

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



**“DISEÑO Y CARACTERIZACIÓN DE MICRO ASPERSORES
ARTESANALES PARA RIEGO EN HORTICULTURA, EN EL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y EXPERIMENTACIÓN
CAÑASBAMBA – UNASAM”**

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

PRESENTADO POR:

Bach. SÓSIMO IVAN RAMIREZ TARAZONA

ASESOR:

DR. TEÓFANES MEJÍA ANAYA

Huaraz - Perú

2018



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado de Tesis que suscriben, reunidos para escuchar y evaluar la sustentación de la Tesis presentado por el Bachiller en Ingeniería Agrícola, **Sósimo Ivan, RAMIREZ TARAZONA**, titulado: **"DISEÑO Y CARACTERIZACIÓN DE MICRO ASPERSORES ARTESANALES PARA RIEGO EN HORTICULTURA, EN EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y EXPERIMENTACIÓN CAÑASBAMBA – UNASAM"**. Escuchada la sustentación y las respuestas a las preguntas y observaciones formuladas, la declaramos:

APROBADO

CON EL CALIFICATIVO DE (*)

MUY BUENO (16)

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

Huaraz, 08 de Agosto del 2018.



Dr. Pedro Alejandro COLONIA CERNA
PRESIDENTE



Dr. Luis Alberto ORBEGOSO NAVARRO
SECRETARIO



Ing. M. Sc. Tito Moner Tinoco Meyhuay
VOCAL



Dr. Teófanés MEJÍA ANAYA
PATROCINADOR

(*) De acuerdo con el Reglamento de Tesis, ésta debe ser calificada con términos de: Aprobado con Excelencia (19-20), Aprobado con Distinción (17-18), Aprobado (14-16) y Desaprobado (00-13).



ACTA DE CONFORMIDAD DE TESIS

Los Miembros de jurado de tesis que suscriben, nombrados por Resolución N° 058-2017-UNASAM-FCA/D, se reunieron para revisar el informe de tesis, presentado por el Bachiller en Ingeniería Agrícola, **Sósimo Ivan, RAMIREZ TARAZONA**, titulado: **"DISEÑO Y CARACTERIZACIÓN DE MICRO ASPERSORES ARTESANALES PARA RIEGO EN HORTICULTURA, EN EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y EXPERIMENTACIÓN CAÑASBAMBA – UNASAM"**, y sustentada el día 08 de Agosto del 2018, por Resolución Decanatural N° 289-2018-UNASAM-FCA/D, lo declaramos CONFORME.

En consecuencia, queda en condiciones de ser publicado.

Huaraz, 08 de Agosto del 2018.

Dr. Pedro Alejandro COLONIA CERNA
PRESIDENTE

Dr. Luis Alberto ORBEGOSO NAVARRO
SECRETARIO

Ing. M. Sc. Tito Moner Tinoco Meyhuay
VOCAL

Dr. Teófilo MEJÍA ANAYA
PATROCINADOR

DEDICATORIA

Con amor, respeto y admiración a mis padres: Sósimo D. Ramirez Melgarejo y Genoveva F. Tarazona Bustos, por brindarme su amor, cariño, estímulo y apoyo incondicional; Gracias por guiar mi vida con principios y valores.

A mis hermanos/as Rolando, Sofia, Noelia, Dona, Zoima y Claudia, quienes me brindaron su confianza, apoyo moral y espiritual.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio y hasta ahora.

A todos mis seres amados, a aquellos que, con su apoyo incondicional, lograron apoyarme para poder llegar a estas instancias de mis estudios, quienes con sus palabras de aliento no me han dejado de caer para que siguiera adelante y siempre sea perseverante y cumpla mis ideales.

A la Universidad Nacional “**SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO**”, Facultad de “**Ciencias Agrarias**”, Escuela Profesional de “**Ingeniería Agrícola**”, y a cada docente que formaron parte de mi educación profesional.

A mis patrocinadores Dr. Teófanos Mejía Anaya, Ing. Esteban Pedro Reyes Roque, por las orientaciones brindadas, que con sus conocimientos y experiencias contribuyeron a la culminación del presente trabajo de investigación.

A mis Jurados: Dr. Pedro Alejandro Colonia Cerna, Mag. Luis Alberto Orbegoso Navarro y Mag. Tito Moner Tinoco Meyhuay, por su valioso aporte, sugerencias y correcciones realizadas en el texto.

En fin, a todos los que de una forma u otra me han ayudado.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	Pág.
PORTADA	i
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS.....	ii
ACTA DE CONFORMIDAD DE TESIS.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE GENERAL.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE APÉNDICE.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
BSTRACT	xvi
I. INTRODUCCION.....	1
1.1. Objetivos.....	3
1.1.1. Objetivo general.....	3
1.1.1. Objetivos específicos.....	3
II. REVISION BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. Antecedentes.....	4
2.2. Justificación	5
2.2.1. Comportamiento del micro aspersor artesanal:	6
2.3. Marco Teórico	8
2.3.1. Suelo agrícola	8

2.3.2. Horticultura.....	8
2.3.3. El riego.....	8
2.3.4. Aspersores.....	9
2.3.5. Riego por aspersión	11
2.3.6. Clasificación de los sistemas por aspersión.....	11
2.3.7. Riego por micro aspersión	14
2.3.8. Micro aspersor artesanal	17
2.3.9. Características hidráulicas de los micro aspersores.....	17
2.3.10. Característica de reparto del agua	20
2.3.11. Determinación de reparto de agua de los aspersores.....	24
2.3.12. Marco o disposición conjunta de los aspersores	27
2.3.13. Pluviométrica media de los micro aspersores.	29
2.3.14. Pluviométrica en los colectores de agua	30
2.3.15. Ventajas del riego por microaspersión.....	31
2.3.16. Influencia del tamaño de las gotas de agua.....	31
2.3.17. Velocidad de infiltración.....	32
2.3.18. Acción del viento en los aspersores	33
2.3.19. Selección del aspersor	34
III.MATERIALES Y METODOS.....	35
3.1. Características Generales del Proyecto.....	35
3.1.1.Ubicación.	35
3.2. Materiales	35
3.2.1.Materiales y herramientas para diseño y construcción de micro aspersor artesanal	35
3.2.2.Materiales para caracterizar los micro aspersores.....	36

3.2.3.Equipos:	36
3.2.4.Software	37
3.3. Metodología.....	37
3.3.1.Diseño y construcción de micro aspersores artesanales por aproximaciones sucesivas	37
3.3.2.Caracterización de micro aspersores giratorios.....	55
3.3.3.Trabajo en gabinete	63
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	67
4.1. Diseño y Construcción de Micro Aspersores Artesanal	67
4.1.1.Diseño y construcción de micro aspersor de impacto.	67
4.1.2.Diseño y construcción de micro aspersores giratorios.	67
4.2. Caudal por Boquilla.....	69
4.2.1.Micro aspersor tipo I.....	69
4.2.2.Micro aspersor tipo II	70
4.3. Diámetro de Humedecimiento.....	72
4.3.1.Micro aspersor tipo I.....	72
4.3.2.Micro aspersor tipