándose valores que van desde un mínimo de 264.71 l/h para una presión de 0.2 bares hasta un máximo de 775.86 l/h para una presión de 1 bar.

**Figura 49.**

*Caudal versus presión aspersor T2 D=1.5 mm.*



Elaboración propia.

En la figura 49 existe una correlación altamente significativa entre dichas variables, siendo el coeficiente de correlación para este caso de  $r^2 = 0.99$ , es decir, el 99 por ciento de la variación del caudal se debe a la influencia de la presión en el modelo. Pudiéndose observar que a medida que aumenta la presión aumenta el caudal, como se muestra en la tabla 6 y figura 46, y ajustándose a la siguiente ecuación:

$$Q = 782.76P^{0.6575}$$

$$r^2 = 0.99$$

Donde:

Q: caudal l/h

P: Presión de trabajo del aspersor T2, D = 1.5mm en bares

$r^2$ : Coeficiente de determinación

**Tabla 7.**

*Variación del caudal debido a la presión del aspersor tipo 2 D = 2mm.*

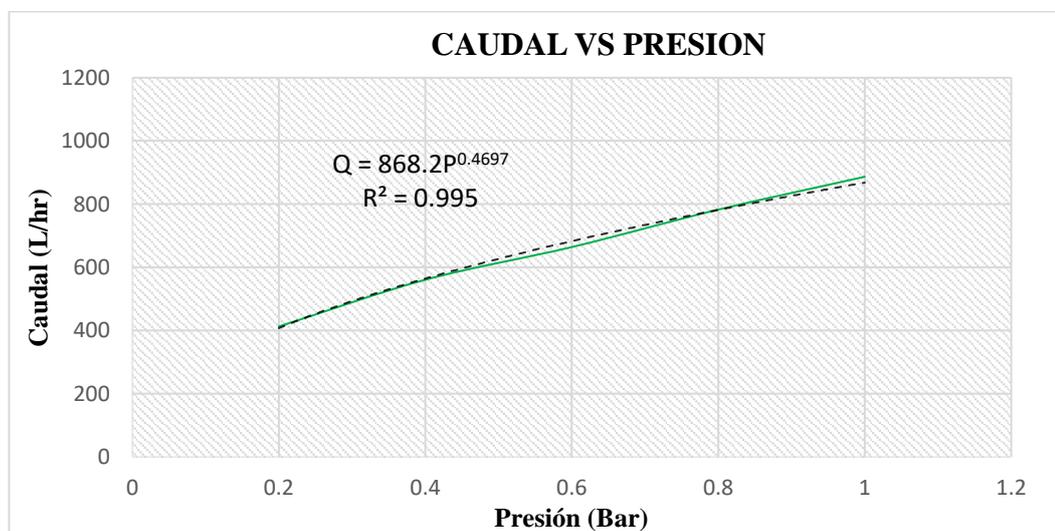
Presión (bar)	Tiempo (min)				Volumen (l)	Caudal (l/h)
	1°	2°	3°	Promedio		
0.2	1.46	1.45	1.45	1.45	10	412.84
0.4	1.07	1.08	1.06	1.07	10	560.75
0.6	0.90	0.90	0.91	0.90	10	664.21
0.8	0.77	0.77	0.76	0.77	10	782.61
1	0.68	0.67	0.68	0.68	10	886.70

Elaboración propia.

La tabla 7 representa la variación del caudal debido a la presión en el aspersor T2 con diámetro de emisores igual a un 2 mm, observándose valores que van desde un mínimo de 412.84 l/h para una presión de 0.2 bares hasta un máximo de 886.70 l/h para una presión de 1 bar.

**Figura 50.**

*Caudal versus presión aspersor T2 D=1.5 mm.*



Elaboración propia.

En la figura 50 existe una correlación altamente significativa entre dichas variables, siendo el coeficiente de correlación para este caso de  $r^2 = 0.99$ , es decir, el 99 por ciento de la variación del caudal se debe a la influencia de la presión en el modelo. Pudiéndose observar que a medida que aumenta la presión aumenta el

caudal, como se muestra en la tabla 7 y figura 47, y ajustándose a la siguiente ecuación:

$$Q = 868.2P^{0.4697}$$

$$r^2 = 0.99$$

Donde:

Q: caudal l/h

P: Presión de trabajo del aspersor T2, D = 2mm en bares

r<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación

### 4.3. Radio de Humedecimiento

El radio de humedecimiento depende principalmente de la presión de trabajo, velocidad del viento y ángulo de salida de las gotas de agua y altura del aspersor con respecto del nivel del suelo.

**Tabla 8.**

*Datos para determinar curvas radio húmedo - versus presión.*

Presion (bar)	Radio Humedo ( m)					
	Tipo 1			Tipo 2		
	1.0 mm. de diametro	1.5 mm. de diametro	2.0 mm. de diametro	1.0 mm. de diametro	1.5 mm. de diametro	2.0 mm. de diametro
0.4	3	3	3	3	5	3
0.6	5	4.5	3.5	4	5.5	5
0.8	6	5.5	4	5	6	6
1	6.5	6	5	6	7	6.5
1.2	7	7	6	7	8	7

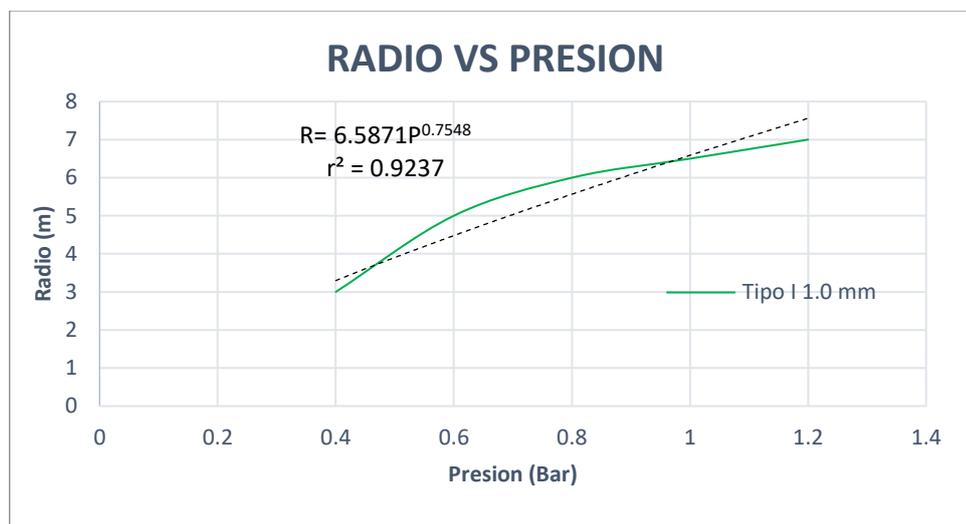
Elaboración propia.

La tabla 8 representa la recopilación de los datos obtenidos en pruebas de funcionamiento, que varían de 0.2 bares a 1.2 bares de presión y de diámetros de los emisores del aspersor artesanal tipo 1 y tipo 2 desde 1mm ,1.5 y 2mm obteniendo radios de humedecimiento de mínimos de 3m a máximos de 8 m.

### 4.3.1. Aspersor tipo 1.

**Figura 51.**

*Radio húmedo versus presión aspersor T1 D=1 mm.*



Elaboración propia.

En la figura 51 el diámetro mojado del aspersor tipo 1 de 1mm de diámetro de emisores, en función de la presión varía desde un mínimo 3 metros de radio para una presión de 0.4 bares hasta un máximo de 7 metros para una presión de 1.2 bares, La curva radio vs presión obedece a la siguiente ecuación:

$$R = 6.5871P^{0.7548}$$

$$r^2 = 0.9237$$

Donde:

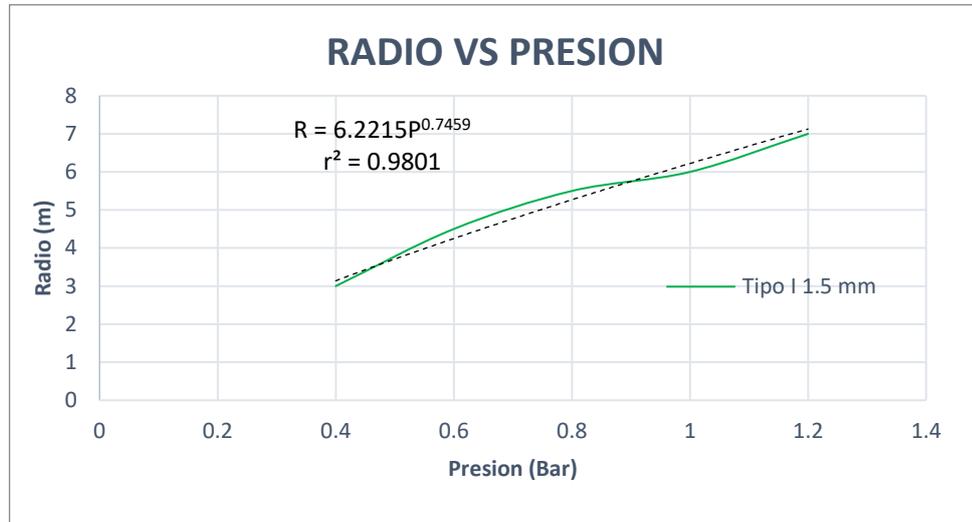
R: radio de humedecimiento en metros

P: Presión de trabajo del aspersor en bares

$r^2$ : Coeficiente de determinación

**Figura 52.**

*Radio húmedo versus presión aspersor T1 D=1.5 mm.*



Elaboración propia.

En la figura 52 el diámetro mojado del aspersor tipo 1 de 1.5mm de diámetro de emisores, en función de la presión varía desde un mínimo 3 metros de radio para una presión de 0.4 bares hasta un máximo de 7 metros para una presión de 1.2 bares, La curva radio vs presión obedece a la siguiente ecuación:

$$R = 6.2215P^{0.7459}$$

$$r^2 = 0.9801$$

Donde:

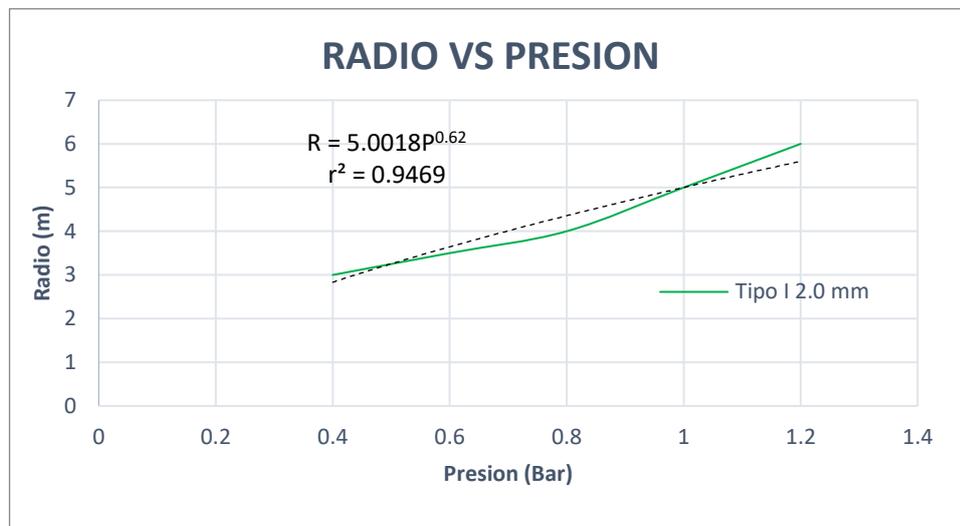
R: radio de humedecimiento en metros

P: Presión de trabajo del aspersor en bares

r<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación

**Figura 53.**

*Radio húmedo versus presión aspersor T1 D=2.0 mm.*



Elaboración propia.

En la figura 53 el diámetro mojado del aspersor tipo 1 de 2.0mm de diámetro de emisores, en función de la presión varía desde un mínimo 3 metros de radio para una presión de 0.4 bares hasta un máximo de 6 metros para una presión de 1.2 bares, La curva radio vs presión obedece a la siguiente ecuación:

$$R = 5.0018P^{0.62}$$

$$r^2 = 0.9469$$

Donde:

R: radio de humedecimiento en metros

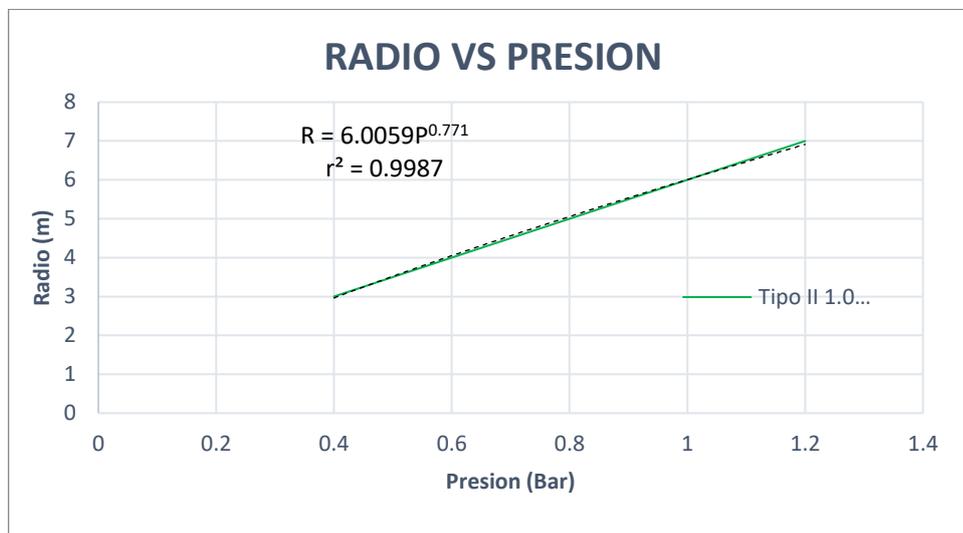
P: Presión de trabajo del aspersor en bares

r<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación

### 4.3.2. Aspersor tipo 2

Figura 54.

Radio húmedo versus presión aspersor T2 D=1.0 mm.



Elaboración propia.

En la figura 54 el diámetro mojado del aspersor tipo 2 de 1.0 mm de diámetro de emisores, en función de la presión varía desde un mínimo 3 metros de radio para una presión de 0.4 bares hasta un máximo de 7 metros para una presión de 1.2 bares, La curva radio vs presión obedece a la siguiente ecuación:

$$R = 6.0059P^{0.771}$$

$$r^2 = 0.9987$$

Donde:

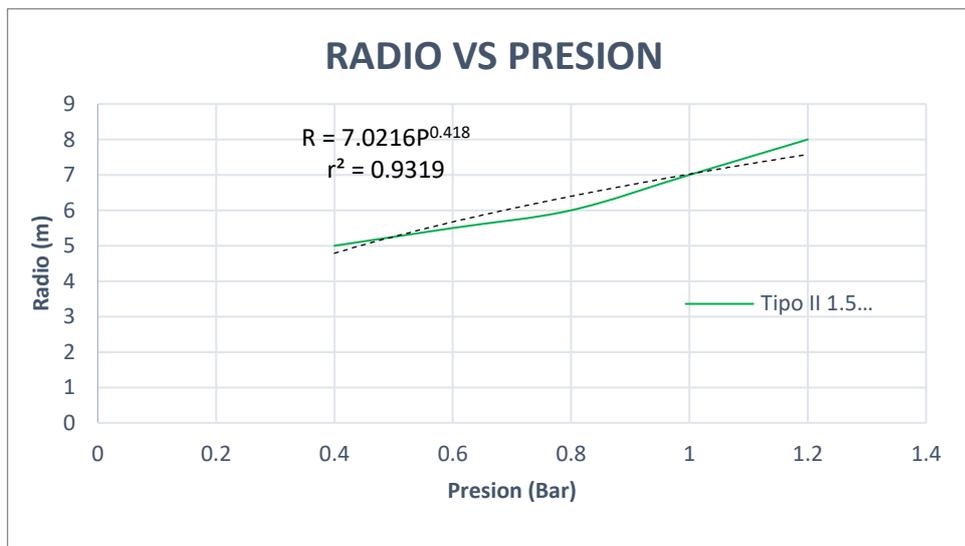
R: radio de humedecimiento en metros

P: Presión de trabajo del aspersor en bares

$r^2$ : Coeficiente de determinación

**Figura 55.**

*Radio húmedo versus presión aspersor T2 D=1.5 mm.*



Elaboración propia.

En la figura 55 el diámetro mojado del aspersor tipo 2 de 1.5 mm de diámetro de emisores, en función de la presión varía desde un mínimo 5 metros de radio para una presión de 0.4 bares hasta un máximo de 8 metros para una presión de 1.2 bares, La curva radio vs presión obedece a la siguiente ecuación:

$$R = 7.0216P^{0.418}$$

$$r^2 = 0.9319$$

Donde:

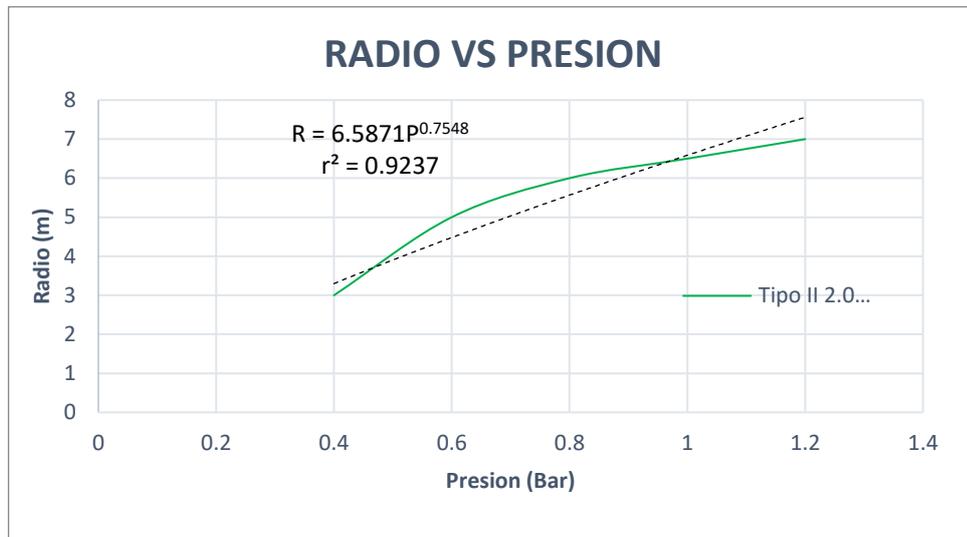
R: radio de humedecimiento en metros

P: Presión de trabajo del aspersor en bares

r<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación

**Figura 56.**

*Radio húmedo versus presión aspersor T2 D=2.0 mm.*



Elaboración propia.

En la figura 56 el diámetro mojado del aspersor tipo 2 de 2.0 mm de diámetro de emisores, en función de la presión varía desde un mínimo 3 metros de radio para una presión de 0.4 bares hasta un máximo de 7 metros para una presión de 1.2 bares, La curva radio vs presión obedece a la siguiente ecuación:

$$R = 6.5871P^{0.7548}$$

$$r^2 = 0.9237$$

Donde:

R: radio de humedecimiento en metros

P: Presión de trabajo del aspersor en bares

$r^2$ : Coeficiente de determinación

#### 4.4. Curva Radial de los Aspersores

En el Anexo A se muestran las treinta tablas correspondientes a los valores de la pluviometría recogida en dirección de los ejes Norte, Este, Oeste y Sur, así como también las figuras de las curvas radiales y/o modelos de reparto de agua.

De los resultados destaca que, para la mayoría de los tipos de aspersores y presiones de trabajo de estos, tienen una forma de reparto o distribución de agua correcta similar a la figura 8, presión correcta es decir que la pluviometría va variando de más a menos en función al radio de alcance.

Además, se aprecia la variación del radio de humedecimiento de acuerdo con la velocidad y dirección del viento, también el aumento de la pluviometría a medida que la presión va disminuyendo,

#### 4.5. Coeficiente de Uniformidad de Christiansen

Se realizaron pruebas en horas de la mañana y tarde; las condiciones al cual estuvo sometido las pruebas fueron: presión, altura desde el suelo, velocidad de viento que en este caso en todas las pruebas realizadas la velocidad fue menor a 1 m/s por lo que no tuvo mucha relevancia en dichas pruebas, una vez concluida la prueba se procedió a la lectura de los volúmenes recogidas en cada pluviómetro, en total se realizaron treinta pruebas, quince para el tipo 1 y quince para el tipo 2.

Para el cálculo del coeficiente de uniformidad de Christiansen se usó la ecuación (1). A continuación, presentaremos los valores de coeficiente de uniformidad que obtuvieron valores mayores o iguales al 80% los cuales indican una mejor distribución del agua en el riego, los demás valores de las pruebas se presentaran en la sección anexo B.

**Figura 57.**

Valor del coeficiente de uniformidad del aspersor T1 D=1 mm y presión de funcionamiento de 1 bar, volumen recogido en los pluviómetros.

DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (CU)												
Aspersor artesanal : Tipo I			Diametro de los emisores : 1.0 mm					Presión : 1.0 bar				
Volumen recogido en los pluviómetros Cm <sup>3</sup>												
7	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6
6					29	28	27	34				
5			30	31	40	37	36	41	32	29		
4		36	37	36	42	40	41	39	43	36	33	
3		39	36	39	45	46	47	45	42	38	34	
2	23	38	36	48	42	49	53	45	42	37	38	24
1	25	33	37	45	52	58	60	51	46	38	36	25
1	26	34	36	44	49	61	57	50	45	39	34	27
2	25	35	34	41	42	52	51	51	42	42	48	24
3		37	43	39	48	48	47	39	41	38	36	
4		33	34	40	39	38	41	41	37	35	35	
5			29	29	36	35	34	32	42	28		
6					24	26	27	25				

Maximo - Minimo	Numero de datos	Medias
Maximo 61	N Total 112	Total de datos 38.52
Minimo 23	N25% Inferior 28	Del 25% Inferior 28.50
		$\sum(x_i - \bar{x})/n$ 6.34

$$cu = 100 * \left[ 1 - \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{\bar{x} * N} \right] \quad \text{Coeficiente de uniformidad de Christiansen CU} = 83.53\%$$

Elaboración propia.

En la figura 57 podemos apreciar la distribución de los volúmenes recogidos en los pluviómetros del aspersor artesanal tipo 1 con diámetro de emisores D = 1mm y presión de trabajo de 1 bar, donde al realizar el cálculo del coeficiente de uniformidad este arroja un valor de 83.53% el cual representa un valor aceptable al encontrarse por encima del 80% lo cual indica un buen reparto de agua sobre la superficie de riego, indicando que a esta presión y a este diámetro de emisores el aspersor artesanal tipo 1 D= 1 mm funciona de manera aceptable.

**Figura 58.**

Valor del coeficiente de uniformidad del aspersor T1 D=1 mm y presión de funcionamiento de 1.2 bar, volumen recogido en los pluviómetros.

DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (CU)														
Aspersor artesanal : Tipo I				Diametro de los emisores : 1.0 mm				Presión : 1.2 bar						
Volumen recogido en los pluviómetros Cm <sup>3</sup>														
	7	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6	7
7						15	18	18	15					
6				21	24	27	30	36	33	33	24			
5			24	24	27	33	33	36	33	33	33	30		
4		24	27	27	30	30	36	33	30	33	30	30	30	
3		27	21	30	33	33	39	39	39	36	36	33	33	
2	18	30	30	33	36	39	42	44	39	42	39	30	36	24
1	21	36	37	40	36	42	55	54	42	39	36	35	36	27
1	24	36	35	36	36	46	56	55	43	36	45	37	35	30
2	15	33	30	33	39	36	45	43	36	42	42	42	33	25
3		30	27	33	36	39	42	42	42	39	39	42	36	
4		33	30	36	36	36	37	39	39	36	42	42	30	
5			39	21	39	36	39	36	42	48	39	36		
6				15	27	33	33	32	48	42	33			
7						15	18	18	15					

Maximo - Minimo		Numero de datos		Medias	
Maximo	56	N Total	148	Total de datos	33.84
Minimo	15	N25% Inferior	37	Del 25% Inferior	23.05
				$\sum(x_i - \bar{x})/n$	6.24

$$cu = 100 * \left[ 1 - \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{\bar{x} * N} \right] \quad \text{Coeficiente de uniformidad de Christiansen CU} = 81.57\%$$

En la figura 58 podemos apreciar la distribución de los volúmenes recogidos en los pluviómetros del aspersor artesanal tipo 1 con diámetro de emisores D = 1mm y presión de trabajo de 1.2 bar, donde al realizar el cálculo del coeficiente de uniformidad este arroja un valor de 81.57% el cual representa un valor aceptable al encontrarse por encima del 80% lo cual indica un buen reparto de agua sobre la superficie de riego, indicando que a esta presión y a este diámetro de emisores el aspersor artesanal tipo 1 D= 1 mm funciona de manera aceptable.

**Figura 59.**

Valor del coeficiente de uniformidad del aspersor T 1  $D=1.5$  mm y presión de funcionamiento de 0.8 bar, volumen recogido en los pluviómetros.

DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (CU)										
Aspersor artesanal : Tipo I			Diametro de los emisores : 1.5 mm				Presión : 0.8 bar			
Volumen recogido en los pluviómetros Cm <sup>3</sup>										
	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5
5			34	58	68	68	46	22		
4		54	86	98	88	89	88	70	36	
3	46	92	87	90	84	90	98	96	70	32
2	74	104	96	66	73	76	78	94	86	46
1	61	87	87	74	88	86	75	90	85	54
1	66	82	84	71	78	81	73	92	83	68
2	76	95	92	64	67	73	82	91	98	48
3	56	84	110	90	82	94	97	87	78	34
4		64	98	89	84	86	70	90	48	
5			54	68	64	71	72	42		

Maximo - Minimo	Numero de datos	Medias
Maximo 110	N Total 88	Total de datos 75.52
Minimo 22	N25% Inferior 22	Del 25% Inferior 49.77
		$\sum(x_i - \bar{x})/n$ 14.67

$$cu = 100 * \left[ 1 - \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{\bar{x} * N} \right] \quad \text{Coeficiente de uniformidad de Christiansen CU} = 80.58\%$$

En la figura 59 podemos apreciar la distribución de los volúmenes recogidos en los pluviómetros del aspersor artesanal tipo 2 con diámetro de emisores  $D = 1.5$ mm y presión de trabajo de 0.8 bar, donde al realizar el cálculo del coeficiente de uniformidad este arroja un valor de 80.58% el cual representa un valor aceptable al encontrarse por encima del 80% lo cual indica un buen reparto de agua sobre la superficie de riego, indicando que a esta presión y a este diámetro de emisores el aspersor artesanal tipo 2  $D= 1.5$  mm funciona de manera aceptable.

**Figura 60.**

Valor del coeficiente de uniformidad del aspersor T 2 D=1 mm y presión de funcionamiento de 1 bar, volumen recogido en los pluviómetros.

DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (CU)										
Aspersor artesanal : Tipo II			Diametro de los emisores : 1.0 mm				Presión : 0.8 bar			
Volumen recogido en los pluviómetros Cm <sup>3</sup>										
	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5
5				33	27	30	31			
4			48	49	34	32	55	51		
3		27	42	35	36	35	33	37	31	
2	25	47	33	36	41	39	35	28	46	25
1	26	33	34	43	50	52	43	34	31	32
1	29	34	38	41	54	53	38	35	33	29
2	26	45	34	37	44	36	39	24	60	24
3		23	46	33	35	34	36	48	38	
4			48	53	35	31	60	49		
5				27	25	27	36			

Maximo - Minimo		Numero de datos		Medias	
Maximo	60	N Total	76	Total de datos	37.32
Minimo	23	N25% Inferior	19	Del 25% Inferior	27.11
				$\sum(x_i - \bar{x})/n$	7.31

$$cu = 100 * \left[ 1 - \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{\bar{x} * N} \right] \quad \text{Coeficiente de uniformidad de Christiansen } \mathbf{CU = 80.41\%}$$

En la figura 60 podemos apreciar la distribución de los volúmenes recogidos en los pluviómetros del aspersor artesanal tipo 2 con diámetro de emisores D = 1mm y presión de trabajo de 0.8bar, donde al realizar el cálculo del coeficiente de uniformidad este arroja un valor de 80.41% el cual representa un valor aceptable al encontrarse por encima del 80% lo cual indica un buen reparto de agua sobre la superficie de riego, indicando que a esta presión y a este diámetro de emisores el aspersor artesanal tipo 2 D = 1mm funciona de manera aceptable.

**Figura 61.**

Valor del coeficiente de uniformidad del aspersor T 2 D=1.5 mm y presión de funcionamiento de 1 bar, volumen recogido en los pluviómetros.

DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (CU)														
Aspersor artesanal : Tipo II				Diametro de los emisores : 1.5 mm				Presión : 1.0 bar						
Volumen recogido en los pluviómetros Cm <sup>3</sup>														
	7	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6	7
7					37	39	39	42	39	36				
6			37	38	45	42	47	49	45	45	36	36		
5		36	39	44	48	50	53	52	49	48	45	43	37	
4		41	42	48	52	53	64	63	52	50	49	48	36	
3	38	44	46	51	53	67	70	74	72	53	46	44	39	37
2	38	45	48	55	64	69	83	85	83	62	54	47	44	39
1	41	48	53	66	75	83	87	88	85	75	61	52	47	40
1	42	47	54	64	73	84	88	86	85	78	63	54	46	42
2	39	46	48	54	63	81	84	86	83	66	52	49	42	38
3	37	45	45	51	56	69	71	75	71	54	53	48	45	39
4		43	45	57	52	62	63	61	58	50	54	42	45	
5		36	41	45	54	51	52	55	51	60	53	48	39	
6			37	39	47	48	46	47	51	54	45	36		
7					37	38	39	41	39	37				

Maximo - Minimo		Numero de datos		Medias	
Maximo	88	N Total	164	Total de datos	64.50
Minimo	36	N25% Inferior	41	Del 25% Inferior	23.44
				$\sum(x_i - \bar{x})/n$	12.96

$$cu = 100 * \left[ 1 - \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{\bar{x} * N} \right] \quad \text{Coeficiente de uniformidad de Christiansen CU} = 82.79\%$$

En la figura 61 podemos apreciar la distribución de los volúmenes recogidos en los pluviómetros del aspersor artesanal tipo 2 con diámetro de emisores D = 1.5mm y presión de trabajo de 1bar, donde al realizar el cálculo del coeficiente de uniformidad este arroja un valor de 82.79% el cual representa un valor aceptable al encontrarse por encima del 80% lo cual indica un buen reparto de agua sobre la superficie de riego, indicando que a esta presión y a este diámetro de emisores el aspersor artesanal tipo 2 D = 1.5mm funciona de manera aceptable.

**Figura 62.**

*Resumen general de resultados obtenidos en todas las pruebas realizadas a los aspersores artesanales de brazos giratorios T1, T2.*

T1 1mm DE DIAMETRO DE EMISORES			T1 1.5mm DE DIAMETRO DE EMISORES			T1 2mm DE DIAMETRO DE EMISORES		
<b>Presión 0.4 Bar</b>	Altura del aspersor	1.3 m	<b>Presión 0.4 Bar</b>	Altura del aspersor	1.3 m	<b>Presión 0.4 Bar</b>	Altura del aspersor	1.3 m
	Radio mojado	3 m		Radio mojado	3 m		Radio mojado	3 m
	Caudal	383.80 l/h		Caudal	633.80 l/h		Caudal	803.57 l/h
	CU	79.44%		CU	77.95%		CU	33.79%
<b>Presión 0.6 Bar</b>	Altura del aspersor	1.3 m	<b>Presión 0.6 Bar</b>	Altura del aspersor	1.3 m	<b>Presión 0.6 Bar</b>	Altura del aspersor	1.3 m
	Radio mojado	5 m		Radio mojado	4.5 m		Radio mojado	3.5 m
	Caudal	459.18 l/h		Caudal	765.96 l/h		Caudal	994.48 l/h
	CU	75.12%		CU	54.69%		CU	56.45%
<b>Presión 0.8 Bar</b>	Altura del aspersor	1.3 m	<b>Presión 0.8 Bar</b>	Altura del aspersor	1.3 m	<b>Presión 0.8 Bar</b>	Altura del aspersor	1.3 m
	Radio mojado	6 m		Radio mojado	5.5 m		Radio mojado	4 m
	Caudal	508.47 l/h		Caudal	857.14 l/h		Caudal	1139.24 l/h
	CU	66.95%		CU	80.58%		CU	54.03%
<b>Presión 1 Bar</b>	Altura del aspersor	1.3 m	<b>Presión 1 Bar</b>	Altura del aspersor	1.3 m	<b>Presión 1 Bar</b>	Altura del aspersor	1.3 m
	Radio mojado	6.5 m		Radio mojado	6 m		Radio mojado	5 m
	Caudal	573.25 l/h		Caudal	932.64 l/h		Caudal	1276.60 l/h
	CU	83.53%		CU	78.33%		CU	54.78%
<b>Presión 1.2 Bar</b>	Altura del aspersor	1.3 m	<b>Presión 1.2 Bar</b>	Altura del aspersor	1.3 m	<b>Presión 1.2 Bar</b>	Altura del aspersor	1.3 m
	Radio mojado	7 m		Radio mojado	7 m		Radio mojado	6 m
	Caudal	638.51 l/h		Caudal	1003.26 l/h		Caudal	1448.62 l/h
	CU	81.57%		CU	70.54%		CU	51.34%

T2 1mm DE DIAMETRO DE EMISORES			T2 1.5mm DE DIAMETRO DE EMISORES			T2 2mm DE DIAMETRO DE EMISORES		
<b>Presión 0.4 Bar</b>	Altura del aspersor	1.3 m	<b>Presión 0.4 Bar</b>	Altura del aspersor	1.3 m	<b>Presión 0.4 Bar</b>	Altura del aspersor	1.3 m
	Radio mojado	3 m		Radio mojado	5 m		Radio mojado	3 m
	Caudal	243.57 l/h		Caudal	445.54 l/h		Caudal	560.75 l/h
	CU	74.23%		CU	77.40%		CU	71.43%
<b>Presión 0.6 Bar</b>	Altura del aspersor	1.3 m	<b>Presión 0.6 Bar</b>	Altura del aspersor	1.3 m	<b>Presión 0.6 Bar</b>	Altura del aspersor	1.3 m
	Radio mojado	4 m		Radio mojado	5.5 m		Radio mojado	5 m
	Caudal	315.24 l/h		Caudal	573.25 l/h		Caudal	664.21 l/h
	CU	75.20%		CU	76.35%		CU	75.07%
<b>Presión 0.8 Bar</b>	Altura del aspersor	1.3 m	<b>Presión 0.8 Bar</b>	Altura del aspersor	1.3 m	<b>Presión 0.8 Bar</b>	Altura del aspersor	1.3 m
	Radio mojado	5 m		Radio mojado	6 m		Radio mojado	6 m
	Caudal	398.23 l/h		Caudal	656.93 l/h		Caudal	782.61 l/h
	CU	80.41%		CU	74.96%		CU	71.68%
<b>Presión 1 Bar</b>	Altura del aspersor	1.3 m	<b>Presión 1 Bar</b>	Altura del aspersor	1.3 m	<b>Presión 1 Bar</b>	Altura del aspersor	1.3 m
	Radio mojado	6 m		Radio mojado	7 m		Radio mojado	6.5 m
	Caudal	446.65 l/h		Caudal	775.86 l/h		Caudal	886.70 l/h
	CU	72.50%		CU	82.79%		CU	57.11%
<b>Presión 1.2 Bar</b>	Altura del aspersor	1.3 m	<b>Presión 1.2 Bar</b>	Altura del aspersor	1.3 m	<b>Presión 1.2 Bar</b>	Altura del aspersor	1.3 m
	Radio mojado	7 m		Radio mojado	8 m		Radio mojado	7 m
	Caudal	514.45 l/h		Caudal	882.45 l/h		Caudal	945.82 l/h
	CU	69.66%		CU	63.83%		CU	44.25%

Elaboración propia.

## V. CONCLUSIONES

Se realizó el diseño geométrico y la construcción de dos tipos de aspersores artesanales de brazos giratorios (T1, T2), presentando el aspersor T1 como principal característica brazos de giro rectos, se construyó tres aspersores T1, de 1mm, 1.5mm y 2mm de diámetro de emisores respectivamente y cada aspersor T1 tiene 8 emisores a cada lado de sus brazos; y el aspersor T2 presentando como principal característica brazos de giro curvos, se construyó tres aspersores T2, de 1mm, 1.5mm y 2mm de diámetro de emisores respectivamente y cada aspersor T2 tiene 7 emisores a cada lado de sus brazos.

Se determinó las características hidráulicas de los aspersores artesanales giratorios (T1, T2), altura desde el nivel del suelo al aspersor para todas las pruebas fue constante de 1.3 metros, se determinó caudales para el aspersor T1 que varían desde 250.00 l/h hasta 1276.60 l/h, para el aspersor T2 los caudales varían desde 149.01 l/h hasta 886.70 l/h, para presiones que van de 0.4 bar a 1 bar respectivamente. El radio de humedecimiento para el aspersor T1 varían desde los 3 m hasta los 7 m, para el aspersor T2 varían desde los 3 m hasta los 8 m. El diámetro de boquilla de los emisores para los aspersores T1 y T2 fue de 1,1.5 y 2 mm.

Se determinó el CU de Christiansen para todas las pruebas, de los cuales solo aquellos que obtuvieron valores mayores o iguales a 80% son considerados aceptables según Christiansen puesto que refleja una correcta distribución del agua bajo riego, el aspersor artesanal T1 de 1mm a una presión de trabajo de 1 bar obtuvo un CU = 83.53%, el aspersor T1 de 1 mm a una presión de 1.2 bar obtuvo un CU = 81.57%, el aspersor T1 de 1.5 mm a una presión de 0.8 bar obtuvo un CU = 80.58%. El aspersor artesanal T2 de 1.5 mm a una presión de trabajo de 1 bar obtuvo un CU = 82.79%, el aspersor T2 de 1 mm a una presión de 0.8 bar obtuvo un CU = 80.41%.

## VI. RECOMENDACIONES

Para el aspersor T1 de 1mm de diámetro de emisores es recomendable usarlo en riegos de almácigos y hortalizas en proceso de germinación debido a que presenta gotas finas, así evitando erosionar el suelo y dañar las plantas. Por otro lado, es recomendable no sobrepasar 1 bar de presión debido a que a mayor presión mayor sería el pulverizado de las gotas de agua y en consecuencia más fácil sería el arrastre de estas en la dirección del viento, así mismo a mayor presión mayor velocidad de los brazos de giro ocasionando mayor desgaste por fricción entre el eje de giro y los brazos de giro por consiguiente menor tiempo de duración del aspersor.

Se recomienda que en futuras investigaciones se evalúe el alcance del radio mojado al variar la altura del aspersor con respecto al nivel del suelo, debido a que a mayor altura del aspersor mayor alcance del radio mojado y mayor facilidad del viento en arrastrar las gotas del agua en la dirección en que este se mueva, y por otro lado a menor altura de este menor será el alcance del radio mojado y menor interferencia del viento en las gotas de agua.

Se recomienda trabajar con las presiones en los cuales los aspersores artesanales obtuvieron un coeficiente de uniformidad de Christiansen CU de 80% como mínimo.

Para los tipos de aspersores artesanales que superaron el 80% en el coeficiente de uniformidad de Christiansen, se recomienda que los solapes para marco de riego cuadrado y triangular tendrán una separación entre aspersores y ramales del 60% del diámetro mojado. Y para marcos de riego rectangulares se recomienda una separación entre aspersores del 40% del diámetro mojado y la separación entre ramales del 75% del diámetro mojado.

## VII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Stambouli, T., Zapata, N., Playán, E., & Faci., J. (2014). *Determinación al aire libre de la curva radial de descarga de agua de un aspersor con boquillas de plástico*. Tierras de Castilla y León, España. Recuperado el 25 de Noviembre de 2017, de [http://digital.csic.es/bitstream/10261/156750/1/PlayanE\\_TierrCastL\\_2013.pdf](http://digital.csic.es/bitstream/10261/156750/1/PlayanE_TierrCastL_2013.pdf)
- Tarjuelo Martin- Benito, J. (1991). *El riego por aspersión: diseño y funcionamiento*. Madrid, España: graficas Colomer, S.A. Albacete.
- Baltazar Poma, I., & Chipana Mendoza, G. (2016). Estudio del comportamiento hidráulico relacionado a la uniformidad de aplicación, mediante el método de riego por aspersión en la estación experimental choquenaira. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*. (Tesis de pregrado), La Paz.
- Calderon Matey, R. A., & Lopez Rodriguez, J. I. (2009). Evaluación del sistema de riego por micro aspersión artesanal fijo en el parque de ciencia Esteli mar, Esteli. (*Tesis de pre Grado*). Universidad Nacional Agraria Facultad de Aronomia, Managua, Nicaragua.
- Cenicaña. (2015). Posted. Obtenido de <https://www.cenicana.org/riego-por-aspersion/>
- Centers for Disease control and prevention. (14 de october de 2018). *Types of Agricultural Water Retrieved*. Recuperado el 2021, de <https://www.cdc.gov/healthywater/other/agricultura l/types.html>
- Chávez Ticona, H. (2011). Comportamiento hidraulico del aspersor artesanal para la distribucion optima del riego en regiones del valle. (*Tesis de pregrado*). Universidad Mayor Pacensis Divi Andre AE, La Paz. Obtenido de <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/8077>

- De la Cruz , J. (2015). *Evaluación del coeficiente de uniformidad y eficiencia de aplicación en el sistema de riego por aspersión Pacuri -Socos – Ayacucho*. Universidad Nacional de San Cristobal de Huamanga, Ayacucho.
- El Regante. (2014). *slideshare*. Obtenido de Emisores de riego: <https://es.slideshare.net/Julianalsola/citas-electricas-segun-la-apa>.
- Fernández Gómez, R., A, N., Oyonarte Gutiérrez, Oyonarte Gutiérrez, J. P., García Bernal, M. Y., Milla Milla, M., Ávila Alabarces, R., & Gavilán Zafra, P. (2010). *Manual de Riego para Agricultores Módulo 3*. Instituto de Investigacion y Formacion Agraria Pesquera. Sevilla: Signatura Ediciones de Andalucía, S.L. doi:978-84-8474-134-3
- Lamo Jimenez, J. (sn). *Manual*. Obtenido de <https://fundacionsuna.org/wp-content/uploads/PDF/Jaime-Lamo/MANUAL-M%C3%89TODOS-DE-SISTEMAS-DE-RIEGO.pdf>
- López Rivera, C. P. (2018). Limitaciones del riego artesanal y diseño de un sistema de riego por aspersión en el fundo Tauca-Tarma. *Linea de investigacion : Nuevas Tecnologias y procesos*. Universidad Peruana los Andes, Huancayo, Peru .
- Marco Andrés Mena Zapata , M. A. (2014). Diseño de un sistema de riego parcelario para el sistema de riego Pastora Alomia. (*Tesis de pregrado*). Universidad Internacional SEK, Cantón Montufar, Carchi, Ecuador .
- Rafael, F. G., Oyonarte Gutiérrez, N. A., García Bernal, J. P., Yruela Morillo, M. d., Milla Milla, M., Ávila Alabarces, R., & Gavilán Zafra, P. (2010). *Manual de riego para agricultores: módulo 4. Riego localizado*. Sevilla. , España: Consejería de Agricultura y Pesca, Servicio de Publicaciones y Divulgación.

- Ramirez Tarazona, S. I. (2018). En su tesis Diseño y caracterización de micro aspersores artesanales para riego en horticultura, en el centro de investigación y experimentación Cañasbamba – UNASAM. (*Tesis de pregrado*). Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz.
- Santos Pereira, L., Arturo de Juan Valero, J., Picornell Buendía, M. R., & Tarjuelo Martín-Benito, J. M. (2010). *El riego y sus tecnologías*. Madrid: Europa-América. Recuperado el 17 de Julio de 2017, de <https://docplayer.es/82328-El-riego-y-sus-tecnologias-luis-santos-pereira-josearturo-de-juan-valero-maria-raquel-picornell-buendia-jose-ma-tarjuelo-martinbenito.html>
- Tarjuelo Martín- Benito, J. M. (1999). El riego por aspersión y su tecnología. Madrid , España: Ediciones Mundi-Prensa.
- Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C., & Cañamero, M. (2017). *Fundamentos de la ingeniería de riego*. (J. Carlos Vilcapoma, Ed.) Lima, Perú.

## VIII. ANEXOS

### Anexo A.

#### Curva radial de distribución

**Tabla A1.**

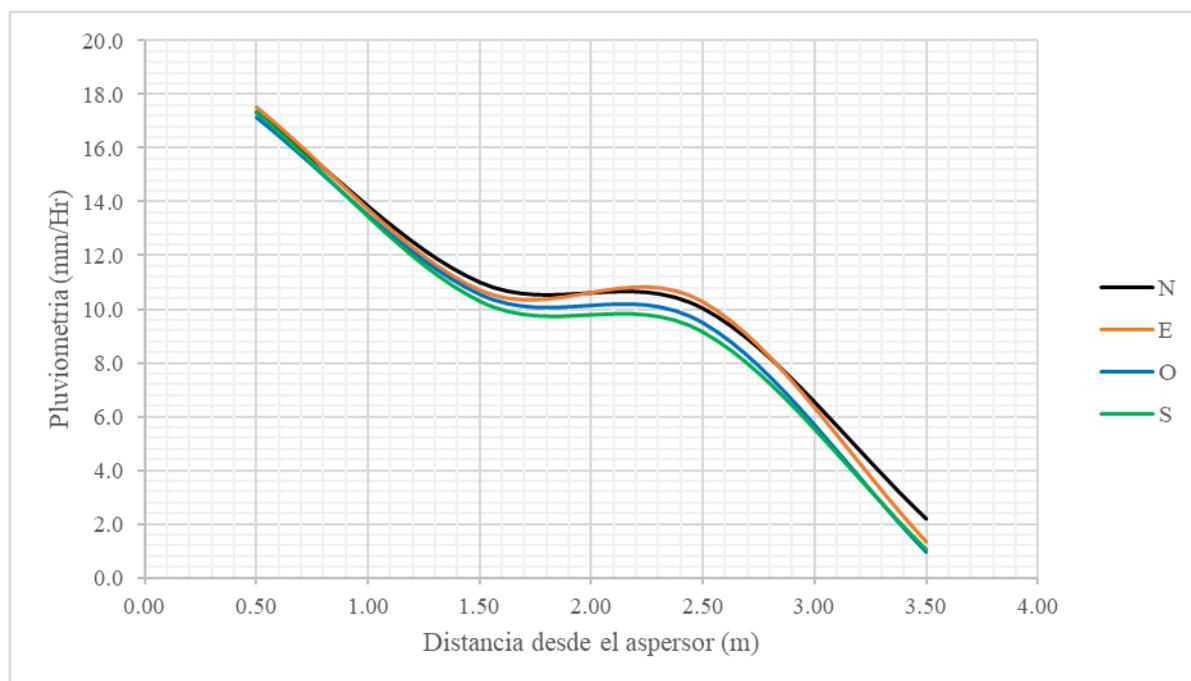
Valores de la pluviometría recogida en dirección de cuatro radios aspersor T1

Aspersor artesanal	: Tipo I	Fecha	: 17/11/2020
Diametro de los emisores	: 1.0 mm	Inicio de prueba	: 09 : 56 am
Presión	: 0.4 bares	Fin de prueba	: 10 : 56 am
Altura del aspersor artesanal	: 1.3 m	Duración	: 60 minutos
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1 m	Velocidad del viento	: 0.3 - 0.6 m/s
Diámetro de pluviometro	: 12 cm	Area de pluviometro	: 113.1 cm <sup>2</sup>

Distancia (m)	Volumen Colectado Cm <sup>3</sup>				Pluviometría (mm/h)			
	Norte	Este	Oeste	Sur	Norte	Este	Oeste	Sur
0.50	196	198	194	196	17.3	17.5	17.2	17.3
1.50	125	121	120	117	11.0	10.7	10.6	10.3
2.50	114	116	108	104	10.0	10.3	9.5	9.2
3.50	25	15	11	12	2.2	1.3	1.0	1.1

**Figura A1.**

Curva radial y/o modelo de reparto de agua para valores de la tabla A1



**Tabla A2.**

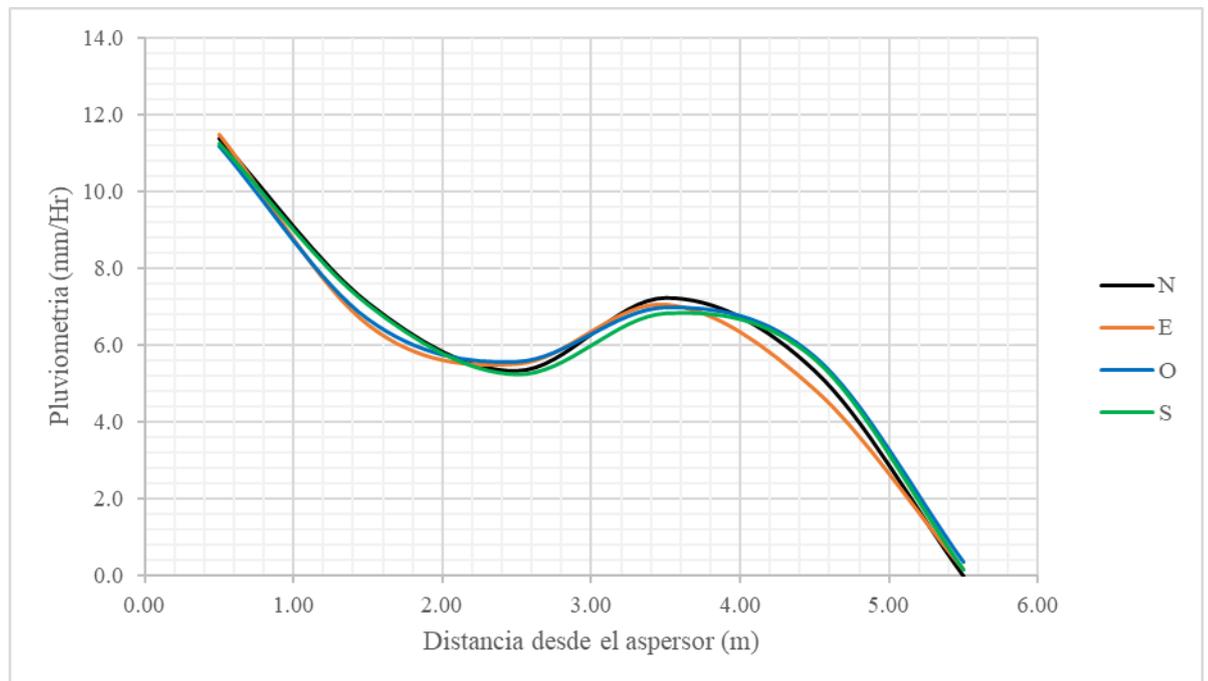
*Valores de la pluviometría recogida en dirección de cuatro radios aspersor T1*

Aspersor artesanal	: Tipo I	Fecha	: 17/11/2020
Diametro de los emisores	: 1.0 mm	Inicio de prueba	: 11 : 00 am
Presión	: 0.6 bares	Fin de prueba	: 12 : 00 pm
Altura del aspersor artesanal	: 1.3 m	Duración	: 60 minutos
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1 m	Velocidad del viento	: 0.2 - 0.7 m/s
Diámetro de pluviometro	: 12 cm	Area de pluviometro	: 113.1 cm <sup>2</sup>

Distancia (m)	Volumen Colectado Cm <sup>3</sup>				Pluviometría (mm/h)			
	Norte	Este	Oeste	Sur	Norte	Este	Oeste	Sur
0.50	129	130	127	128	11.4	11.5	11.2	11.3
1.50	81	74	76	80	7.1	6.5	6.7	7.1
2.50	61	63	63	60	5.3	5.5	5.6	5.3
3.50	82	80	79	78	7.3	7.1	7.0	6.9
4.50	61	55	65	64	5.3	4.9	5.7	5.7
5.50	0	2	4	2	0.0	0.2	0.4	0.2

**Figura A2.**

*Curva radial y/o modelo de reparto de agua para valores de la tabla A2*



**Tabla A3.**

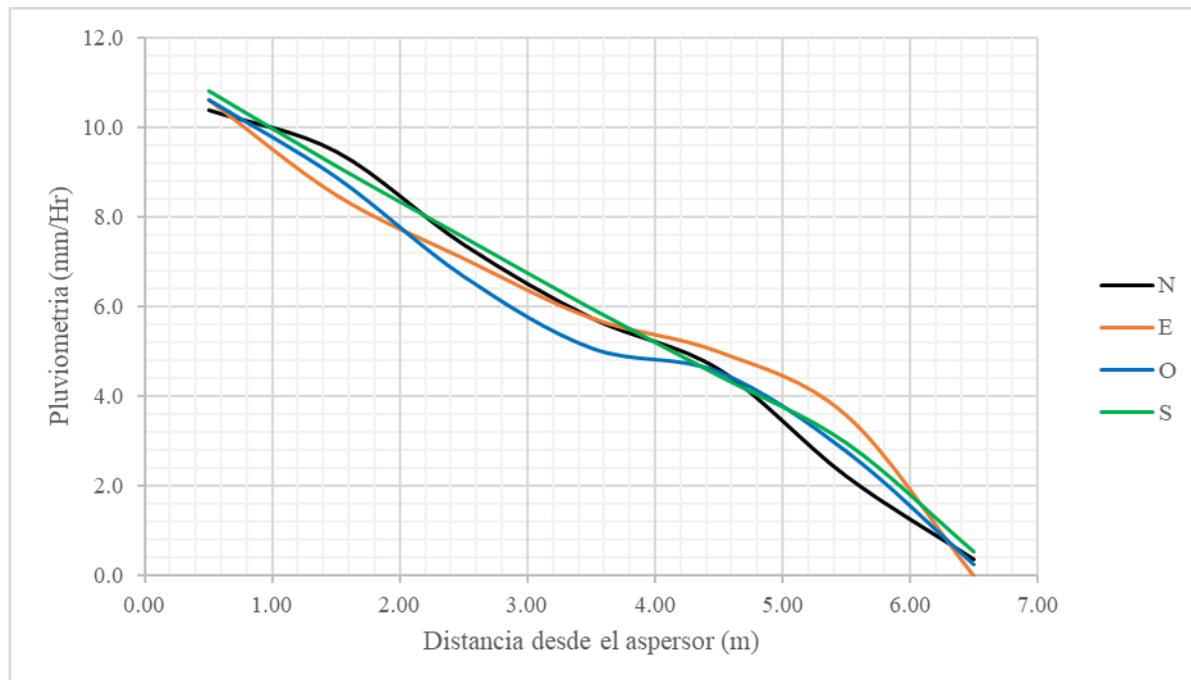
Valores de la pluviometría recogida en dirección de cuatro radios aspersor T1

Aspersor artesanal	: Tipo I	Fecha	: 21/11/2020
Diametro de los emisores	: 1.0 mm	Inicio de prueba	: 03 : 00 pm
Presión	: 0.8 bares	Fin de prueba	: 04 : 00 am
Altura del aspersor artesanal	: 1.3 m	Duración	: 60 minutos
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1 m	Velocidad del viento	: 0.4 - 0.9 m/s
Diámetro de pluviometro	: 12 cm	Area de pluviometro	: 113.1 cm <sup>2</sup>

Distancia (m)	Volumen Colectado Cm <sup>3</sup>				Pluviometría (mm/h)			
	Norte	Este	Oeste	Sur	Norte	Este	Oeste	Sur
0.50	118	120	120	123	10.4	10.6	10.6	10.8
1.50	107	96	101	104	9.5	8.5	8.9	9.2
2.50	84	80	76	86	7.4	7.1	6.7	7.6
3.50	65	65	58	68	5.7	5.7	5.1	6.0
4.50	52	57	52	51	4.6	5.0	4.6	4.5
5.50	25	41	32	34	2.2	3.6	2.8	3.0
6.50	4	0	3	6	0.4	0.0	0.3	0.5

**Figura A3.**

Curva radial y/o modelo de reparto de agua para valores de la tabla A3.



**Tabla A4.**

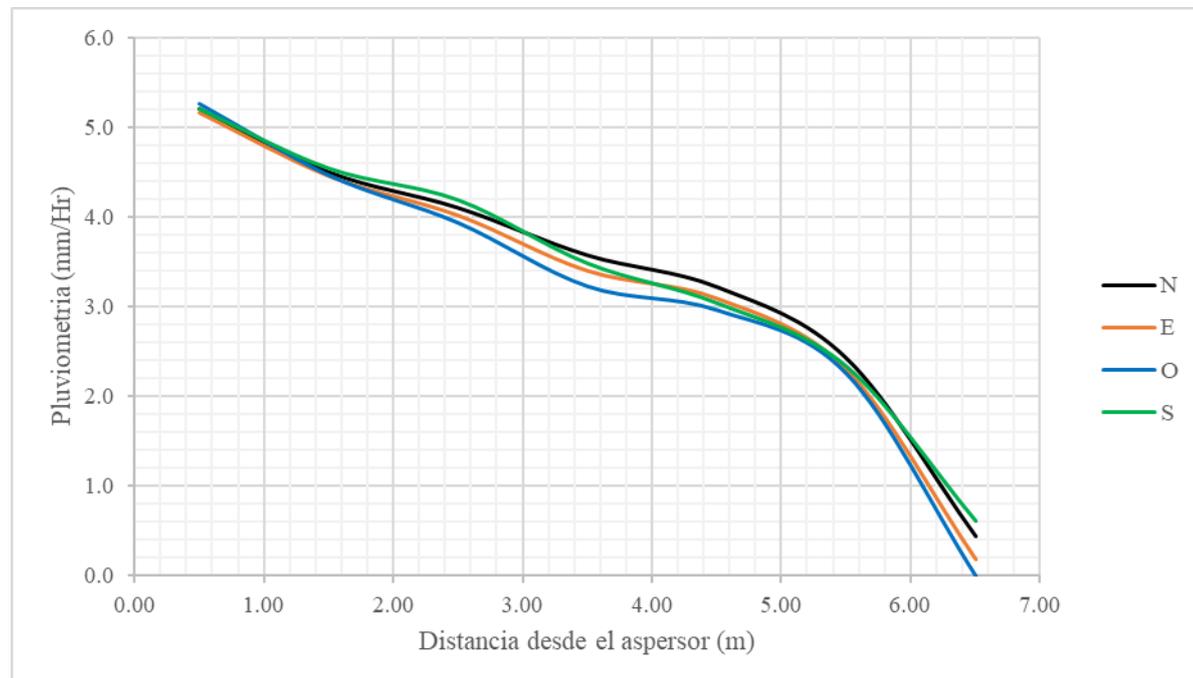
Valores de la pluviometría recogida en dirección de cuatro radios aspersor T1

Aspersor artesanal	: Tipo I	Fecha	: 22/11/2020
Diametro de los emisores	: 1.0 mm	Inicio de prueba	: 10 : 19 am
Presión	: 1.0 bares	Fin de prueba	: 11 : 19 am
Altura del aspersor artesanal	: 1.3 m	Duración	: 60 minutos
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1 m	Velocidad del viento	: 0.3 - 0.6 m/s
Diámetro de pluviómetro	: 12 cm	Área de pluviómetro	: 113.1 cm <sup>2</sup>

Distancia (m)	Volumen Colectado Cm <sup>3</sup>				Pluviometría (mm/h)			
	Norte	Este	Oeste	Sur	Norte	Este	Oeste	Sur
0.50	59	59	60	59	5.2	5.2	5.3	5.2
1.50	51	51	51	52	4.5	4.5	4.5	4.6
2.50	47	46	45	48	4.1	4.0	3.9	4.2
3.50	41	39	37	40	3.6	3.4	3.2	3.5
4.50	37	35	34	35	3.2	3.1	3.0	3.1
5.50	28	26	26	27	2.4	2.3	2.3	2.3
6.50	5	2	0	7	0.4	0.2	0.0	0.6

**Figura A4.**

Curva radial y/o modelo de reparto de agua para valores de la tabla A4



**Tabla A5.**

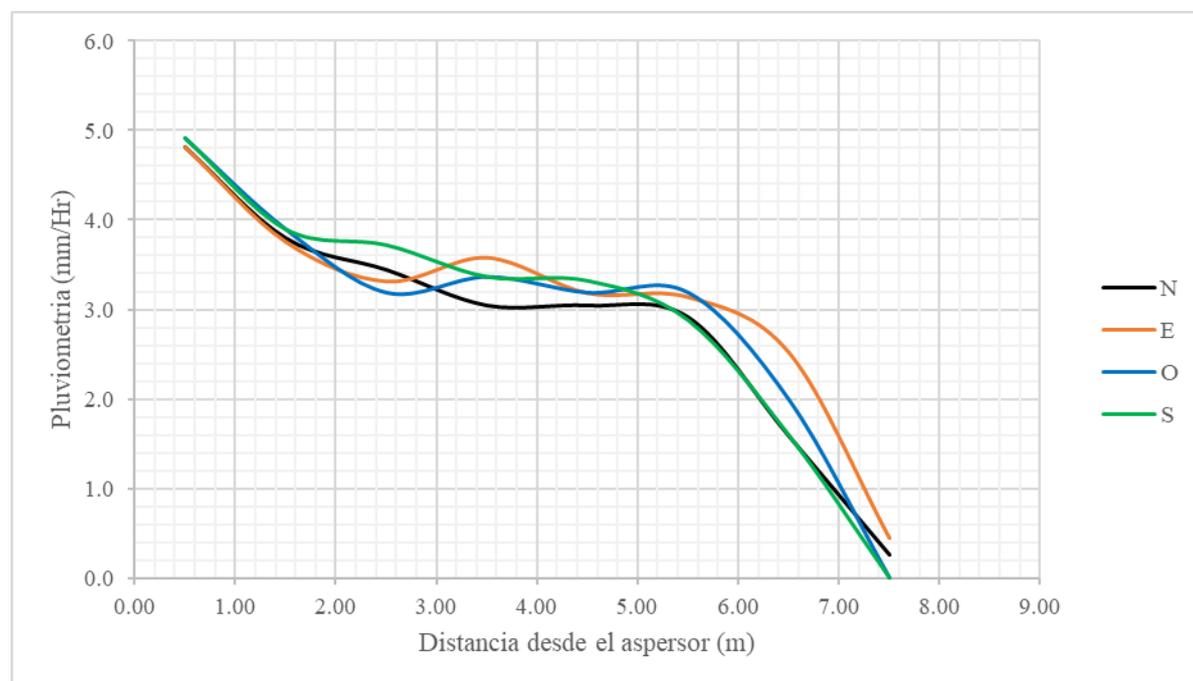
Valores de la pluviometría recogida en dirección de cuatro radios aspersor T1

Aspersor artesanal	: Tipo I	Fecha	: 22/11/2020
Diametro de los emisores	: 1.0 mm	Inicio de prueba	: 03 : 53 pm
Presión	: 1.2 bares	Fin de prueba	: 04 : 53 pm
Altura del aspersor artesanal	: 1.3 m	Duración	: 60 minutos
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1 m	Velocidad del viento	: 0.3 - 0.8 m/s
Diámetro de pluviometro	: 12 cm	Area de pluviometro	: 113.1 cm <sup>2</sup>

Distancia (m)	Volumen Colectado Cm <sup>3</sup>				Pluviometría (mm/h)			
	Norte	Este	Oeste	Sur	Norte	Este	Oeste	Sur
0.50	55	55	56	56	4.8	4.8	4.9	4.9
1.50	43	43	44	44	3.8	3.8	3.9	3.9
2.50	39	38	36	42	3.4	3.3	3.2	3.7
3.50	35	41	38	38	3.1	3.6	3.4	3.4
4.50	35	36	36	38	3.1	3.2	3.2	3.3
5.50	33	36	36	33	2.9	3.1	3.2	2.9
6.50	18	29	23	18	1.6	2.5	2.0	1.6
7.50	3	5	0	0	0.3	0.4	0.0	0.0

**Figura A5.**

Curva radial y/o modelo de reparto de agua para valores de la tabla A5



**Tabla A6.**

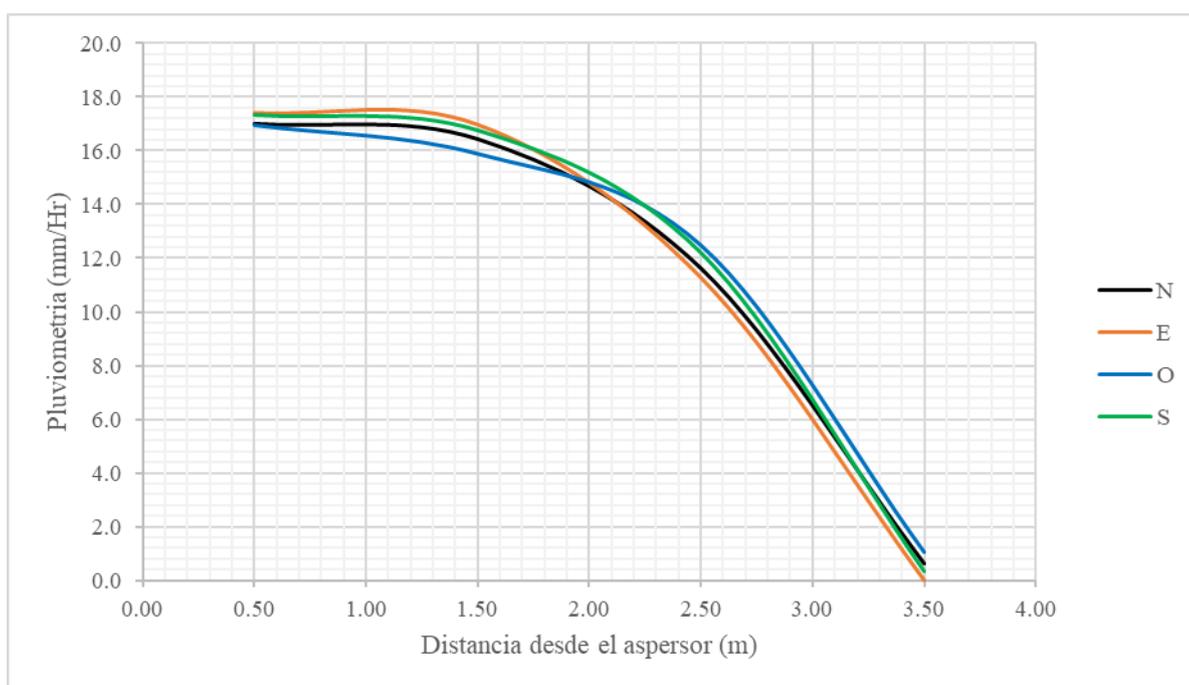
Valores de la pluviometría recogida en dirección de cuatro radios aspersor T1

Aspersor artesanal	: Tipo I	Fecha	: 17/11/2020
Diametro de los emisores	: 1.5 mm	Inicio de prueba	: 08 : 10 am
Presión	: 0.4 bares	Fin de prueba	: 09 : 10 am
Altura del aspersor artesanal	: 1.3 m	Duración	: 60 minutos
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1 m	Velocidad del viento	: 0.2 - 0.4 m/s
Diámetro de pluviometro	: 12 cm	Area de pluviometro	: 113.1 cm <sup>2</sup>

Distancia (m)	Volumen Colectado Cm <sup>3</sup>				Pluviometría (mm/h)			
	Norte	Este	Oeste	Sur	Norte	Este	Oeste	Sur
0.50	193	197	192	196	17.0	17.4	16.9	17.3
1.50	186	192	180	190	16.4	17.0	15.9	16.8
2.50	132	128	141	138	11.6	11.3	12.5	12.2
3.50	7	0	12	4	0.6	0.0	1.1	0.4

**Figura A6.**

Curva radial y/o modelo de reparto de agua para valores de la tabla A6



**Tabla A7.**

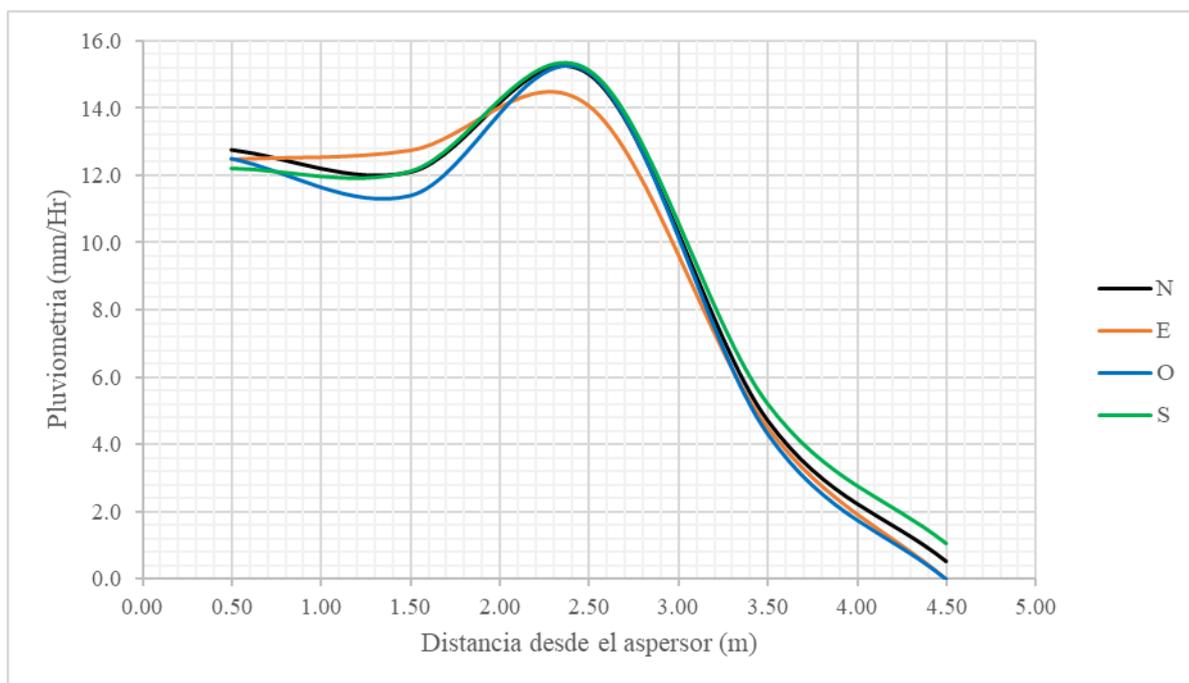
Valores de la pluviometría recogida en dirección de cuatro radios aspersor T1

Aspersor artesanal	: Tipo I	Fecha	: 17/11/2020
Diametro de los emisores	: 1.5 mm	Inicio de prueba	: 09 : 56 pm
Presión	: 0.6 bares	Fin de prueba	: 10 : 56 pm
Altura del aspersor artesanal	: 1.3 m	Duración	: 60 minutos
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1 m	Velocidad del viento	: 0.4 - 0.8 m/s
Diámetro de pluviometro	: 12 cm	Area de pluviometro	: 113.1 cm <sup>2</sup>

Distancia (m)	Volumen Colectado Cm <sup>3</sup>				Pluviometría (mm/h)			
	Norte	Este	Oeste	Sur	Norte	Este	Oeste	Sur
0.50	145	141	142	138	12.8	12.5	12.5	12.2
1.50	137	144	129	137	12.1	12.7	11.4	12.1
2.50	170	159	171	171	15.0	14.1	15.1	15.1
3.50	54	51	49	59	4.7	4.5	4.3	5.2
4.50	6	0	0	12	0.5	0.0	0.0	1.1

**Figura A7.**

Curva radial y/o modelo de reparto de agua para valores de la tabla A7



**Tabla A8.**

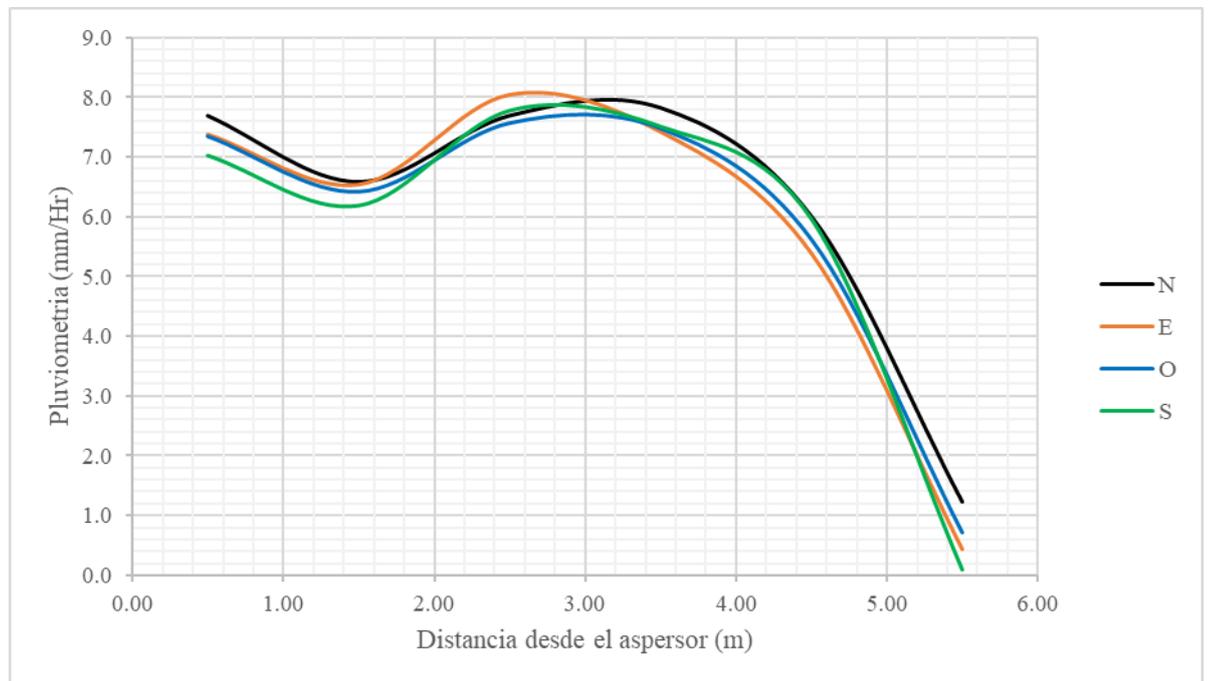
*Valores de la pluviometría recogida en dirección de cuatro radios aspersor T1*

Aspersor artesanal	: Tipo I	Fecha	: 17/11/2020
Diametro de los emisores	: 1.5 mm	Inicio de prueba	: 02 : 35 pm
Presión	: 0.8 bares	Fin de prueba	: 03 : 35 pm
Altura del aspersor artesanal	: 1.3 m	Duración	: 60 minutos
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1 m	Velocidad del viento	: 0.6 - 1 m/s
Diámetro de pluviometro	: 12 cm	Area de pluviometro	: 113.1 cm <sup>2</sup>

Distancia (m)	Volumen Colectado Cm <sup>3</sup>				Pluviometría (mm/h)			
	Norte	Este	Oeste	Sur	Norte	Este	Oeste	Sur
0.50	87	84	83	80	7.7	7.4	7.3	7.0
1.50	75	74	73	70	6.6	6.5	6.4	6.2
2.50	87	91	86	88	7.7	8.0	7.6	7.8
3.50	89	84	85	85	7.8	7.4	7.5	7.5
4.50	68	61	64	68	6.0	5.4	5.6	6.0
5.50	14	5	8	1	1.2	0.4	0.7	0.1

**Figura A8.**

*Curva radial y/o modelo de reparto de agua para valores de la tabla A8*



**Tabla A9.**

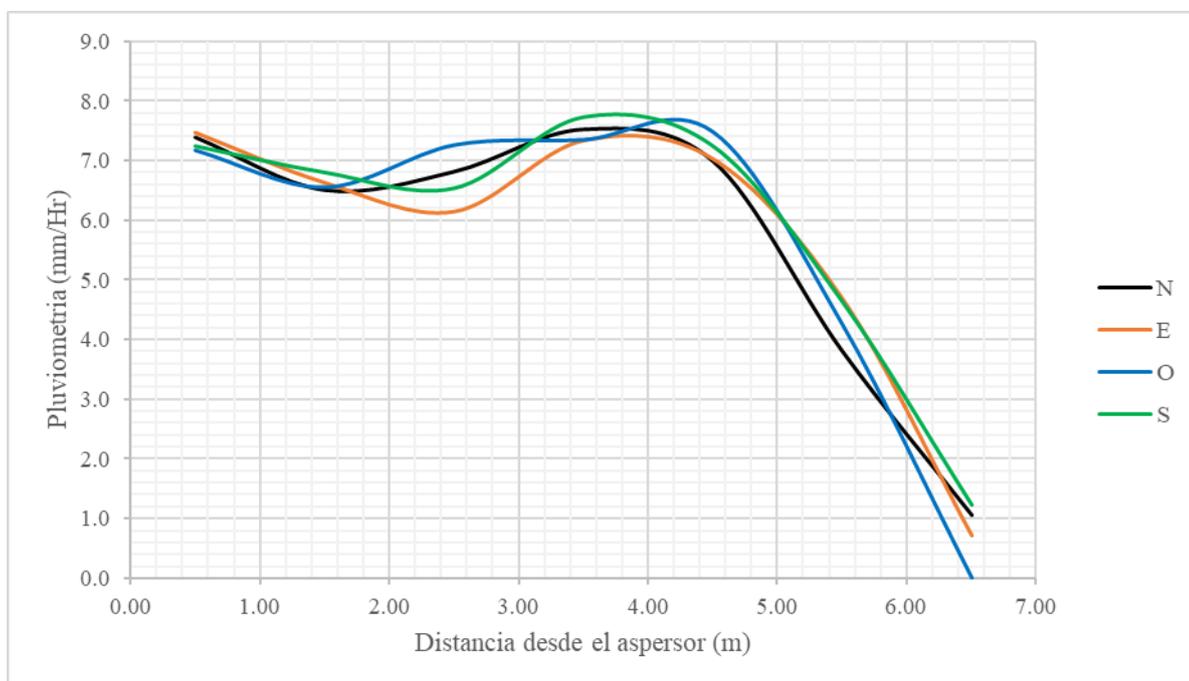
*Valores de la pluviometría recogida en dirección de cuatro radios aspersor T1*

Aspersor artesanal	: Tipo I	Fecha	: 18/11/2020
Diametro de los emisores	: 1.5 mm	Inicio de prueba	: 06 : 40 am
Presión	: 1.0 bares	Fin de prueba	: 07 : 40 am
Altura del aspersor artesanal	: 1.3 m	Duración	: 60 minutos
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1 m	Velocidad del viento	: 0.2 - 0.4 m/s
Diámetro de pluviometro	: 12 cm	Area de pluviometro	: 113.1 cm <sup>2</sup>

Distancia (m)	Volumen Colectado Cm <sup>3</sup>				Pluviometría (mm/h)			
	Norte	Este	Oeste	Sur	Norte	Este	Oeste	Sur
0.50	84	85	81	82	7.4	7.5	7.2	7.3
1.50	74	75	74	77	6.5	6.6	6.5	6.8
2.50	77	70	82	74	6.8	6.1	7.3	6.5
3.50	85	83	83	88	7.5	7.3	7.3	7.7
4.50	79	80	85	82	7.0	7.0	7.5	7.3
5.50	43	53	48	53	3.8	4.7	4.2	4.6
6.50	12	8	0	14	1.1	0.7	0.0	1.2

**Figura A9.**

*Curva radial y/o modelo de reparto de agua para valores de la tabla A9*



**Tabla A10.**

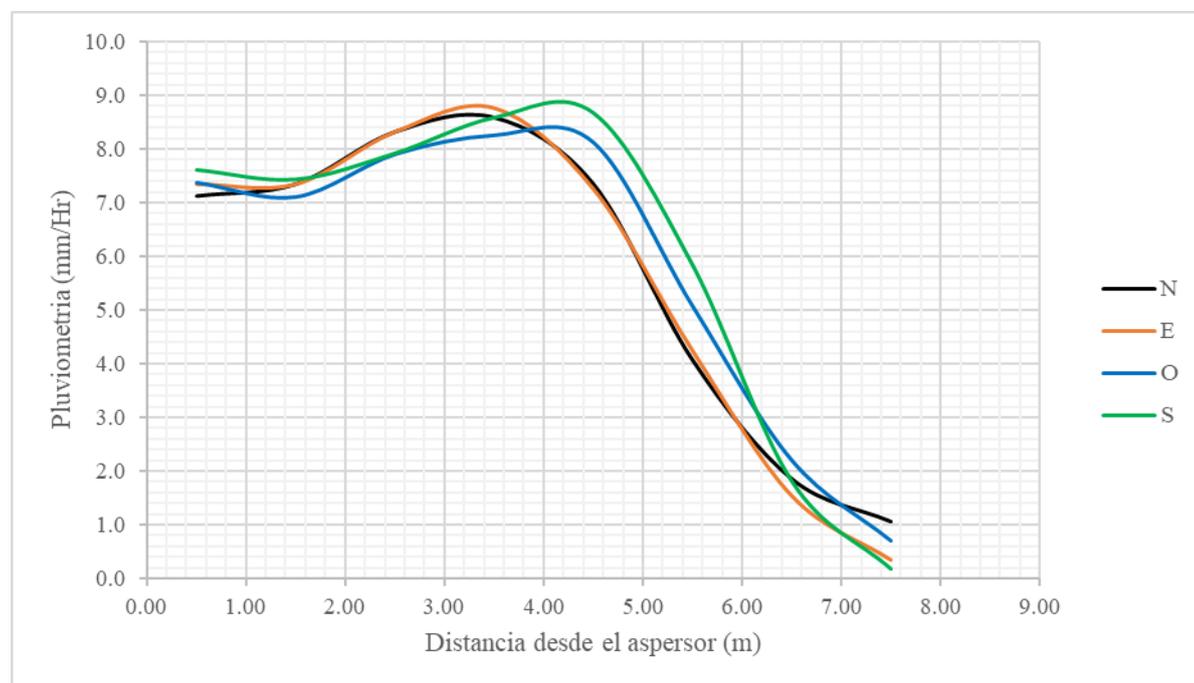
Valores de la pluviometría recogida en dirección de cuatro radios aspersor T1

Aspersor artesanal	: Tipo I	Fecha	: 28/11/2020
Diametro de los emisores	: 1.5 mm	Inicio de prueba	: 09 : 29 am
Presión	: 1.2 bares	Fin de prueba	: 10 : 29 am
Altura del aspersor artesanal	: 1.3 m	Duración	: 60 minutos
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1 m	Velocidad del viento	: 0.4 - 0.8 m/s
Diámetro de pluviometro	: 12 cm	Area de pluviometro	: 113.1 cm <sup>2</sup>

Distancia (m)	Volumen Colectado Cm <sup>3</sup>				Pluviometría (mm/h)			
	Norte	Este	Oeste	Sur	Norte	Este	Oeste	Sur
0.50	80.5	83.0	83.5	86.0	7.1	7.3	7.4	7.6
1.50	83.0	83.0	80.5	84.0	7.3	7.3	7.1	7.4
2.50	94.0	94.0	89.5	89.5	8.3	8.3	7.9	7.9
3.50	97.0	99.0	93.5	97.0	8.6	8.8	8.3	8.6
4.50	83.0	82.0	92.0	98.0	7.3	7.3	8.1	8.7
5.50	46.0	48.0	57.5	66.0	4.1	4.2	5.1	5.8
6.50	21.0	17.5	25.0	20.5	1.9	1.5	2.2	1.8
7.50	12.0	4.0	8.0	2.0	1.1	0.4	0.7	0.2

**Figura A10.**

Curva radial y/o modelo de reparto de agua para valores de la tabla A10



**Tabla A11.**

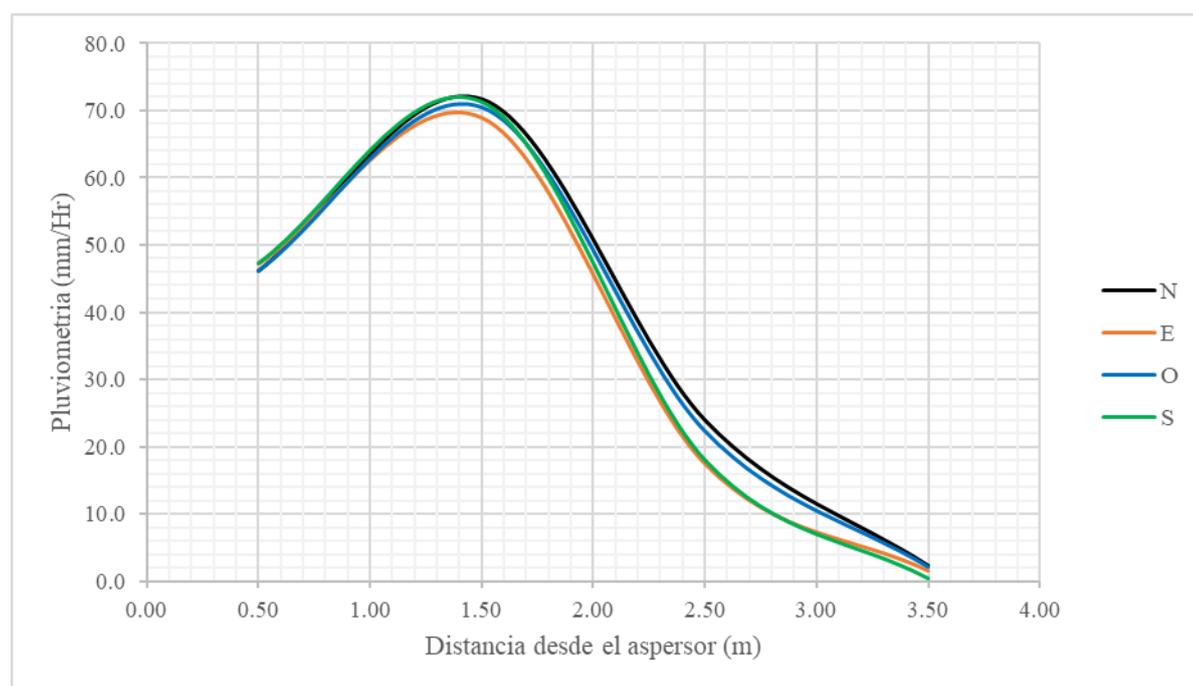
*Valores de la pluviometría recogida en dirección de cuatro radios aspersor T1*

Aspersor artesanal	: Tipo I	Fecha	: 22/11/2020
Diametro de los emisores	: 2.0 mm	Inicio de prueba	: 03 : 53 pm
Presión	: 0.4 bares	Fin de prueba	: 04 : 53 pm
Altura del aspersor artesanal	: 1.3 m	Duración	: 60 minutos
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1 m	Velocidad del viento	: 0.3 - 0.8 m/s
Diámetro de pluviometro	: 12 cm	Area de pluviometro	: 113.1 cm <sup>2</sup>

Distancia (m)	Volumen Colectado Cm <sup>3</sup>				Pluviometría (mm/h)			
	Norte	Este	Oeste	Sur	Norte	Este	Oeste	Sur
0.50	522	534	523	535	46.1	47.2	46.2	47.3
1.50	811	780	798	806	71.7	69.0	70.6	71.3
2.50	270	198	252	204	23.9	17.5	22.3	18.0
3.50	25	18	23	5	2.2	1.6	2.0	0.4

**Figura A11.**

*Curva radial y/o modelo de reparto de agua para valores de la tabla A11*



**Tabla A12.**

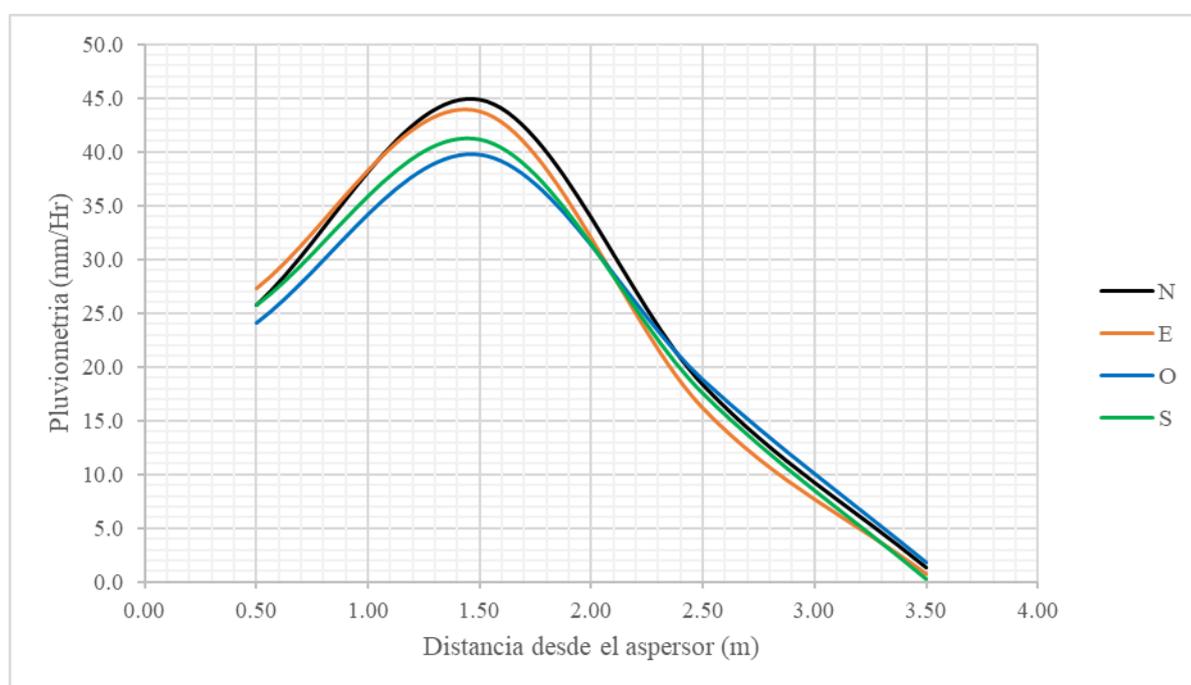
*Valores de la pluviometría recogida en dirección de cuatro radios aspersor T1*

Aspersor artesanal	: Tipo I	Fecha	: 22/11/2020
Diametro de los emisores	: 2.0 mm	Inicio de prueba	: 10 : 30 am
Presión	: 0.6 bares	Fin de prueba	: 11 : 30 am
Altura del aspersor artesanal	: 1.3 m	Duración	: 60 minutos
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1 m	Velocidad del viento	: 0.4 - 0.8 m/s
Diámetro de pluviometro	: 12 cm	Area de pluviometro	: 113.1 cm <sup>2</sup>

Distancia (m)	Volumen Colectado Cm <sup>3</sup>				Pluviometría (mm/h)			
	Norte	Este	Oeste	Sur	Norte	Este	Oeste	Sur
0.50	291	309	273	291	25.7	27.3	24.1	25.7
1.50	507	495	450	465	44.8	43.8	39.8	41.1
2.50	207	183	213	198	18.3	16.2	18.8	17.5
3.50	15	9	21	3	1.3	0.8	1.9	0.3

**Figura A12.**

*Curva radial y/o modelo de reparto de agua para valores de la tabla A12*



**Tabla A13.**

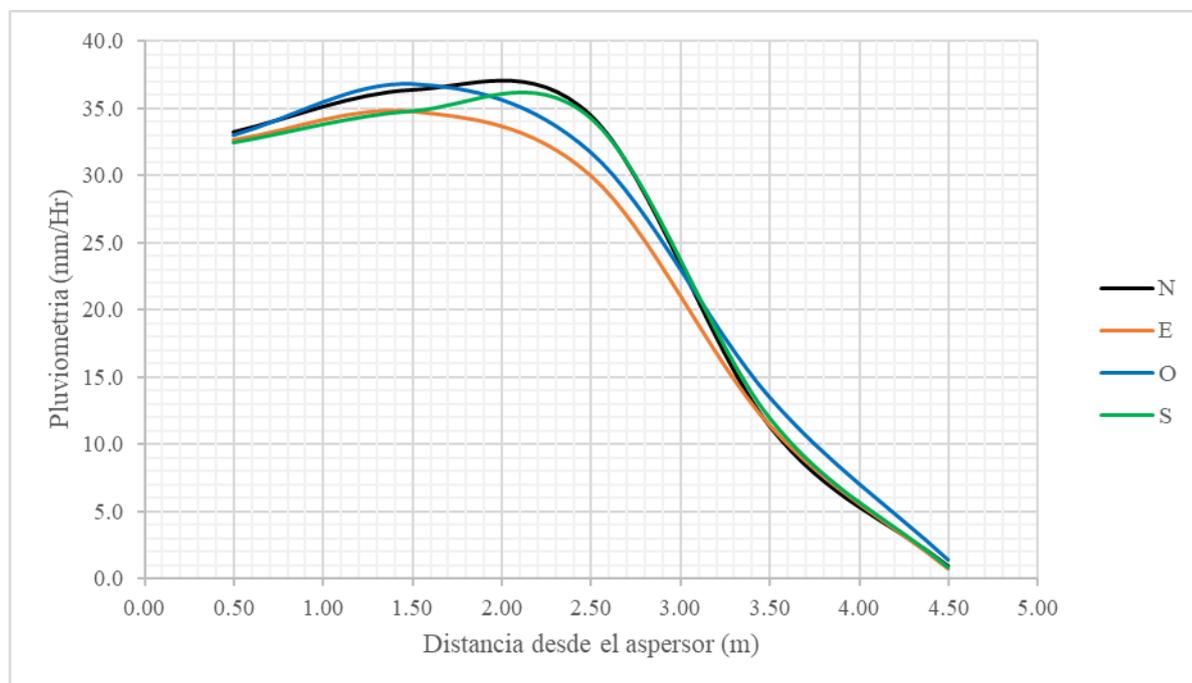
*Valores de la pluviometría recogida en dirección de cuatro radios aspersor T1*

Aspersor artesanal	: Tipo I	Fecha	: 22/11/2020
Diametro de los emisores	: 2.0 mm	Inicio de prueba	: 01 : 20 pm
Presión	: 0.8 bares	Fin de prueba	: 02 : 20 pm
Altura del aspersor artesanal	: 1.3 m	Duración	: 60 minutos
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1 m	Velocidad del viento	: 0.6 - 0.8 m/s
Diámetro de pluviometro	: 12 cm	Area de pluviometro	: 113.1 cm <sup>2</sup>

Distancia (m)	Volumen Colectado Cm <sup>3</sup>				Pluviometría (mm/h)			
	Norte	Este	Oeste	Sur	Norte	Este	Oeste	Sur
0.50	376	369	374	367	33.2	32.6	33.0	32.4
1.50	412	393	417	393	36.4	34.7	36.8	34.7
2.50	390	339	359	387	34.5	30.0	31.7	34.2
3.50	129	129	153	135	11.4	11.4	13.5	11.9
4.50	11	8	16	9	1.0	0.7	1.4	0.8

**Figura A 13.**

*Curva radial y/o modelo de reparto de agua para valores de la tabla A13*



**Tabla A14.**

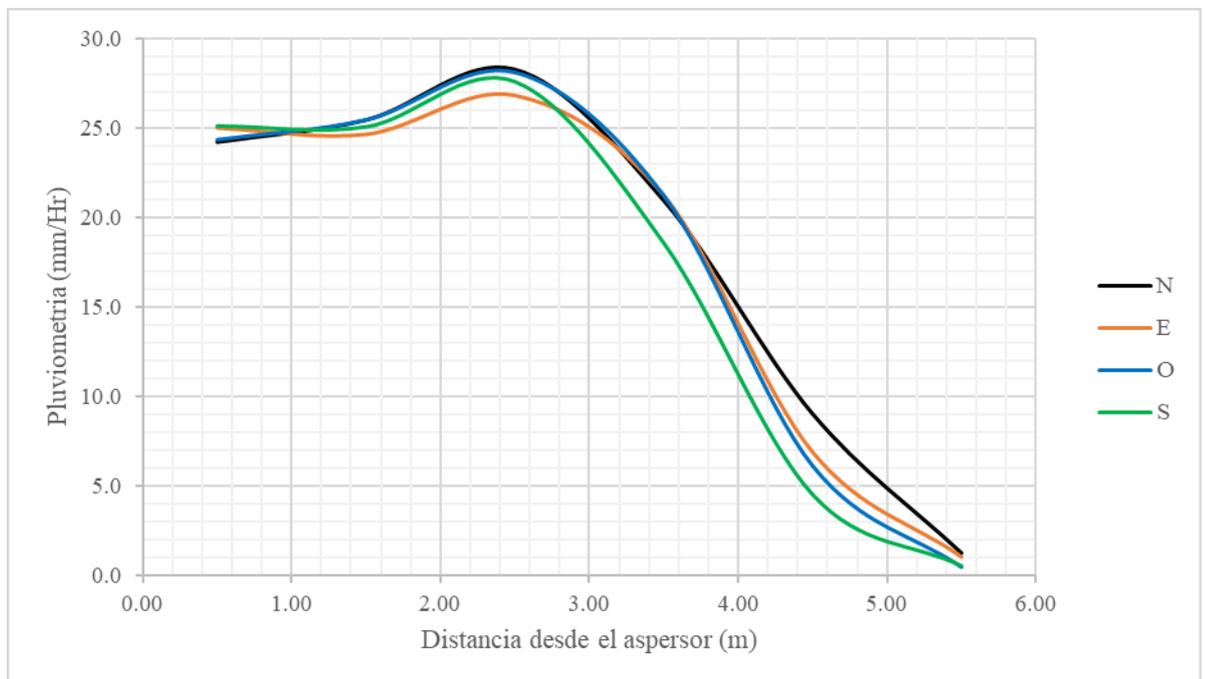
*Valores de la pluviometría recogida en dirección de cuatro radios aspersor T1*

Aspersor artesanal	: Tipo I	Fecha	: 22/11/2020
Diametro de los emisores	: 2.0 mm	Inicio de prueba	: 04 : 09 pm
Presión	: 1.0 bares	Fin de prueba	: 05 : 09 pm
Altura del aspersor artesanal	: 1.3 m	Duración	: 60 minutos
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1 m	Velocidad del viento	: 0.6 - 0.8 m/s
Diámetro de pluviometro	: 12 cm	Area de pluviometro	: 113.1 cm <sup>2</sup>

Distancia (m)	Volumen Colectado Cm <sup>3</sup>				Pluviometría (mm/h)			
	Norte	Este	Oeste	Sur	Norte	Este	Oeste	Sur
0.50	274	283	276	284	24.2	25.0	24.4	25.1
1.50	288	279	288	284	25.5	24.6	25.5	25.1
2.50	320	303	318	312	28.3	26.8	28.1	27.6
3.50	237	240	240	210	21.0	21.2	21.2	18.6
4.50	102	78	69	51	9.0	6.9	6.1	4.5
5.50	14	12	5	6	1.2	1.1	0.4	0.5

**Figura A14.**

*Curva radial y/o modelo de reparto de agua para valores de la tabla A14*



**Tabla A15.**

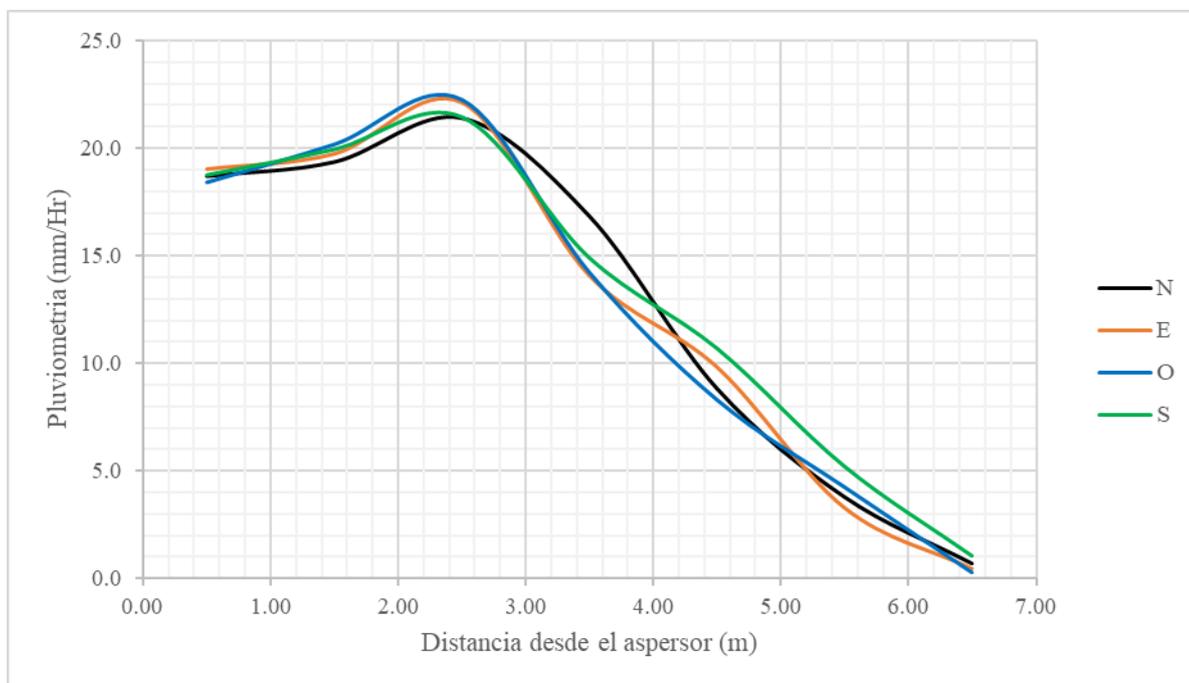
*Valores de la pluviometría recogida en dirección de cuatro radios aspersor T1*

Aspersor artesanal	: Tipo I	Fecha	: 22/11/2020
Diametro de los emisores	: 2.0 mm	Inicio de prueba	: 05 : 30 pm
Presión	: 1.2 bares	Fin de prueba	: 06 : 30 pm
Altura del aspersor artesanal	: 1.3 m	Duración	: 60 minutos
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1 m	Velocidad del viento	: 0.6 - 1.0 m/s
Diámetro de pluviometro	: 12 cm	Area de pluviometro	: 113.1 cm <sup>2</sup>

Distancia (m)	Volumen Colectado Cm <sup>3</sup>				Pluviometría (mm/h)			
	Norte	Este	Oeste	Sur	Norte	Este	Oeste	Sur
0.50	212	215	209	212	18.7	19.0	18.4	18.7
1.50	219	223	229	226	19.4	19.7	20.2	19.9
2.50	242	250	252	243	21.4	22.1	22.3	21.4
3.50	191	159	161	169	16.8	14.1	14.2	14.9
4.50	100	111	94	121	8.8	9.8	8.3	10.7
5.50	43	37	48	59	3.8	3.3	4.2	5.2
6.50	8	5	3	12	0.7	0.4	0.3	1.1

**Figura A15.**

*Curva radial y/o modelo de reparto de agua para valores de la tabla A15*



**Tabla A16.**

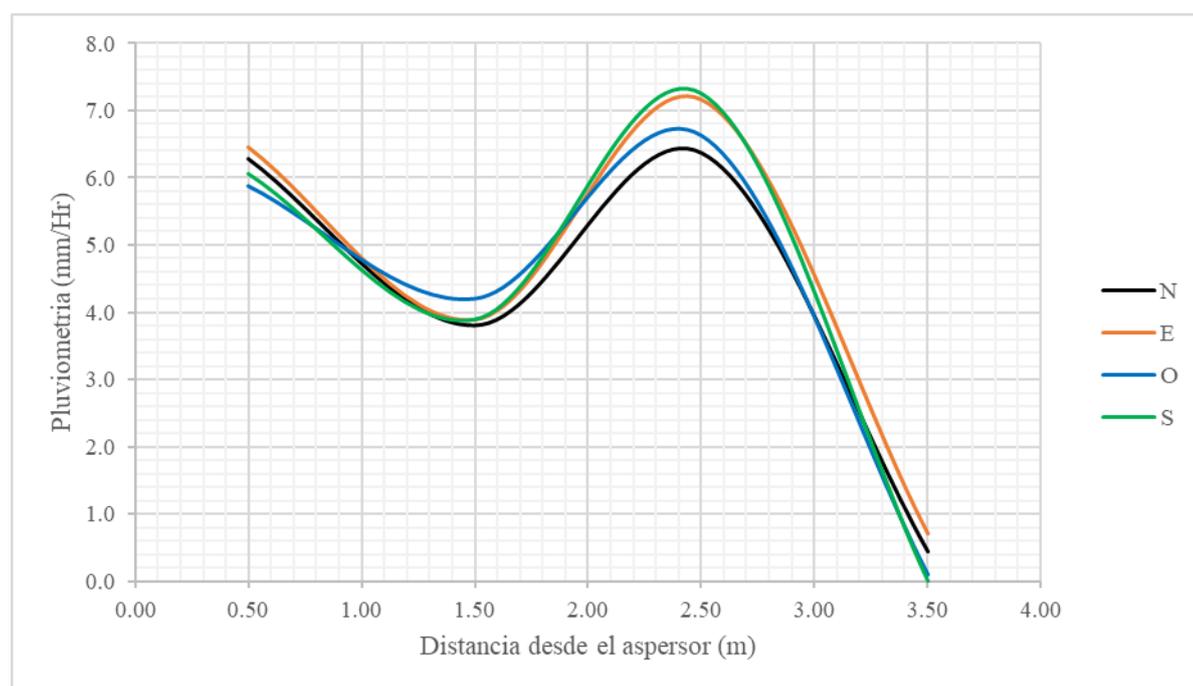
Valores de la pluviometría recogida en dirección de cuatro radios aspersor T2

Aspersor artesanal	: Tipo II	Fecha	: 29/11/2020
Diametro de los emisores	: 1.0 mm	Inicio de prueba	: 08 : 14 am
Presión	: 0.4 bares	Fin de prueba	: 09 : 14 am
Altura del aspersor artesanal	: 1.3 m	Duración	: 60 minutos
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1 m	Velocidad del viento	: 0.0 - 0.2 m/s
Diámetro de pluviometro	: 12 cm	Area de pluviometro	: 113.1 cm <sup>2</sup>

Distancia (m)	Volumen Colectado Cm <sup>3</sup>				Pluviometría (mm/h)			
	Norte	Este	Oeste	Sur	Norte	Este	Oeste	Sur
0.50	71	73	67	69	6.3	6.5	5.9	6.1
1.50	43	44	48	44	3.8	3.9	4.2	3.9
2.50	72	81	75	82	6.4	7.2	6.6	7.3
3.50	5	8	1	0	0.4	0.7	0.1	0.0

**Figura A16.**

Curva radial y/o modelo de reparto de agua para valores de la tabla A16



**Tabla A17.**

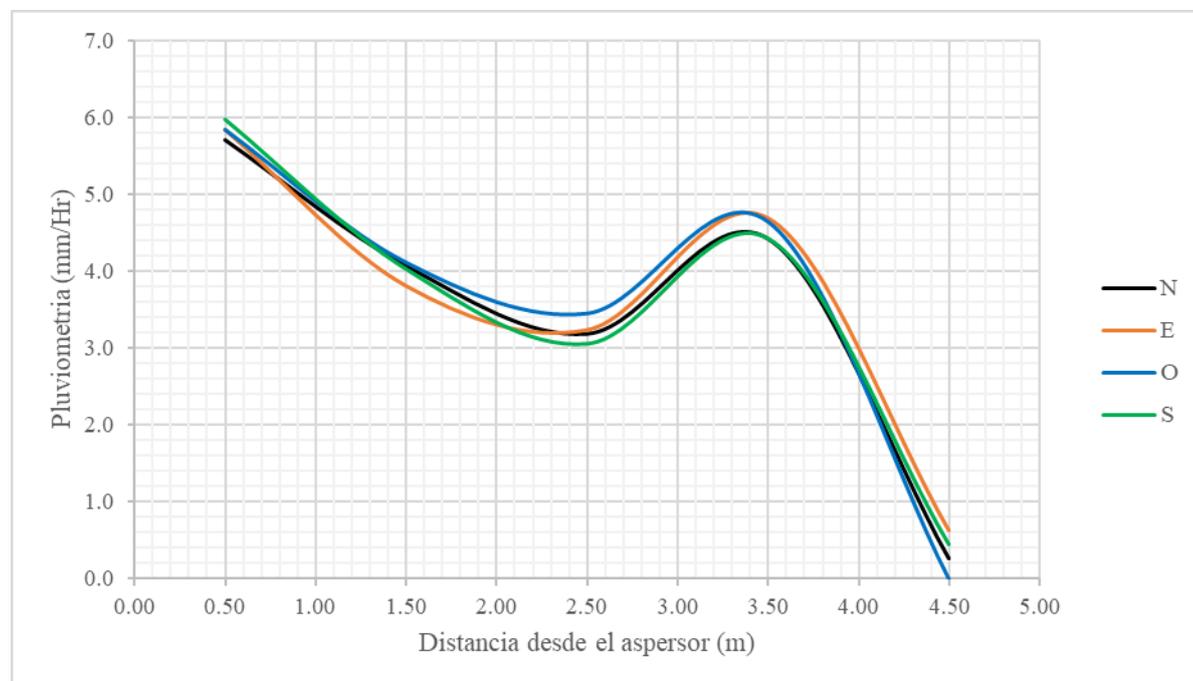
*Valores de la pluviometría recogida en dirección de cuatro radios aspersor T2*

Aspersor artesanal	: Tipo II	Fecha	: 29/11/2020
Diametro de los emisores	: 1.0 mm	Inicio de prueba	: 10 : 22 am
Presión	: 0.6 bares	Fin de prueba	: 11 : 22 am
Altura del aspersor artesanal	: 1.3 m	Duración	: 60 minutos
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1 m	Velocidad del viento	: 0.2 - 0.4 m/s
Diámetro de pluviometro	: 12 cm	Area de pluviometro	: 113.1 cm <sup>2</sup>

Distancia (m)	Volumen Colectado Cm <sup>3</sup>				Pluviometría (mm/h)			
	Norte	Este	Oeste	Sur	Norte	Este	Oeste	Sur
0.50	65	66	66	68	5.7	5.8	5.8	6.0
1.50	46	43	47	46	4.1	3.8	4.1	4.0
2.50	36	37	39	35	3.2	3.2	3.4	3.1
3.50	50	53	53	50	4.4	4.7	4.6	4.4
4.50	3	7	0	5	0.3	0.6	0.0	0.4

**Figura A17.**

*Curva radial y/o modelo de reparto de agua para valores de la tabla A17*



**Tabla A18.**

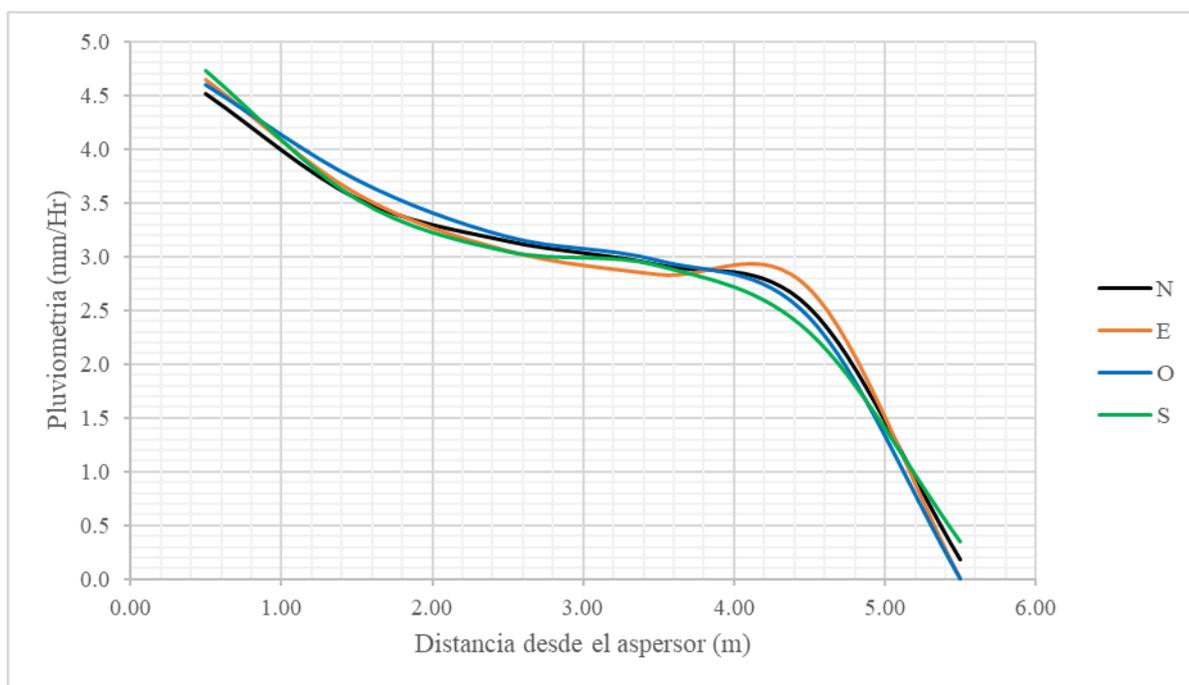
Valores de la pluviometría recogida en dirección de cuatro radios aspersor T2

Aspersor artesanal	: Tipo II	Fecha	: 29/11/2020
Diametro de los emisores	: 1.0 mm	Inicio de prueba	: 12 : 45 pm
Presión	: 0.8 bares	Fin de prueba	: 01 : 45 pm
Altura del aspersor artesanal	: 1.3 m	Duración	: 60 minutos
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1 m	Velocidad del viento	: 0.2 - 0.6 m/s
Diámetro de pluviometro	: 12 cm	Area de pluviometro	: 113.1 cm <sup>2</sup>

Distancia (m)	Volumen Colectado Cm <sup>3</sup>				Pluviometría (mm/h)			
	Norte	Este	Oeste	Sur	Norte	Este	Oeste	Sur
0.50	51	53	52	54	4.5	4.6	4.6	4.7
1.50	40	41	42	40	3.5	3.6	3.7	3.5
2.50	36	35	36	35	3.1	3.1	3.2	3.1
3.50	33	32	34	33	2.9	2.8	3.0	2.9
4.50	29	31	28	26	2.5	2.7	2.4	2.3
5.50	2	0	0	4	0.2	0.0	0.0	0.4

**Figura A18.**

Curva radial y/o modelo de reparto de agua para valores de la tabla A18



**Tabla A19.**

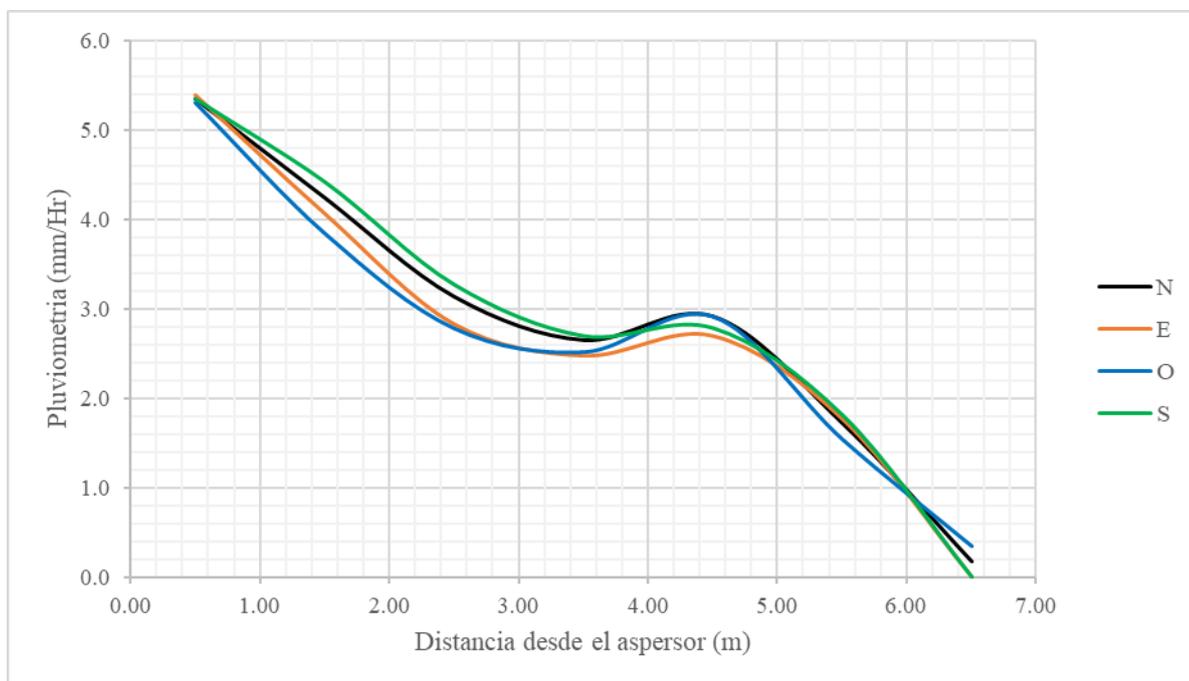
Valores de la pluviometría recogida en dirección de cuatro radios aspersores T2

Aspersor artesanal	: Tipo II	Fecha	: 29/11/2020
Diametro de los emisores	: 1.0 mm	Inicio de prueba	: 03 : 14 pm
Presión	: 1.0 bares	Fin de prueba	: 04 : 14 pm
Altura del aspersor artesanal	: 1.3 m	Duración	: 60 minutos
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1 m	Velocidad del viento	: 0.5 - 0.8 m/s
Diámetro de pluviómetro	: 12 cm	Área de pluviómetro	: 113.1 cm <sup>2</sup>

Distancia (m)	Volumen Colectado Cm <sup>3</sup>				Pluviometría (mm/h)			
	Norte	Este	Oeste	Sur	Norte	Este	Oeste	Sur
0.50	61	61	60	61	5.3	5.4	5.3	5.3
1.50	48	46	44	50	4.2	4.1	3.8	4.4
2.50	36	32	32	37	3.1	2.8	2.8	3.3
3.50	30	28	29	31	2.7	2.5	2.5	2.7
4.50	33	31	33	32	2.9	2.7	2.9	2.8
5.50	20	20	18	21	1.7	1.8	1.5	1.8
6.50	2	0	4	0	0.2	0.0	0.4	0.0

**Figura A19.**

Curva radial y/o modelo de reparto de agua para valores de la tabla A19



**Tabla A20.**

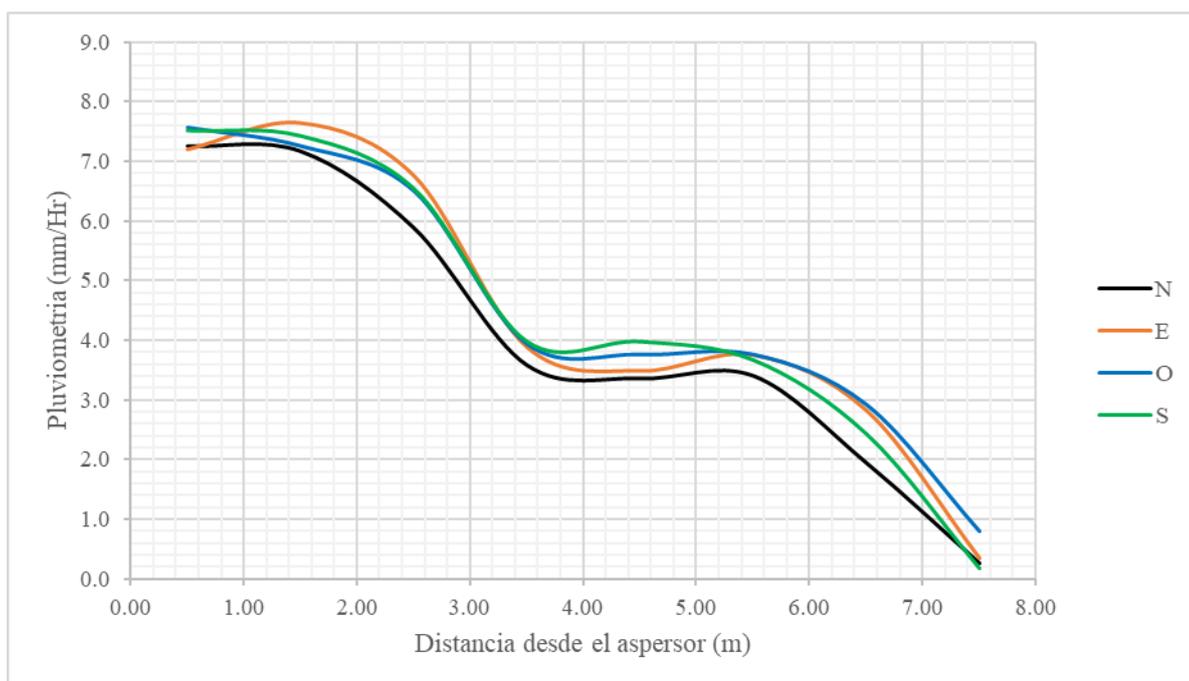
Valores de la pluviometría recogida en dirección de cuatro radios aspersor T2

Aspersor artesanal	: Tipo II	Fecha	: 29/11/2020
Diametro de los emisores	: 1.0 mm	Inicio de prueba	: 05 : 30 pm
Presión	: 1.2 bares	Fin de prueba	: 06 : 30 pm
Altura del aspersor artesanal	: 1.3 m	Duración	: 60 minutos
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1 m	Velocidad del viento	: 0.4 - 0.6 m/s
Diámetro de pluviometro	: 12 cm	Area de pluviometro	: 113.1 cm <sup>2</sup>

Distancia (m)	Volumen Colectado Cm <sup>3</sup>				Pluviometría (mm/h)			
	Norte	Este	Oeste	Sur	Norte	Este	Oeste	Sur
0.50	82	82	86	85	7.3	7.2	7.6	7.5
1.50	81	87	82	84	7.2	7.6	7.3	7.4
2.50	67	77	74	74	5.9	6.8	6.5	6.5
3.50	41	44	45	45	3.6	3.9	3.9	4.0
4.50	38	40	43	45	3.4	3.5	3.8	4.0
5.50	39	43	43	42	3.4	3.8	3.8	3.7
6.50	22	32	33	28	1.9	2.8	2.9	2.4
7.50	3	4	9	2	0.3	0.4	0.8	0.2

**Figura A20.**

Curva radial y/o modelo de reparto de agua para valores de la tabla A20



**Tabla A21.**

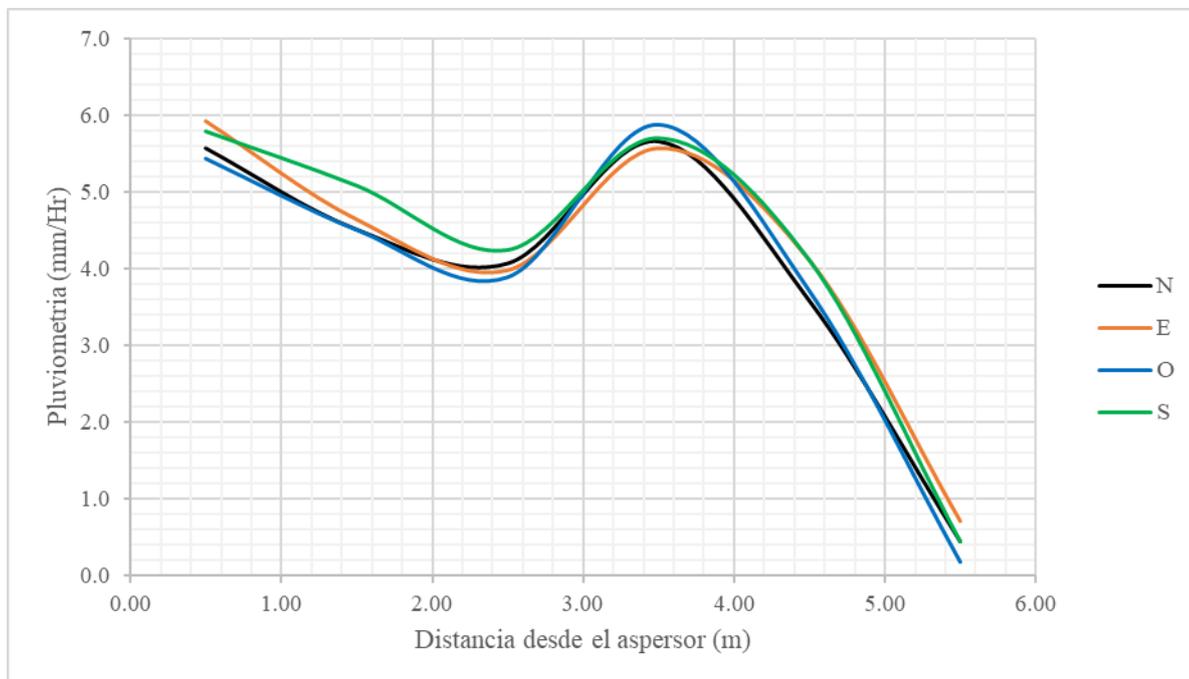
*Valores de la pluviometría recogida en dirección de cuatro radios aspersor T2*

Aspersor artesanal	: Tipo II	Fecha	: 24/11/2020
Diametro de los emisores	: 1.5 mm	Inicio de prueba	: 03 : 10 pm
Presión	: 0.4 bares	Fin de prueba	: 04 : 10 pm
Altura del aspersor artesanal	: 1.3 m	Duración	: 60 minutos
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1 m	Velocidad del viento	: 0.5 - 0.8 m/s
Diámetro de pluviometro	: 12 cm	Area de pluviometro	: 113.1 cm <sup>2</sup>

Distancia (m)	Volumen Colectado Cm <sup>3</sup>				Pluviometría (mm/h)			
	Norte	Este	Oeste	Sur	Norte	Este	Oeste	Sur
0.50	63	67	62	66	5.6	5.9	5.4	5.8
1.50	51	53	51	58	4.5	4.6	4.5	5.1
2.50	46	45	44	48	4.1	4.0	3.9	4.2
3.50	64	63	67	65	5.7	5.6	5.9	5.7
4.50	41	47	42	47	3.6	4.1	3.7	4.1
5.50	5	8	2	5	0.4	0.7	0.2	0.4

**Figura A21.**

*Curva radial y/o modelo de reparto de agua para valores de la tabla A21*



**Tabla A22.**

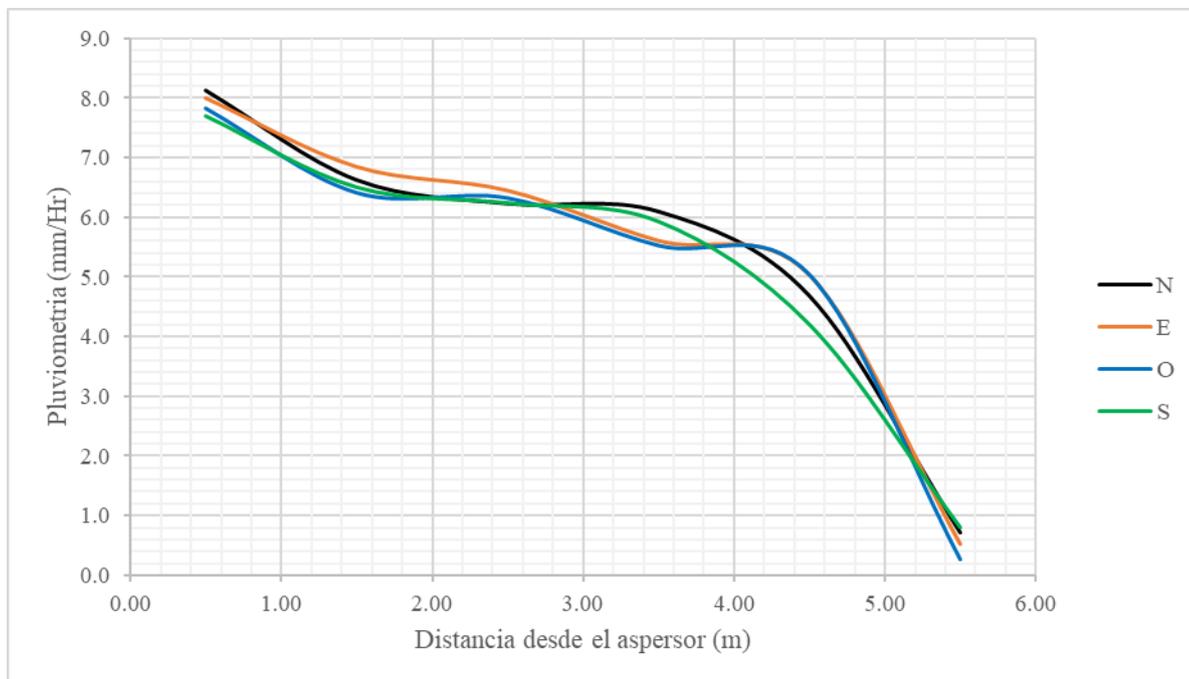
*Valores de la pluviometría recogida en dirección de cuatro radios aspersor T2*

Aspersor artesanal	: Tipo II	Fecha	: 24/11/2020
Diametro de los emisores	: 1.5 mm	Inicio de prueba	: 04 : 40 pm
Presión	: 0.6 bares	Fin de prueba	: 05 : 40 pm
Altura del aspersor artesanal	: 1.3 m	Duración	: 60 minutos
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1 m	Velocidad del viento	: 0.8 - 1.0 m/s
Diámetro de pluviometro	: 12 cm	Area de pluviometro	: 113.1 cm <sup>2</sup>

Distancia (m)	Volumen Colectado Cm <sup>3</sup>				Pluviometría (mm/h)			
	Norte	Este	Oeste	Sur	Norte	Este	Oeste	Sur
0.50	92	91	89	87	8.1	8.0	7.8	7.7
1.50	75	78	73	74	6.6	6.9	6.4	6.5
2.50	71	73	72	71	6.2	6.5	6.3	6.2
3.50	69	64	63	67	6.1	5.6	5.5	5.9
4.50	53	57	57	48	4.7	5.0	5.0	4.2
5.50	8	6	3	9	0.7	0.5	0.3	0.8

**Figura A22.**

Curva radial y/o modelo de reparto de agua para valores de la tabla A22



**Tabla A23.**

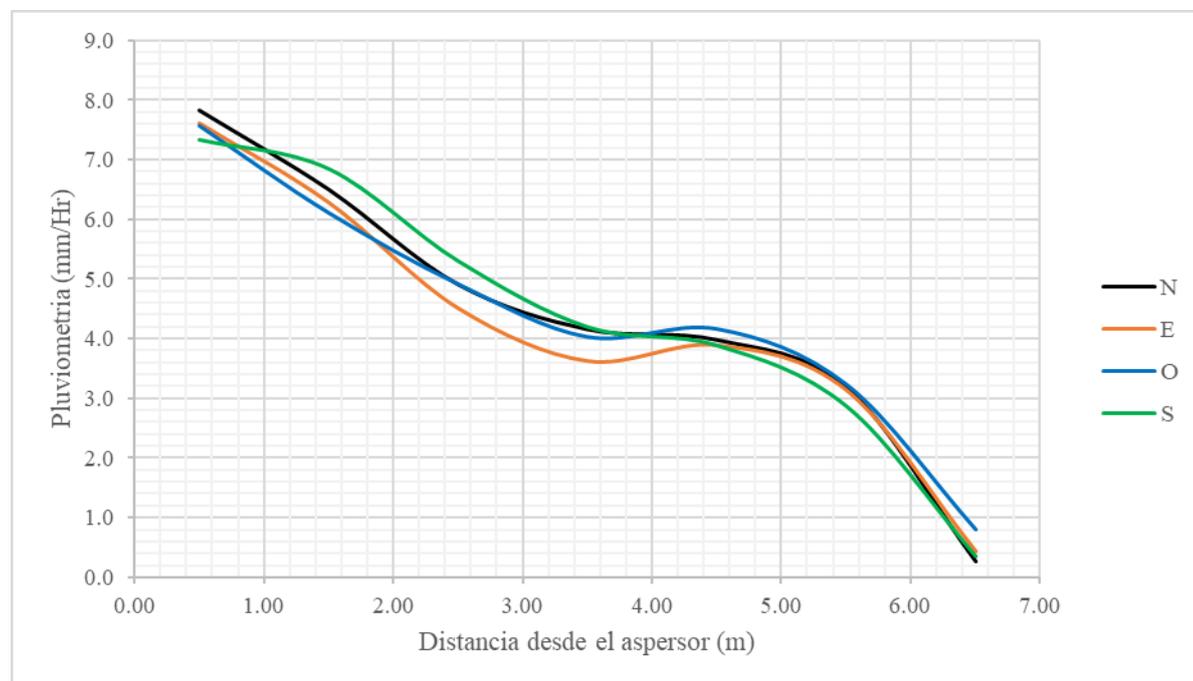
Valores de la pluviometría recogida en dirección de cuatro radios aspersor T2

Aspersor artesanal	: Tipo II	Fecha	: 25/11/2020
Diametro de los emisores	: 1.5 mm	Inicio de prueba	: 07 : 47 am
Presión	: 0.8 bares	Fin de prueba	: 08 : 47 am
Altura del aspersor artesanal	: 1.3 m	Duración	: 60 minutos
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1 m	Velocidad del viento	: 0.2 - 0.3 m/s
Diámetro de pluviometro	: 12 cm	Area de pluviometro	: 113.1 cm <sup>2</sup>

Distancia (m)	Volumen Colectado Cm <sup>3</sup>				Pluviometría (mm/h)			
	Norte	Este	Oeste	Sur	Norte	Este	Oeste	Sur
0.50	89	86	86	83	7.8	7.6	7.6	7.3
1.50	74	71	69	78	6.5	6.3	6.1	6.9
2.50	56	51	56	60	4.9	4.5	4.9	5.3
3.50	47	41	46	48	4.2	3.6	4.0	4.2
4.50	45	44	47	44	4.0	3.9	4.2	3.9
5.50	36	36	37	33	3.2	3.1	3.2	2.9
6.50	3	5	9	4	0.3	0.4	0.8	0.4

**Figura A23.**

Curva radial y/o modelo de reparto de agua para valores de la tabla A23



**Tabla A24.**

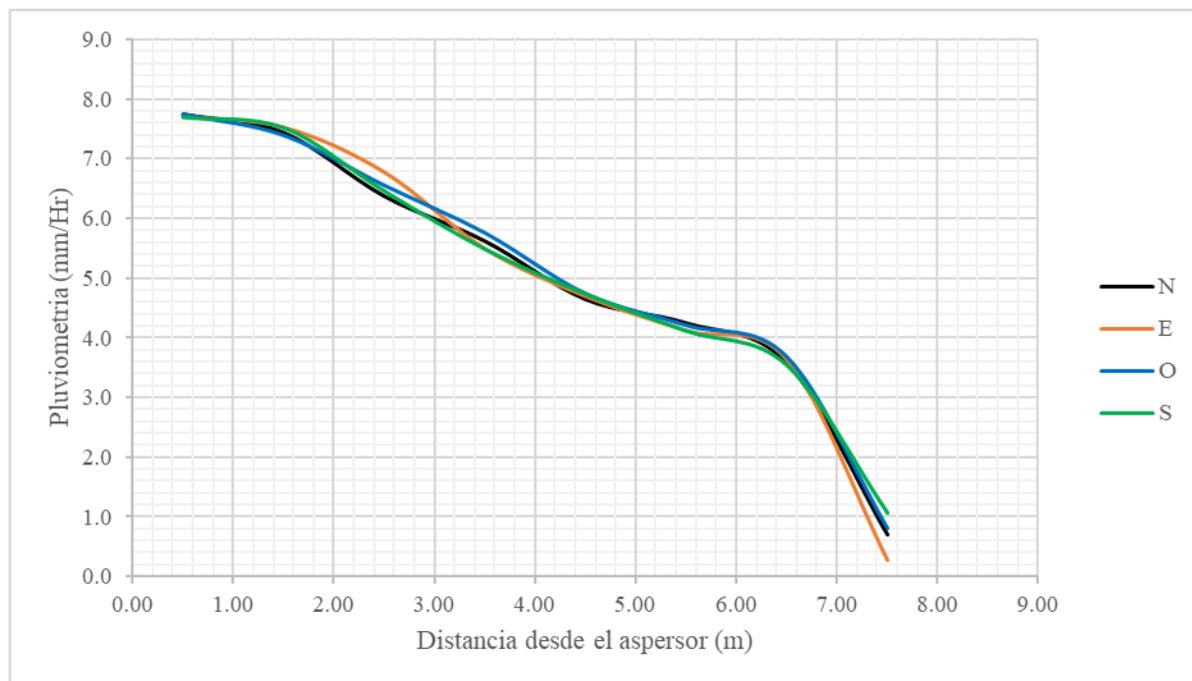
*Valores de la pluviometría recogida en dirección de cuatro radios aspersor T2*

Aspersor artesanal	: Tipo II	Fecha	: 25/11/2020
Diametro de los emisores	: 1.5 mm	Inicio de prueba	: 09 : 42 am
Presión	: 1.0 bares	Fin de prueba	: 10 : 42 am
Altura del aspersor artesanal	: 1.3 m	Duracion	: 60 minutos
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1 m	Velocidad del viento	: 0.4 - 0.6 m/s
Diámetro de pluviometro	: 12 cm	Area de pluviometro	: 113.1 cm <sup>2</sup>

Distancia (m)	Volumen Colectado Cm <sup>3</sup>				Pluviometría (mm/h)			
	Norte	Este	Oeste	Sur	Norte	Este	Oeste	Sur
0.50	88	87	88	87	7.7	7.7	7.7	7.7
1.50	84	85	84	85	7.4	7.5	7.4	7.5
2.50	72	77	74	73	6.4	6.8	6.5	6.5
3.50	64	62	65	62	5.6	5.5	5.7	5.5
4.50	53	53	54	54	4.6	4.7	4.7	4.7
5.50	48	47	48	47	4.2	4.1	4.2	4.1
6.50	41	41	42	40	3.6	3.6	3.7	3.5
7.50	8	3	9	12	0.7	0.3	0.8	1.1

**Figura A24.**

*Curva radial y/o modelo de reparto de agua para valores de la tabla A24*



**Tabla A25.**

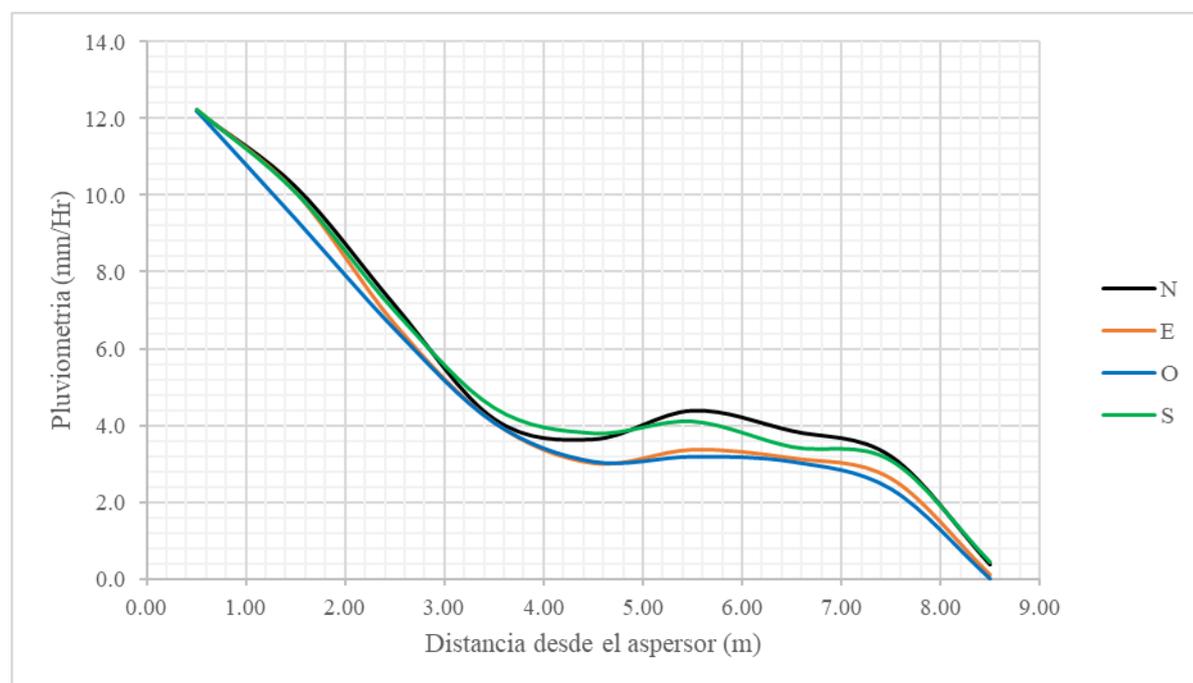
Valores de la pluviometría recogida en dirección de cuatro radios aspersor T2

Aspersor artesanal	: Tipo II	Fecha	: 25/11/2020
Diametro de los emisores	: 1.5 mm	Inicio de prueba	: 01 : 05 pm
Presión	: 1.2 bares	Fin de prueba	: 02 : 05 pm
Altura del aspersor artesanal	: 1.3 m	Duración	: 60 minutos
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1 m	Velocidad del viento	: 0.3 - 0.5 m/s
Diámetro de pluviometro	: 12 cm	Area de pluviometro	: 113.1 cm <sup>2</sup>

Distancia (m)	Volumen Colectado Cm <sup>3</sup>				Pluviometría (mm/h)			
	Norte	Este	Oeste	Sur	Norte	Este	Oeste	Sur
0.50	138	139	138	139	12.2	12.2	12.2	12.2
1.50	116	114	106	114	10.2	10.1	9.4	10.1
2.50	81	75	74	79	7.1	6.6	6.5	7.0
3.50	47	46	46	51	4.2	4.1	4.1	4.5
4.50	41	34	35	43	3.6	3.0	3.1	3.8
5.50	50	38	36	47	4.4	3.4	3.2	4.1
6.50	44	36	35	39	3.8	3.1	3.1	3.4
7.50	36	30	27	35	3.2	2.6	2.3	3.1
8.50	4	1	0	5	0.4	0.1	0.0	0.4

**Figura A25.**

Curva radial y/o modelo de reparto de agua para valores de la tabla A25



**Tabla A26.**

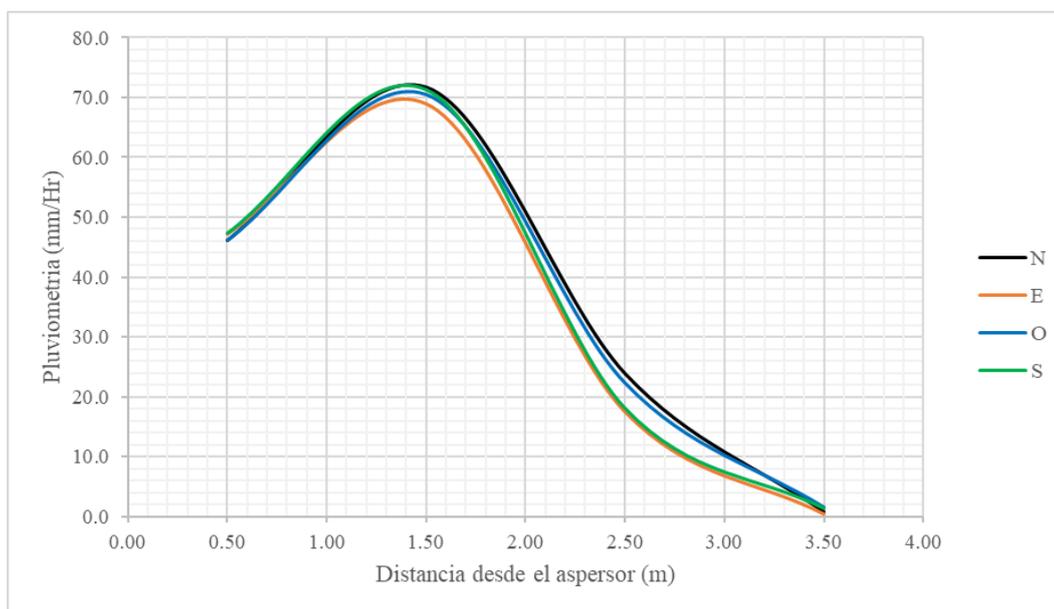
*Valores de la pluviometría recogida en dirección de cuatro radios aspersor T2*

Aspersor artesanal	: Tipo II	Fecha	: 26/11/2020
Diametro de los emisores	: 2.0 mm	Inicio de prueba	: 08 : 10 am
Presión	: 0.4 bares	Fin de prueba	: 09 : 10 am
Altura del aspersor artesanal	: 1.3 m	Duración	: 60 minutos
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1 m	Velocidad del viento	: 0.2 - 0.4 m/s
Diámetro de pluviometro	: 12 cm	Area de pluviometro	: 113.1 cm <sup>2</sup>

Distancia (m)	Volumen Colectado Cm <sup>3</sup>				Pluviometría (mm/h)			
	Norte	Este	Oeste	Sur	Norte	Este	Oeste	Sur
0.50	522	534	523	535	46.1	47.2	46.2	47.3
1.50	811	780	798	806	71.7	69.0	70.6	71.3
2.50	270	198	252	204	23.9	17.5	22.3	18.0
3.50	9	5	17	15	0.8	0.4	1.5	1.3

**Figura A26.**

*Curva radial y/o modelo de reparto de agua para valores de la tabla A26*



**Tabla A27.**

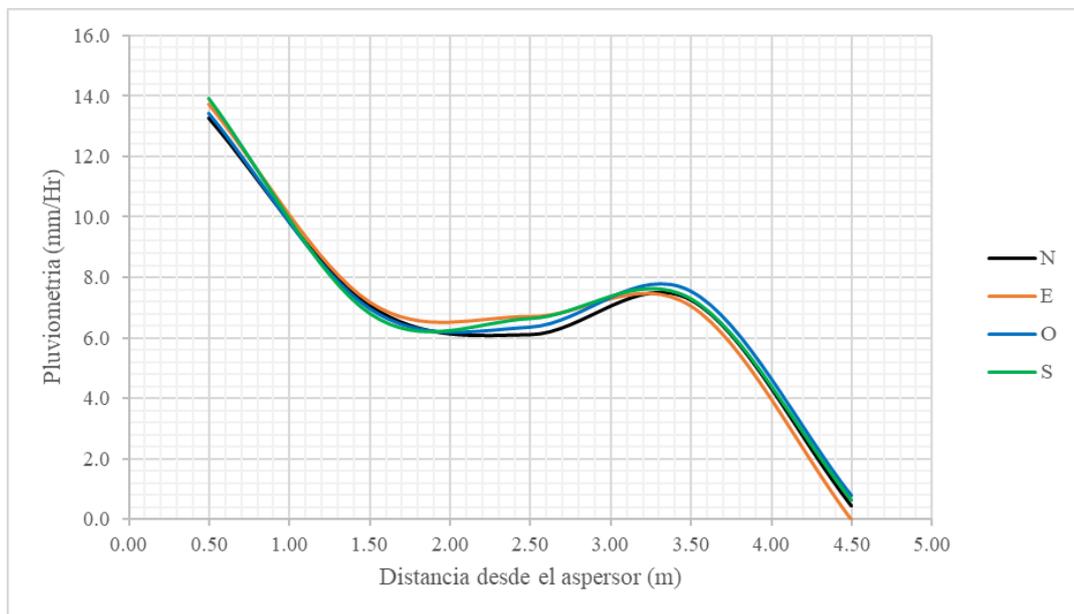
*Valores de la pluviometría recogida en dirección de cuatro radios aspersor T2*

Aspersor artesanal	: Tipo II	Fecha	: 26/11/2020
Diametro de los emisores	: 2.0 mm	Inicio de prueba	: 10 : 16 am
Presión	: 0.6 bares	Fin de prueba	: 11 : 16 am
Altura del aspersor artesanal	: 1.3 m	Duración	: 60 minutos
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1 m	Velocidad del viento	: 0.4 - 0.6 m/s
Diámetro de pluviometro	: 12 cm	Area de pluviometro	: 113.1 cm <sup>2</sup>

Distancia (m)	Volumen Colectado Cm <sup>3</sup>				Pluviometría (mm/h)			
	Norte	Este	Oeste	Sur	Norte	Este	Oeste	Sur
0.50	150	156	152	158	13.3	13.7	13.4	13.9
1.50	80	82	79	77	7.1	7.2	7.0	6.8
2.50	69	76	72	75	6.1	6.7	6.4	6.6
3.50	82	80	86	83	7.3	7.1	7.6	7.3
4.50	5	0	9	7	0.4	0.0	0.8	0.6

**Figura A27.**

*Curva radial y/o modelo de reparto de agua para valores de la tabla A27*



**Tabla A28.**

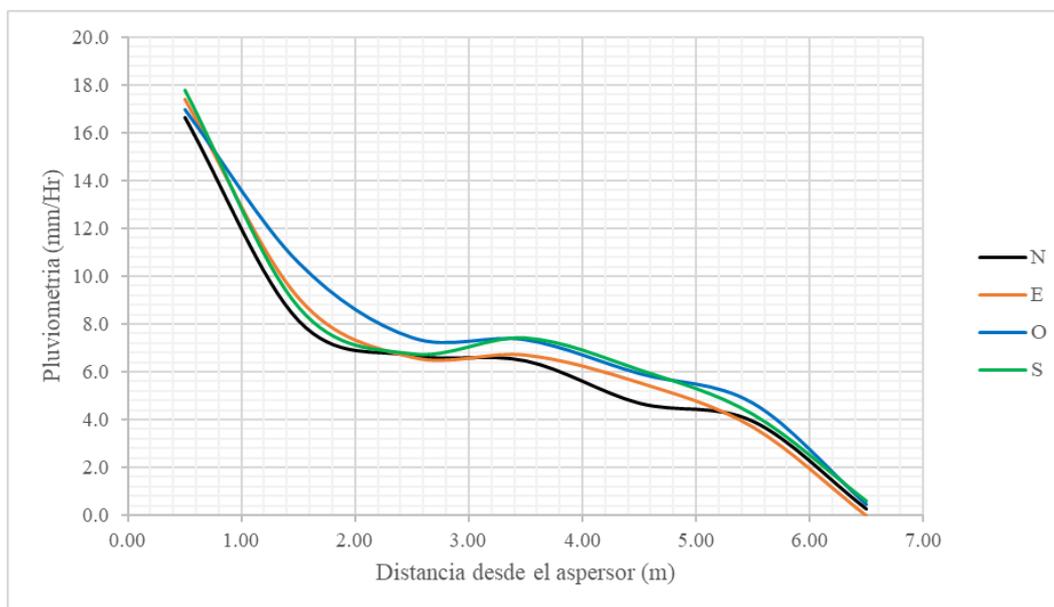
Valores de la pluviometría recogida en dirección de cuatro radios aspersor T2

Aspersor artesanal	: Tipo II	Fecha	: 26/11/2020
Diametro de los emisores	: 2.0 mm	Inicio de prueba	: 01 : 10 pm
Presión	: 0.8 bares	Fin de prueba	: 02 : 10 pm
Altura del aspersor artesanal	: 1.3 m	Duración	: 60 minutos
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1 m	Velocidad del viento	: 0.4 - 0.5 m/s
Diámetro de pluviometro	: 12 cm	Area de pluviometro	: 113.1 cm <sup>2</sup>

Distancia (m)	Volumen Colectado Cm <sup>3</sup>				Pluviometría (mm/h)			
	Norte	Este	Oeste	Sur	Norte	Este	Oeste	Sur
0.50	188	197	192	201	16.6	17.4	17.0	17.8
1.50	92	103	120	99	8.1	9.1	10.6	8.7
2.50	76	75	84	77	6.7	6.6	7.4	6.8
3.50	73	76	83	84	6.5	6.7	7.3	7.4
4.50	53	63	67	69	4.7	5.6	5.9	6.1
5.50	45	42	53	48	3.9	3.7	4.7	4.2
6.50	3	0	5	7	0.3	0.0	0.4	0.6

**Figura A28.**

Curva radial y/o modelo de reparto de agua para valores de la tabla A28



**Tabla A29.**

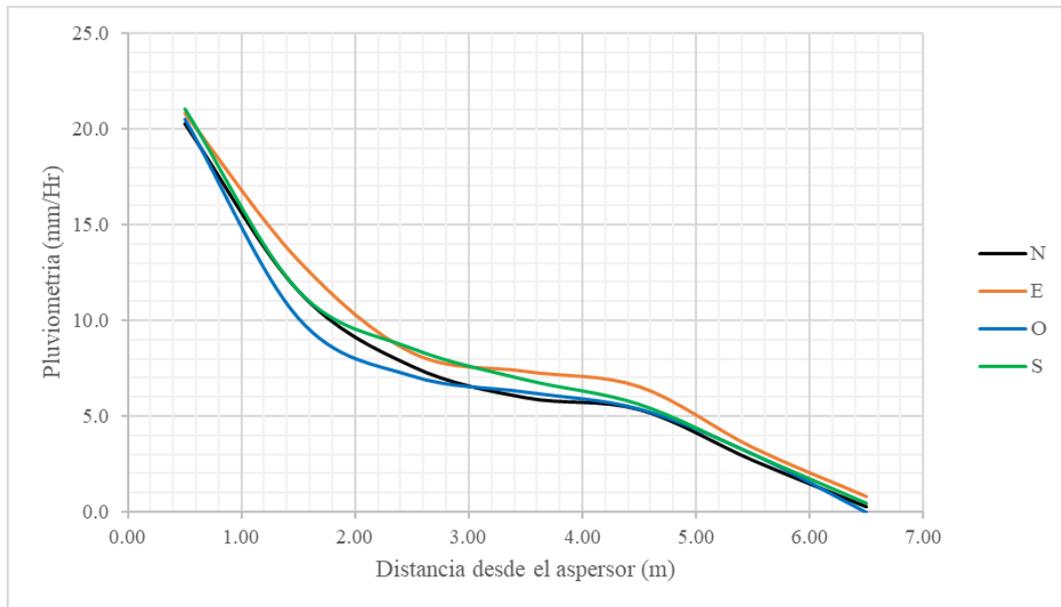
*Valores de la pluviometría recogida en dirección de cuatro radios aspersor T2*

Aspersor artesanal	: Tipo II	Fecha	: 26/11/2020
Diametro de los emisores	: 2.0 mm	Inicio de prueba	: 03 : 19 pm
Presión	: 1.0 bares	Fin de prueba	: 04 : 19 pm
Altura del aspersor artesanal	: 1.3 m	Duración	: 60 minutos
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1 m	Velocidad del viento	: 0.6 - 0.8 m/s
Diámetro de pluviómetro	: 12 cm	Área de pluviómetro	: 113.1 cm <sup>2</sup>

Distancia (m)	Volumen Colectado Cm <sup>3</sup>				Pluviometría (mm/h)			
	Norte	Este	Oeste	Sur	Norte	Este	Oeste	Sur
0.50	230	236	232	238	20.3	20.8	20.5	21.0
1.50	131	149	115	131	11.5	13.1	10.1	11.5
2.50	86	94	81	97	7.6	8.3	7.1	8.5
3.50	68	83	71	78	6.0	7.3	6.3	6.9
4.50	61	74	61	64	5.3	6.5	5.4	5.6
5.50	31	38	35	34	2.7	3.4	3.1	3.0
6.50	3	9	0	5	0.3	0.8	0.0	0.4

**Figura A29.**

Curva radial y/o modelo de reparto de agua para valores de la tabla A29



**Tabla A30**

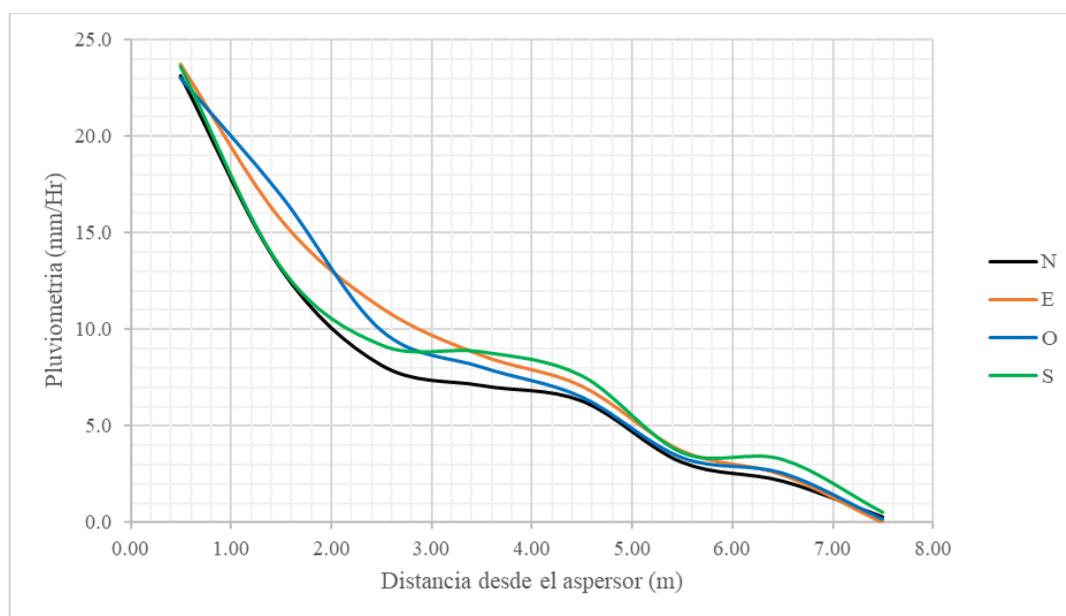
Valores de la pluviometría recogida en dirección de cuatro radios aspersor T2

Aspersor artesanal	: Tipo II	Fecha	: 27/11/2020
Diametro de los emisores	: 2.0 mm	Inicio de prueba	: 10 : 00 am
Presión	: 1.2 bares	Fin de prueba	: 11 : 00 am
Altura del aspersor artesanal	: 1.3 m	Duración	: 60 minutos
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1 m	Velocidad del viento	: 0.4 - 0.7 m/s
Diámetro de pluviometro	: 12 cm	Área de pluviometro	: 113.1 cm <sup>2</sup>

Distancia (m)	Volumen Colectado Cm <sup>3</sup>				Pluviometría (mm/h)			
	Norte	Este	Oeste	Sur	Norte	Este	Oeste	Sur
0.50	262	269	260	267	23.1	23.7	23.0	23.6
1.50	149	178	192	150	13.1	15.7	16.9	13.2
2.50	92	126	113	104	8.1	11.1	9.9	9.2
3.50	80	98	91	100	7.1	8.7	8.0	8.8
4.50	71	80	74	86	6.3	7.1	6.5	7.6
5.50	35	42	38	41	3.1	3.7	3.4	3.6
6.50	24	28	29	37	2.1	2.5	2.6	3.3
7.50	3	0	2	6	0.3	0.0	0.2	0.5

**Figura A30.**

Curva radial y/o modelo de reparto de agua para valores de la tabla A30



## Anexo B.

### Reparto de agua sobre el suelo y cálculo del coeficiente de uniformidad

**Figura B1.**

Volúmenes (cm<sup>3</sup>) captados en la prueba del aspersor artesanal T1 individual y cálculo del coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU)

Aspersor artesanal	: Tipo I	Fecha	: 17/11/2020
Diámetro de los emisores	: 1.0 mm	Inicio de prueba	: 09:56 am
Presión	: 0.4 bar	Fin de prueba	: 10: 56 am
Altura del aspersor artesanal	: 1.3 m	Duración	: 60 minutos
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1 m	Velocidad del viento	: 0.3 - 0.6 m/s

Volumen recogido en los pluviómetros Cm<sup>3</sup>

	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>3</b>		83	111	116	79	
<b>2</b>	63	110	135	114	115	96
<b>1</b>	103	118	195	197	120	115
<b>1</b>	112	121	193	199	122	117
<b>2</b>	57	113	114	119	119	59
<b>3</b>		73	98	109	81	

Maximo - Minimo	Numero de datos	Medias
Maximo 199	N Total 32	Total de datos 114.88
Minimo 57	N25% Inferior 8	Del 25% Inferior 73.88
		$\sum(x_i - \bar{x})/n$ 23.62

$$cu = 100 * \left[ 1 - \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{\bar{x} * N} \right] \quad \text{Coeficiente de uniformidad de Christiansen } \mathbf{CU = 79.44\%}$$

**Figura B2.**

Volúmenes (cm<sup>3</sup>) captados en la prueba del aspersor artesanal T1 individual y cálculo del coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU)

Aspersor artesanal	: Tipo I	Fecha	: 17/11/2020
Diámetro de los emisores	: 1.0 mm	Inicio de prueba	: 11:00 am
Presión	: 0.6 bar	Fin de prueba	: 12: 00 pm
Altura del aspersor artesanal	: 1.3 m	Duración	: 60 minutos
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1 m	Velocidad del viento	: 0.2 - 0.7 m/s

Volumen recogido en los pluviómetros Cm<sup>3</sup>

	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5
5			25	65	57	64	78	19		
4		23	53	63	79	85	62	49	36	
3	26	39	72	67	62	59	60	67	71	21
2	57	57	76	68	79	82	54	60	75	60
1	67	77	60	73	127	131	77	62	79	58
1	62	81	66	78	126	129	71	63	81	52
2	55	59	72	72	84	76	42	60	53	66
3	29	41	83	78	58	61	48	77	64	33
4		29	68	62	79	76	67	69	36	
5			17	57	67	61	26	14		

Maximo - Minimo		Numero de datos		Medias	
Maximo	131	N Total	88	Total de datos	62.83
Minimo	14	N25% Inferior	22	Del 25% Inferior	34.77
				$\sum(x_i - \bar{x})/n$	15.63

$$cu = 100 * \left[ 1 - \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{\bar{x} * N} \right] \quad \text{Coeficiente de uniformidad de Christiansen } \mathbf{CU = 75.12\%}$$

**Figura B3.**

*Volúmenes (cm<sup>3</sup>) captados en la prueba del aspersor artesanal T1 individual y cálculo del coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU)*

Aspersor artesanal	: Tipo I	Fecha	: 21/11/2020
Diámetro de los emisores	: 1.0 mm	Inicio de prueba	: 03:00 pm
Presión	: 0.8 bar	Fin de prueba	: 04: 00 pm
Altura del aspersor artesanal	: 1.3 m	Duración	: 60 minutos
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1 m	Velocidad del viento	: 0.4 - 0.9 m/s

Volumen recogido en los pluviómetros Cm<sup>3</sup>

	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6
7						26	24					
6						26	24					
5				32	58	55	49	52	57	25		
4			14	62	68	74	56	80	40	49	56	
3		26	69	98	62	80	87	56	68	44	44	
2		30	83	74	80	110	104	87	68	68	37	
1	33	50	57	77	98	112	123	97	80	62	55	40
1	30	53	58	74	103	128	117	95	80	68	58	41
2		38	59	72	98	98	109	88	74	86	39	
3		21	85	81	68	88	83	62	68	67	21	
4			26	69	77	70	65	69	75	52	13	
5				32	51	49	52	33	53	19		
6						35	32					

Maximo - Minimo		Numero de datos		Medias	
Maximo	128	N Total	100	Total de datos	63.18
Minimo	13	N25% Inferior	25	Del 25% Inferior	30.04
				$\sum(x_i - \bar{x})/n$	20.88

$$cu = 100 * \left[ 1 - \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{\bar{x} * N} \right] \quad \text{Coeficiente de uniformidad de Christiansen } \mathbf{CU = 66.95\%}$$

**Figura B4.**

*Volúmenes (cm<sup>3</sup>) captados en la prueba del aspersor artesanal T1 individual y cálculo del coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU)*

Aspersor artesanal	: Tipo I	Fecha	: 22/11/2020
Diámetro de los emisores	: 1.0 mm	Inicio de prueba	: 10:19 am
Presión	: 1.0 bar	Fin de prueba	: 11: 19 am
Altura del aspersor artesanal	: 1.3 m	Duración	: 60 minutos
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1 m	Velocidad del viento	: 0.3 - 0.6 m/s

Volumen recogido en los pluviómetros Cm<sup>3</sup>

7	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6
6					29	28	27	34				
5			30	31	40	37	36	41	32	29		
4		36	37	36	42	40	41	39	43	36	33	
3		39	36	39	45	46	47	45	42	38	34	
2	23	38	36	48	42	49	53	45	42	37	38	24
1	25	33	37	45	52	58	60	51	46	38	36	25
1	26	34	36	44	49	61	57	50	45	39	34	27
2	25	35	34	41	42	52	51	51	42	42	48	24
3		37	43	39	48	48	47	39	41	38	36	
4		33	34	40	39	38	41	41	37	35	35	
5			29	29	36	35	34	32	42	28		
6					24	26	27	25				

Maximo - Minimo		Numero de datos		Medias	
Maximo	61	N Total	112	Total de datos	38.52
Minimo	23	N25% Inferior	28	Del 25% Inferior	28.50
				$\sum(x_i - \bar{x})/n$	6.34

$$cu = 100 * \left[ 1 - \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{\bar{x} * N} \right] \quad \text{Coeficiente de uniformidad de Christiansen } \mathbf{CU = 83.53\%}$$

**Figura B5.**

*Volúmenes (cm<sup>3</sup>) captados en la prueba del aspersor artesanal T1 individual y cálculo del coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU)*

Aspersor artesanal	: Tipo I	Fecha	: 22/11/2020
Diámetro de los emisores	: 1.0 mm	Inicio de prueba	: 3: 53 pm
Presión	: 1.2 bar	Fin de prueba	: 4: 53 pm
Altura del aspersor artesanal	: 1.3 m	Duración	: 60 minutos
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1 m	Velocidad del viento	: 0.6 - 0.8 m/s

Volumen recogido en los pluviómetros Cm<sup>3</sup>

	7	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6	7
7						15	18	18	15					
6				21	24	27	30	36	33	33	24			
5			24	24	27	33	33	36	33	33	33	30		
4		24	27	27	30	30	36	33	30	33	30	30	30	
3		27	21	30	33	33	39	39	39	36	36	33	33	
2	18	30	30	33	36	39	42	44	39	42	39	30	36	24
1	21	36	37	40	36	42	55	54	42	39	36	35	36	27
1	24	36	35	36	36	46	56	55	43	36	45	37	35	30
2	15	33	30	33	39	36	45	43	36	42	42	42	33	25
3		30	27	33	36	39	42	42	42	39	39	42	36	
4		33	30	36	36	36	37	39	39	36	42	42	30	
5			39	21	39	36	39	36	42	48	39	36		
6				15	27	33	33	32	48	42	33			
7						15	18	18	15					

<b>Maximo - Minimo</b>		<b>Numero de datos</b>		<b>Medias</b>	
Maximo	56	N Total	148	Total de datos	33.84
Minimo	15	N25% Inferior	37	Del 25% Inferior	23.05
				$\sum(x_i - \bar{x})/n$	6.24

$$cu = 100 * \left[ 1 - \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{\bar{x} * N} \right] \quad \text{Coeficiente de uniformidad de Christiansen } \mathbf{CU = 81.57\%}$$

**Figura B6.**

Volúmenes (cm<sup>3</sup>) captados en la prueba del aspersor artesanal T1 individual y cálculo del coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU)

Aspersor artesanal	: Tipo I	Fecha	: 17/11/2020
Diámetro de los emisores	: 1.5 mm	Inicio de prueba	: 08:10 am
Presión	: 0.4 bar	Fin de prueba	: 09: 10 am
Altura del aspersor artesanal	: 1.3 m	Duración	: 60 minutos
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1 m	Velocidad del viento	: 0.2 - 0.4 m/s

Volumen recogido en los pluviómetros Cm<sup>3</sup>

4	3	2	1	1	2	3
3		112	134	129	109	
2	102	180	180	192	180	119
1	145	177	190	195	192	123
1	137	182	193	199	192	132
2	87	188	188	191	181	109
3		99	141	135	103	

Maximo - Minimo	Numero de datos	Medias
Maximo 199	N Total 32	Total de datos 153.63
Minimo 87	N25% Inferior 8	Del 25% Inferior 105.00
		$\sum(x_i - \bar{x})/n$ 33.88

$$cu = 100 * \left[ 1 - \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{\bar{x} * N} \right] \quad \text{Coeficiente de uniformidad de Christiansen } \mathbf{CU = 77.95\%}$$

**Figura B7.**

Volúmenes (cm<sup>3</sup>) captados en la prueba del aspersor artesanal T1 individual y cálculo del coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU)

Aspersor artesanal	: Tipo I	Fecha	: 17/11/2020
Diámetro de los emisores	: 1.5 mm	Inicio de prueba	: 09:56 am
Presión	: 0.6 bar	Fin de prueba	: 10: 56 am
Altura del aspersor artesanal	: 1.3 m	Duración	: 60 minutos
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1 m	Velocidad del viento	: 0.4 - 0.8 m/s

Volumen recogido en los pluviómetros Cm<sup>3</sup>

	4	3	2	1	1	2	3	4
4		28	60	50	57	36	29	
3	36	117	178	170	170	148	62	29
2	84	179	148	128	146	158	142	34
1	48	166	131	144	145	146	162	49
1	50	175	127	139	137	142	156	53
2	53	188	128	133	141	166	175	54
3	62	133	166	174	168	183	97	16
4		56	85	57	61	88	24	

Maximo - Minimo	Numero de datos	Medias
Maximo 188	N Total 60	Total de datos 109.45
Minimo 16	N25% Inferior 15	Del 25% Inferior 39.27
		$\sum(x_i - \bar{x})/n$ 49.59

$$cu = 100 * \left[ 1 - \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{\bar{x} * N} \right] \quad \text{Coeficiente de uniformidad de Christiansen } \mathbf{CU = 54.69\%}$$

**Figura B8.**

*Volúmenes (cm<sup>3</sup>) captados en la prueba del aspersor artesanal T1 individual y cálculo del coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU)*

Aspersor artesanal	: Tipo I	Fecha	: 17/11/2020
Diámetro de los emisores	: 1.5 mm	Inicio de prueba	: 2:35 pm
Presión	: 0.8 bar	Fin de prueba	: 3:35 pm
Altura del aspersor artesanal	: 1.3 m	Duración	: 60 minutos
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1 m	Velocidad del viento	: 0.6 - 1 m/s

Volumen recogido en los pluviómetros Cm<sup>3</sup>

	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5
5			34	58	68	68	46	22		
4		54	86	98	88	89	88	70	36	
3	46	92	87	90	84	90	98	96	70	32
2	74	104	96	66	73	76	78	94	86	46
1	61	87	87	74	88	86	75	90	85	54
1	66	82	84	71	78	81	73	92	83	68
2	76	95	92	64	67	73	82	91	98	48
3	56	84	110	90	82	94	97	87	78	34
4		64	98	89	84	86	70	90	48	
5			54	68	64	71	72	42		

Maximo - Minimo		Numero de datos		Medias	
Maximo	110	N Total	88	Total de datos	75.52
Minimo	22	N25% Inferior	22	Del 25% Inferior	49.77
				$\sum(x_i - \bar{x})/n$	14.67

$$cu = 100 * \left[ 1 - \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{\bar{x} * N} \right] \quad \text{Coeficiente de uniformidad de Christiansen } \mathbf{CU = 80.58\%}$$

**Figura B9.**

*Volúmenes (cm<sup>3</sup>) captados en la prueba del aspersor artesanal T1 individual y cálculo del coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU)*

Aspersor artesanal	: Tipo I	Fecha	: 18/11/2020
Diámetro de los emisores	: 1.5 mm	Inicio de prueba	: 6:40 am
Presión	: 1.0 bar	Fin de prueba	: 7:40 am
Altura del aspersor artesanal	: 1.3 m	Duración	: 60 minutos
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1 m	Velocidad del viento	: 0.2 - 0.4 m/s

Volumen recogido en los pluviómetros Cm<sup>3</sup>

	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6
7												
6					22	48	38	30				
5			24	52	80	80	78	90	70	38		
4		22	70	94	114	76	94	93	91	88	44	
3		50	89	108	84	78	76	78	92	116	82	
2	22	82	95	90	68	68	79	64	72	98	79	50
1	46	85	84	82	75	83	84	73	70	82	78	52
1	50	84	82	82	73	79	85	77	69	84	81	54
2	30	86	93	90	64	75	79	64	72	92	85	56
3		64	95	92	84	72	76	72	90	91	90	
4		30	82	90	88	85	90	102	89	90	58	
5			32	78	108	80	84	92	93	54		
6					47	55	50	52				

Maximo - Minimo		Numero de datos		Medias	
Maximo	116	N Total	112	Total de datos	74.03
Minimo	22	N25% Inferior	28	Del 25% Inferior	44.07
				$\sum(x_i - \bar{x})/n$	16.04

$$cu = 100 * \left[ 1 - \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{\bar{x} * N} \right] \quad \text{Coeficiente de uniformidad de Christiansen } \mathbf{CU = 78.33\%}$$

**Figura B10.**

*Volúmenes (cm<sup>3</sup>) captados en la prueba del aspersor artesanal T1 individual y cálculo del coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU)*

Aspersor artesanal	: Tipo I	Fecha	: 18/11/2020
Diámetro de los emisores	: 1.5 mm	Inicio de prueba	: 09:29 am
Presión	: 1.2 bar	Fin de prueba	: 10:29 am
Altura del aspersor artesanal	: 1.3 m	Duración	: 60 minutos
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1 m	Velocidad del viento	: 0.4 - 0.8 m/s

Volumen recogido en los pluviómetros Cm<sup>3</sup>

	7	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6	7
7							23	19						
6					38	46	52	40	28	16				
5				58	80	88	84	82	64	48	26			
4			64	98	98	98	96	98	94	78	48	20		
3		64	90	102	100	92	92	96	96	94	78	44	12	
2		80	102	96	94	78	80	86	92	96	92	56	20	
1	24	55	90	94	88	82	82	79	82	94	98	80	45	17
1	26	60	94	93	91	79	85	87	84	94	100	84	51	18
2		96	96	90	78	68	83	85	88	96	102	68	30	
3		64	92	98	90	80	90	89	96	102	88	54	16	
4			74	94	102	82	92	102	102	98	72	36		
5				64	92	98	96	100	94	76	48			
6					76	62	68	64	52	38				
7							22	19						

Maximo - Minimo		Numero de datos		Medias	
Maximo	102	N Total	128	Total de datos	73.70
Minimo	12	N25% Inferior	32	Del 25% Inferior	33.97
				$\sum(x_i - \bar{x})/n$	21.71

$$cu = 100 * \left[ 1 - \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{\bar{x} * N} \right] \quad \text{Coeficiente de uniformidad de Christiansen } \mathbf{CU = 70.54\%}$$

**Figura B11.**

Volúmenes (cm<sup>3</sup>) captados en la prueba del aspersor artesanal T1 individual y cálculo del coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU)

Aspersor artesanal	: Tipo I	Fecha	: 22/11/2020
Diámetro de los emisores	: 2.0 mm	Inicio de prueba	: 08:06 am
Presión	: 0.4 bar	Fin de prueba	: 09: 06 am
Altura del aspersor artesanal	: 1.3 m	Duración	: 60 minutos
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1 m	Velocidad del viento	: 0.2 - 0.4 m/s

Volumen recogido en los pluviómetros Cm<sup>3</sup>

<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>3</b>		144	264	276	132	
<b>2</b>	96	204	809	812	216	60
<b>1</b>	240	792	524	519	768	228
<b>1</b>	264	804	521	549	792	168
<b>2</b>	60	216	798	814	252	72
<b>3</b>		120	192	216	120	

Maximo - Minimo		Numero de datos		Medias	
Maximo	814	N Total	32	Total de datos	376.31
Minimo	60	N25% Inferior	8	Del 25% Inferior	100.50
				$\sum(x_i - \bar{x})/n$	249.14

$$cu = 100 * \left[ 1 - \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{\bar{x} * N} \right] \quad \text{Coeficiente de uniformidad de Christiansen } \mathbf{CU = 33.79\%}$$

**Figura B12.**

Volúmenes (cm<sup>3</sup>) captados en la prueba del aspersor artesanal T1 individual y cálculo del coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU)

Aspersor artesanal	: Tipo I	Fecha	: 22/11/2020
Diámetro de los emisores	: 2.0 mm	Inicio de prueba	: 10:30 am
Presión	: 0.6 bar	Fin de prueba	: 11: 30 am
Altura del aspersor artesanal	: 1.3 m	Duración	: 60 minutos
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1 m	Velocidad del viento	: 0.4 - 0.8 m/s

Volumen recogido en los pluviómetros Cm<sup>3</sup>

	4	3	2	1	1	2	3
4							
3			174	216	198	144	
2		192	558	492	522	522	150
1		204	474	276	306	504	174
1	222	426	270		312	486	192
2	186	552	462		468	516	168
3		168	216		180	162	

Maximo - Minimo		Numero de datos		Medias	
Maximo	558	N Total	32	Total de datos	315.38
Minimo	144	N25% Inferior	8	Del 25% Inferior	165.00
				$\sum(x_i - \bar{x})/n$	137.34

$$cu = 100 * \left[ 1 - \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{\bar{x} * N} \right] \quad \text{Coeficiente de uniformidad de Christiansen } \mathbf{CU = 56.45\%}$$

**Figura B13.**

*Volúmenes (cm<sup>3</sup>) captados en la prueba del aspensor artesanal T1 individual y cálculo del coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU)*

Aspensor artesanal	: Tipo I	Fecha	: 22/11/2020
Diámetro de los emisores	: 2.0 mm	Inicio de prueba	: 01:20 pm
Presión	: 0.8 bar	Fin de prueba	: 02: 20 pm
Altura del aspensor artesanal	: 1.3 m	Duración	: 60 minutos
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1 m	Velocidad del viento	: 0.6 - 0. 8m/s

Volumen recogido en los pluviómetros Cm<sup>3</sup>

	4	3	2	1	1	2	3	4
4			138	132	126	114		
3			156	348	389	391	246	126
2		107	288	480	421	402	372	204
1		150	355	412	368	384	391	330
1	156	363	421	379		354	395	348
2	99	246	486	402		384	444	168
3		174	216	396		378	180	120
4			78	138		132	72	

Maximo - Minimo		Numero de datos		Medias	
Maximo	486	N Total	52	Total de datos	265.62
Minimo	72	N25% Inferior	13	Del 25% Inferior	109.77
				$\sum(x_i - \bar{x})/n$	122.12

$$cu = 100 * \left[ 1 - \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{\bar{x} * N} \right] \quad \text{Coeficiente de uniformidad de Christiansen } \mathbf{CU = 54.03\%}$$

**Figura B14.**

*Volúmenes (cm<sup>3</sup>) captados en la prueba del aspersor artesanal T1 individual y cálculo del coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU)*

Aspersor artesanal	: Tipo I	Fecha	: 22/11/2020
Diámetro de los emisores	: 2.0 mm	Inicio de prueba	: 04: 09 pm
Presión	: 1.0 bar	Fin de prueba	: 05: 09 pm
Altura del aspersor artesanal	: 1.3 m	Duración	: 60 minutos
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1 m	Velocidad del viento	: 0.6 - 0. 8m/s

Volumen recogido en los pluviómetros Cm<sup>3</sup>

	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>5</b>				60	102	102	66			
<b>4</b>			102	186	246	228	180	102		
<b>3</b>		96	282	288	315	325	270	228	102	
<b>2</b>	35	168	318	294	285	291	264	270	150	57
<b>1</b>	72	258	300	294	284	278	281	318	246	78
<b>1</b>	66	222	336	282	281	287	276	288	234	78
<b>2</b>	33	108	330	306	288	279	282	294	150	24
<b>3</b>		114	258	312	306	318	294	204	90	
<b>4</b>			96	138	204	216	150	96		
<b>5</b>				36	48	54	30			

<b>Maximo - Minimo</b>		<b>Numero de datos</b>		<b>Medias</b>	
Maximo	336	N Total	76	Total de datos	200.38
Minimo	24	N25% Inferior	19	Del 25% Inferior	64.05
				$\sum(x_i - \bar{x})/n$	90.61

$$cu = 100 * \left[ 1 - \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{\bar{x} * N} \right] \quad \text{Coeficiente de uniformidad de Christiansen } \mathbf{CU = 54.78\%}$$

**Figura B15.**

*Volúmenes (cm<sup>3</sup>) captados en la prueba del aspersor artesanal T1 individual y cálculo del coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU)*

Aspersor artesanal	: Tipo I	Fecha	: 22/11/2020
Diámetro de los emisores	: 2.0 mm	Inicio de prueba	: 5:30 pm
Presión	: 1.2 bar	Fin de prueba	: 6:30 pm
Altura del aspersor artesanal	: 1.3 m	Duración	: 60 minutos
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1 m	Velocidad del viento	: 0.6 - 1.0 m/s

Volumen recogido en los pluviómetros Cm<sup>3</sup>

7	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6
6					22	48	38	30				
5			24	52	80	96	104	98	70	38		
4		22	70	114	151	193	188	156	119	93	44	
3		50	163	258	241	237	247	243	261	156	82	
2	22	94	176	272	229	218	220	239	263	172	110	47
1	46	92	159	248	224	210	213	221	251	155	110	33
1	50	96	163	256	233	207	217	225	249	163	112	41
2	30	91	158	250	242	221	230	237	253	175	109	56
3		64	139	145	247	244	241	249	264	147	90	
4		30	97	125	156	164	173	162	117	108	58	
5			32	78	108	118	124	119	100	54		
6					47	55	63	50				

Maximo - Minimo	Numero de datos	Medias	
Maximo 272	N Total 112	Total de datos	141.46
Minimo 22	N25% Inferior 28	Del 25% Inferior	43.43
		$\sum(x_i - \bar{x})/n$	68.83

$$cu = 100 * \left[ 1 - \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{\bar{x} * N} \right] \quad \text{Coeficiente de uniformidad de Christiansen } \mathbf{CU = 51.34\%}$$

**Figura B16.**

*Volúmenes (cm<sup>3</sup>) captados en la prueba del aspersor artesanal T2 individual y cálculo del coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU)*

Aspersor artesanal	: Tipo II	Fecha	: 29/11/2020
Diámetro de los emisores	: 1.0 mm	Inicio de prueba	: 08:14 am
Presión	: 0.4 bar	Fin de prueba	: 09: 14 am
Altura del aspersor artesanal	: 1.3 m	Duración	: 60 minutos
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1 m	Velocidad del viento	: 0.0 - 0.2 m/s

Volumen recogido en los pluviómetros Cm<sup>3</sup>

4	3	2	1	1	2	3
3		98	71	73	99	
2	98	49	45	41	51	90
1	69	47	68	74	48	78
1	81	48	65	72	40	84
2	97	52	43	45	48	91
3		94	80	84	110	

Maximo - Minimo		Numero de datos		Medias	
Maximo	110	N Total	32	Total de datos	69.78
Minimo	40	N25% Inferior	8	Del 25% Inferior	44.63
				$\sum(x_i - \bar{x})/n$	17.98

$$cu = 100 * \left[ 1 - \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{\bar{x} * N} \right] \quad \text{Coeficiente de uniformidad de Christiansen } \mathbf{CU = 74.23\%}$$

**Figura B17.**

*Volúmenes (cm<sup>3</sup>) captados en la prueba del aspersor artesanal T2 individual y cálculo del coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU)*

Aspersor artesanal	: Tipo II	Fecha	: 29/11/2020
Diámetro de los emisores	: 1.0 mm	Inicio de prueba	: 10:22 am
Presión	: 0.6 bar	Fin de prueba	: 11: 22 am
Altura del aspersor artesanal	: 1.3 m	Duración	: 60 minutos
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1 m	Velocidad del viento	: 0.2 - 0.4 m/s

Volumen recogido en los pluviómetros Cm<sup>3</sup>

	4	3	2	1	1	2	3	4
4			17	47	53	30		
3		30	30	34	38	35	18	
2	34	32	28	45	47	26	35	46
1	51	37	46	65	64	45	36	52
1	54	41	47	67	68	41	37	54
2	35	33	25	44	47	24	38	43
3		20	37	33	36	48	22	
4			25	49	51	35		

Maximo - Minimo		Numero de datos		Medias	
Maximo	68	N Total	52	Total de datos	39.90
Minimo	17	N25% Inferior	13	Del 25% Inferior	25.15
				$\sum(x_i - \bar{x})/n$	9.90

$$cu = 100 * \left[ 1 - \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{\bar{x} * N} \right] \quad \text{Coeficiente de uniformidad de Christiansen } \mathbf{CU = 75.20\%}$$

**Figura B18.**

Volúmenes (cm<sup>3</sup>) captados en la prueba del aspersor artesanal T2 individual y cálculo del coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU)

Aspersor artesanal	: Tipo II	Fecha	: 29/11/2020
Diámetro de los emisores	: 1.0 mm	Inicio de prueba	: 12: 45 pm
Presión	: 0.8 bar	Fin de prueba	: 01: 45 pm
Altura del aspersor artesanal	: 1.3 m	Duración	: 60 minutos
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1 m	Velocidad del viento	: 0.2 - 0.6 m/s

Volumen recogido en los pluviómetros Cm<sup>3</sup>

	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5
5					33	27	30	31		
4			48	49	34	32	55	51		
3		27	42	35	36	35	33	37	31	
2	25	47	33	36	41	39	35	28	46	25
1	26	33	34	43	50	52	43	34	31	32
1	29	34	38	41	54	53	38	35	33	29
2	26	45	34	37	44	36	39	24	60	24
3		23	46	33	35	34	36	48	38	
4			48	53	35	31	60	49		
5				27	25	27	36			

Maximo - Minimo	Numero de datos	Medias	
Maximo 60	N Total 76	Total de datos	37.32
Minimo 23	N25% Inferior 19	Del 25% Inferior	27.11
		$\sum(x_i - \bar{x})/n$	7.31

$$cu = 100 * \left[ 1 - \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{\bar{x} * N} \right] \quad \text{Coeficiente de uniformidad de Christiansen } \mathbf{CU = 80.41\%}$$

**Figura B19.**

Volúmenes (cm<sup>3</sup>) captados en la prueba del aspersor artesanal T2 individual y cálculo del coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU)

Aspersor artesanal	: Tipo II	Fecha	: 29/11/2020
Diámetro de los emisores	: 1.0 mm	Inicio de prueba	: 03: 14 pm
Presión	: 1.0 bar	Fin de prueba	: 04: 14 pm
Altura del aspersor artesanal	: 1.3 m	Duración	: 60 minutos
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1 m	Velocidad del viento	: 0.5 - 0.8 m/s

Volumen recogido en los pluviómetros Cm<sup>3</sup>

7	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6
6					12	19	20	9				
5				32	31	31	35	33	29			
4			29	41	25	31	29	23	42	32		
3		21	38	33	19	35	36	16	31	40	20	
2	9	39	36	24	28	47	49	26	23	37	41	10
1	17	32	29	30	43	59	62	45	34	27	29	19
1	18	34	28	33	44	61	60	47	30	29	32	21
2	10	35	33	25	29	51	49	24	24	36	44	12
3		22	39	34	18	36	38	19	36	43	24	
4			31	39	22	29	32	24	46	36		
5				30	32	33	30	35	33			
6					13	19	22	11				

Maximo - Minimo	Numero de datos	Medias	
Maximo 62	N Total 104	Total de datos	30.98
Minimo 9	N25% Inferior 26	Del 25% Inferior	17.08
		$\sum(x_i - \bar{x})/n$	8.52

$$cu = 100 * \left[ 1 - \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{\bar{x} * N} \right] \quad \text{Coeficiente de uniformidad de Christiansen } \mathbf{CU = 72.50\%}$$

**Figura B20.**

*Volúmenes (cm<sup>3</sup>) captados en la prueba del aspersor artesanal T2 individual y cálculo del coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU)*

Aspersor artesanal	: Tipo II	Fecha	: 29/11/2020
Diámetro de los emisores	: 1.0 mm	Inicio de prueba	: 05:30 pm
Presión	: 1.2 bar	Fin de prueba	: 06:30 pm
Altura del aspersor artesanal	: 1.3 m	Duración	: 60 minutos
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1 m	Velocidad del viento	: 0.4 - 0.6 m/s

Volumen recogido en los pluviómetros Cm<sup>3</sup>

	7	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6	7
7					15	20	23	21	19	17				
6			21	36	45	42	39	38	45	45	33	11		
5		17	39	42	48	39	39	37	36	39	45	42	15	
4		39	39	48	36	36	42	39	30	27	36	45	36	
3	19	33	45	36	30	39	65	68	42	30	30	36	30	29
2	20	39	42	39	33	76	79	83	77	45	27	33	37	31
1	33	43	43	43	73	85	84	80	89	75	45	39	41	31
1	33	42	42	46	74	79	87	83	84	78	43	40	44	33
2	24	39	48	36	39	81	81	87	82	51	36	39	33	33
3	21	37	45	39	36	42	73	75	39	30	39	54	31	30
4		30	45	57	42	39	44	46	30	36	54	42	28	
5		15	39	45	54	51	45	45	51	60	48	48	13	
6			18	39	48	48	42	41	51	54	45	17		
7					16	24	28	27	18	15				

Maximo - Minimo		Numero de datos		Medias	
Maximo	89	N Total	164	Total de datos	42.71
Minimo	11	N25% Inferior	41	Del 25% Inferior	23.44
				$\sum(x_i - \bar{x})/n$	12.96

$$cu = 100 * \left[ 1 - \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{\bar{x} * N} \right] \quad \text{Coeficiente de uniformidad de Christiansen } \mathbf{CU = 69.66\%}$$

**Figura B21.**

*Volúmenes (cm<sup>3</sup>) captados en la prueba del aspersor artesanal T2 individual y cálculo del coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU)*

Aspersor artesanal	: Tipo II	Fecha	: 24/11/2020
Diámetro de los emisores	: 1.5 mm	Inicio de prueba	: 03: 10 pm
Presión	: 0.4 bar	Fin de prueba	: 04: 10 pm
Altura del aspersor artesanal	: 1.3 m	Duración	: 60 minutos
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1 m	Velocidad del viento	: 0.5 - 0.8 m/s

Volumen recogido en los pluviómetros Cm<sup>3</sup>

	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5
5				39	42	39	36			
4			45	51	63	65	78	45		
3		24	57	42	49	43	42	75	19	
2	36	43	42	33	57	45	36	45	72	30
1	42	66	42	49	60	66	51	43	62	48
1	42	67	46	53	63	68	54	47	64	45
2	39	66	45	78	56	59	36	48	75	27
3		31	60	48	47	49	45	45	20	
4			48	69	64	65	72	51		
5				36	48	45	39			

Maximo - Minimo		Numero de datos		Medias	
Maximo	78	N Total	76	Total de datos	49.76
Minimo	19	N25% Inferior	19	Del 25% Inferior	34.00
				$\sum(x_i - \bar{x})/n$	11.25

$$cu = 100 * \left[ 1 - \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{\bar{x} * N} \right] \quad \text{Coeficiente de uniformidad de Christiansen } \mathbf{CU = 77.40\%}$$

**Figura B22.**

*Volúmenes (cm<sup>3</sup>) captados en la prueba del aspersor artesanal T2 individual y cálculo del coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU)*

Aspersor artesanal	: Tipo II	Fecha	: 24/11/2020
Diámetro de los emisores	: 1.5 mm	Inicio de prueba	: 04: 40 pm
Presión	: 0.6 bar	Fin de prueba	: 05: 40 pm
Altura del aspersor artesanal	: 1.3 m	Duración	: 60 minutos
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1 m	Velocidad del viento	: 0.8 - 1.0 m/s

Volumen recogido en los pluviómetros Cm<sup>3</sup>

	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5
5			39	48	52	54	45	30		
4		45	72	84	72	66	72	69	39	
3	33	69	81	39	69	72	39	72	75	21
2	51	73	39	57	75	75	39	39	72	42
1	57	60	70	73	89	95	79	74	63	54
1	57	65	73	72	88	86	76	72	64	60
2	54	81	48	75	72	75	42	42	69	51
3	36	75	53	45	69	72	39	87	60	27
4		51	84	57	66	68	54	60	42	
5			33	54	46	49	63	33		

Maximo - Minimo		Numero de datos		Medias	
Maximo	95	N Total	88	Total de datos	59.98
Minimo	21	N25% Inferior	22	Del 25% Inferior	37.64
				$\sum(x_i - \bar{x})/n$	14.18

$$cu = 100 * \left[ 1 - \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{\bar{x} * N} \right] \quad \text{Coeficiente de uniformidad de Christiansen } \mathbf{CU = 76.35\%}$$

**Figura B23.**

*Volúmenes (cm<sup>3</sup>) captados en la prueba del aspersor artesanal T2 individual y cálculo del coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU)*

Aspersor artesanal	: Tipo II	Fecha	: 25/11/2020
Diámetro de los emisores	: 1.5 mm	Inicio de prueba	: 07: 47 am
Presión	: 0.8 bar	Fin de prueba	: 08: 47 am
Altura del aspersor artesanal	: 1.3 m	Duración	: 60 minutos
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1 m	Velocidad del viento	: 0.2 - 0.3 m/s

Volumen recogido en los pluviómetros Cm<sup>3</sup>

7	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6
6				30	39	35	37	39	30			
5			42	42	45	45	45	48	39	39		
4		39	36	30	42	46	48	30	42	42	36	
3	39	33	30	33	39	53	58	24	24	48	42	24
2	45	42	33	45	69	75	72	33	27	45	45	33
1	39	46	48	53	72	86	91	69	49	43	46	39
1	34	48	43	58	66	85	81	73	53	39	42	32
2	42	42	27	63	84	75	80	51	21	27	57	33
3	36	36	51	39	51	66	54	24	21	54	48	24
4		36	39	48	33	46	49	36	60	48	33	
5			36	42	42	43	45	66	45	30		
6				36	39	33	32	33	18			

Maximo - Minimo		Numero de datos		Medias	
Maximo	91	N Total	120	Total de datos	44.72
Minimo	18	N25% Inferior	30	Del 25% Inferior	28.97
				$\sum(x_i - \bar{x})/n$	11.20

$$cu = 100 * \left[ 1 - \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{\bar{x} * N} \right] \quad \text{Coeficiente de uniformidad de Christiansen } \mathbf{CU = 74.96\%}$$

**Figura B24.**

*Volúmenes (cm<sup>3</sup>) captados en la prueba del aspersor artesanal T2 individual y cálculo del coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU)*

Aspersor artesanal	: Tipo II	Fecha	: 25/11/2020
Diámetro de los emisores	: 1.5 mm	Inicio de prueba	: 09:42 am
Presión	: 1.0 bar	Fin de prueba	: 10:42 am
Altura del aspersor artesanal	: 1.3 m	Duración	: 60 minutos
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1 m	Velocidad del viento	: 0.4 - 0.6 m/s

Volumen recogido en los pluviómetros Cm<sup>3</sup>

	7	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6	7
7							37	39	39	42	39	36		
6			37	38	45	42	47	49	45	45	36	36		
5		36	39	44	48	50	53	52	49	48	45	43	37	
4		41	42	48	52	53	64	63	52	50	49	48	36	
3	38	44	46	51	53	67	70	74	72	53	46	44	39	37
2	38	45	48	55	64	69	83	85	83	62	54	47	44	39
1	41	48	53	66	75	83	87	88	85	75	61	52	47	40
1	42	47	54	64	73	84	88	86	85	78	63	54	46	42
2	39	46	48	54	63	81	84	86	83	66	52	49	42	38
3	37	45	45	51	56	69	71	75	71	54	53	48	45	39
4		43	45	57	52	62	63	61	58	50	54	42	45	
5		36	41	45	54	51	52	55	51	60	53	48	39	
6			37	39	47	48	46	47	51	54	45	36		
7					37	38	39	41	39	37				

Maximo - Minimo		Numero de datos		Medias	
Maximo	88	N Total	164	Total de datos	64.50
Minimo	36	N25% Inferior	41	Del 25% Inferior	23.44
				$\sum(x_i - \bar{x})/n$	12.96

$$cu = 100 * \left[ 1 - \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{\bar{x} * N} \right] \quad \text{Coeficiente de uniformidad de Christiansen } \mathbf{CU = 82.79\%}$$

**Figura B25.**

*Volúmenes (cm<sup>3</sup>) captados en la prueba del aspersor artesanal T2 individual y cálculo del coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU)*

Aspersor artesanal	: Tipo II	Fecha	: 25/11/2020
Diámetro de los emisores	: 1.5 mm	Inicio de prueba	: 01:05 pm
Presión	: 1.2 bar	Fin de prueba	: 02:05 pm
Altura del aspersor artesanal	: 1.3 m	Duración	: 60 minutos
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1 m	Velocidad del viento	: 0.3 - 0.5 m/s

Volumen recogido en los pluviómetros Cm<sup>3</sup>

	8	7	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6	7	8
8							17	31	35	37	33	16				
7				21	26	41	42	42	45	45	43	28	20			
6			20	32	39	35	40	49	50	41	37	40	32	23		
5		12	31	34	32	32	37	42	40	35	34	34	35	32	14	
4		26	35	31	27	31	39	48	46	37	30	29	34	35	25	
3	15	35	32	32	23	33	45	79	82	43	32	23	35	33	36	16
2	20	37	34	25	26	39	78	115	116	76	37	25	27	34	38	19
1	27	35	35	33	47	72	100	137	139	111	77	44	35	37	35	29
1	26	34	37	36	45	75	112	139	138	117	73	48	33	39	36	30
2	19	36	35	26	26	37	79	114	114	75	36	24	27	36	39	21
3	13	32	32	34	25	31	46	80	78	42	30	24	36	33	36	15
4		28	34	32	29	30	38	49	52	36	30	30	33	36	27	
5		13	31	35	33	35	37	44	42	36	36	36	36	33	15	
6			22	33	38	37	41	45	48	42	39	42	33	24		
7				19	29	44	45	40	38	48	45	30	21			
8						16	34	34	36	36	15					

<b>Maximo - Minimo</b>		<b>Numero de datos</b>		<b>Medias</b>	
Maximo	139	N Total	208	Total de datos	40.76
Minimo	12	N25% Inferior	52	Del 25% Inferior	22.56
				$\sum(x_i - \bar{x})/n$	14.74

$$cu = 100 * \left[ 1 - \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{\bar{x} * N} \right] \quad \text{Coeficiente de uniformidad de Christiansen } \mathbf{CU = 63.83\%}$$

**Figura B26.**

*Volúmenes (cm<sup>3</sup>) captados en la prueba del aspersor artesanal T2 individual y cálculo del coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU)*

Aspersor artesanal	: Tipo II	Fecha	: 26/11/2020
Diámetro de los emisores	: 2.0 mm	Inicio de prueba	: 08: 10 am
Presión	: 0.4 bar	Fin de prueba	: 09: 10 am
Altura del aspersor artesanal	: 1.3 m	Duración	: 60 minutos
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1 m	Velocidad del viento	: 0.2 - 0.4 m/s

Volumen recogido en los pluviómetros Cm<sup>3</sup>

<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>3</b>		228	225	228	216	
<b>2</b>	156	120	96	90	246	204
<b>1</b>	228	92	180	168	96	216
<b>1</b>	210	96	192	177	102	210
<b>2</b>	162	204	90	96	276	132
<b>3</b>		222	234	240	246	

<b>Maximo - Minimo</b>		<b>Numero de datos</b>		<b>Medias</b>	
Maximo	276	N Total	32	Total de datos	177.44
Minimo	90	N25% Inferior	8	Del 25% Inferior	94.75
				$\sum(x_i - \bar{x})/n$	50.70

$$cu = 100 * \left[ 1 - \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{\bar{x} * N} \right] \quad \text{Coeficiente de uniformidad de Christiansen } \mathbf{CU = 71.43\%}$$

**Figura B27.**

*Volúmenes (cm<sup>3</sup>) captados en la prueba del aspersor artesanal T2 individual y cálculo del coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU)*

Aspersor artesanal	: Tipo II	Fecha	: 26/11/2020
Diámetro de los emisores	: 2.0 mm	Inicio de prueba	: 10: 16 am
Presión	: 0.6 bar	Fin de prueba	: 11: 16 am
Altura del aspersor artesanal	: 1.3 m	Duración	: 60 minutos
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1 m	Velocidad del viento	: 0.4 - 0.6 m/s

Volumen recogido en los pluviómetros Cm<sup>3</sup>

	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5
5			62	56	42	56	56	42		
4		45	50	98	85	79	72	54	44	
3	64	56	78	82	68	70	74	94	62	34
2	76	82	70	66	78	82	64	86	84	50
1	74	88	72	77	149	151	79	74	83	56
1	60	83	72	81	155	160	84	78	77	60
2	88	81	70	70	92	62	66	77	82	52
3	56	70	85	94	82	68	83	83	74	8
4		62	80	82	81	84	74	76	20	
5			22	68	45	48	54	10		

Maximo - Minimo	Numero de datos	Medias	
Maximo 160	N Total 88	Total de datos	71.85
Minimo 8	N25% Inferior 22	Del 25% Inferior	46.27
		$\sum(x_i - \bar{x})/n$	17.91

$$cu = 100 * \left[ 1 - \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{\bar{x} * N} \right] \quad \text{Coeficiente de uniformidad de Christiansen } \mathbf{CU = 75.07\%}$$

**Figura B28.**

*Volúmenes (cm<sup>3</sup>) captados en la prueba del aspersor artesanal T2 individual y cálculo del coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU)*

Aspersor artesanal	: Tipo II	Fecha	: 26/11/2020
Diámetro de los emisores	: 2.0 mm	Inicio de prueba	: 01: 10 pm
Presión	: 0.8 bar	Fin de prueba	: 02: 10 pm
Altura del aspersor artesanal	: 1.3 m	Duración	: 60 minutos
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1 m	Velocidad del viento	: 0.4 - 0.5 m/s

Volumen recogido en los pluviómetros Cm<sup>3</sup>

7	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6
6				30	52	46	43	42	37			
5			46	70	50	52	54	74	58	42	29	
4		50	68	60	68	74	72	68	62	56	36	
3	30	62	66	80	80	77	74	76	70	64	52	28
2	50	66	76	82	90	93	91	76	76	72	60	34
1	54	68	84	84	121	186	190	102	72	74	60	40
1	52	66	82	84	118	198	204	104	78	78	66	44
2	50	76	90	90	82	100	97	72	80	80	68	34
3	33	76	78	94	84	76	77	80	78	70	60	28
4		46	80	74	80	84	84	80	72	70	32	
5			40	80	74	64	74	78	62	34		
6				30	32	50	46	34	33			

**Maximo - Minimo**

Maximo	204
Minimo	28

**Numero de datos**

N Total	121
N25% Inferior	30

**Medias**

Total de datos	69.91
Del 25% Inferior	38.30
$\sum(x_i - \bar{x})/n$	19.80

$$cu = 100 * \left[ 1 - \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{\bar{x} * N} \right]$$

Coeficiente de uniformidad de Christiansen **CU = 71.68%**

**Figura B29.**

*Volúmenes (cm<sup>3</sup>) captados en la prueba del aspersor artesanal T2 individual y cálculo del coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU)*

Aspersor artesanal	: Tipo II	Fecha	: 26/11/2020
Diámetro de los emisores	: 2.0 mm	Inicio de prueba	: 03: 19 pm
Presión	: 1.0 bar	Fin de prueba	: 04: 19 pm
Altura del aspersor artesanal	: 1.3 m	Duración	: 60 minutos
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1 m	Velocidad del viento	: 0.6 - 0.8 m/s

Volumen recogido en los pluviómetros Cm<sup>3</sup>

	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6
7												
6					20	24	30	31	26	25		
5		25	18	36	61	61	60	64	50	30	28	
4		28	40	64	64	67	68	70	68	60	32	
3	28	30	66	70	70	87	85	78	76	72	60	27
2	29	48	68	72	81	128	133	100	86	76	68	32
1	36	62	70	77	109	227	232	151	90	82	72	37
1	33	60	72	84	120	237	239	146	98	84	76	39
2	30	46	80	82	92	125	136	112	96	90	80	31
3	27	36	82	81	84	98	95	84	84	82	46	33
4		33	38	77	78	77	79	82	86	54	34	24
5		22	34	38	50	63	64	62	40	30	32	
6				32	30	33	35	32	29			

Maximo - Minimo		Numero de datos		Medias	
Maximo	239	N Total	125	Total de datos	67.78
Minimo	18	N25% Inferior	31	Del 25% Inferior	28.42
				$\sum(x_i - \bar{x})/n$	29.07

$$cu = 100 * \left[ 1 - \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{\bar{x} * N} \right] \quad \text{Coeficiente de uniformidad de Christiansen } \mathbf{CU = 57.11\%}$$

**Figura B30.**

*Volúmenes (cm<sup>3</sup>) captados en la prueba del aspersor artesanal T2 individual y cálculo del coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU)*

Aspersor artesanal	: Tipo II	Fecha	: 27/11/2020
Diámetro de los emisores	: 2.0 mm	Inicio de prueba	: 10: 00 am
Presión	: 1.2 bar	Fin de prueba	: 11: 00 am
Altura del aspersor artesanal	: 1.3 m	Duración	: 60 minutos
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1 m	Velocidad del viento	: 0.4 - 0.7 m/s

Volumen recogido en los pluviómetros Cm<sup>3</sup>

	7	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6	7
7				17	20	22	24	24	28	29	21			
6			21	30	26	28	34	36	34	31	29	24		
5		19	26	28	48	60	64	78	66	56	34	29	24	
4		30	30	52	66	80	80	80	82	72	60	36	27	
3	21	32	51	74	86	84	90	94	89	91	78	60	30	24
2	20	34	63	80	90	115	145	152	118	96	88	78	34	26
1	30	38	73	90	105	193	257	266	175	120	96	78	41	27
1	28	38	74	92	120	190	263	271	180	132	100	82	43	29
2	21	34	66	88	102	130	147	152	132	106	98	80	37	28
3	19	32	49	82	97	98	102	106	102	100	94	57	34	25
4		30	32	50	83	92	98	102	91	84	70	38	32	
5		23	30	34	41	64	84	88	80	52	40	32	27	
6			19	32	37	34	38	44	50	38	38	25		
7				16	18	31	36	38	30	33	15			

Maximo - Minimo	Numero de datos	Medias	
Maximo 271	N Total 168	Total de datos 66.46	
Minimo 15	N25% Inferior 42	Del 25% Inferior 24.45	
		$\sum(x_i - \bar{x})/n$ 37.05	

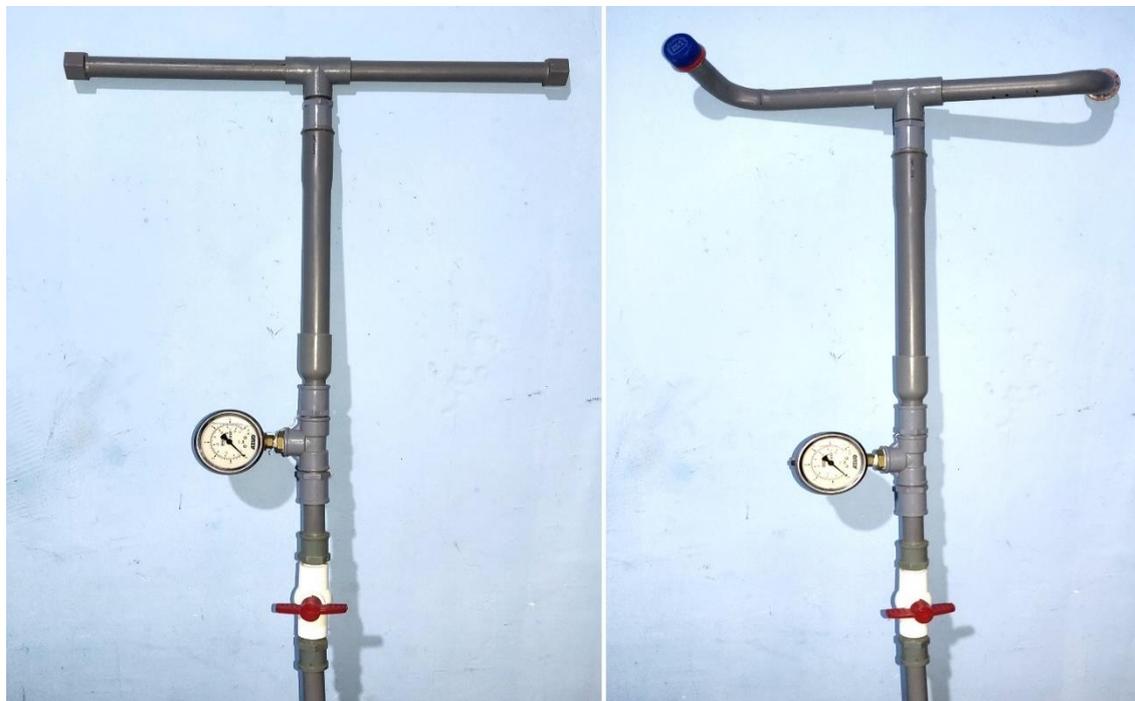
$$cu = 100 * \left[ 1 - \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{\bar{x} * N} \right] \quad \text{Coeficiente de uniformidad de Christiansen } \mathbf{CU = 44.25\%}$$

## Anexo C.

### Panel fotográfico

#### Figura C1.

Aspersor artesanal T1 y T2 con sus respectivos instrumentos de medición



#### Figura C2.

Aspersor artesanal T1 en plena prueba para el cálculo del CU y curva radia



**Figura C3.**

*Aspersor artesanal T2 en plena prueba para el cálculo del CU y curva radial*



**Figura C4.**

*Toma de medidas de volumen de agua recolectados en los pluviómetros con ayuda de probeta graduada*



**Figura C5.**

*Prueba de cálculo de caudal emitido por el Aspersor artesanal T1, T2*



**Figura C6.**

*Toma de datos de la velocidad del viento con ayuda de un manómetro digital*

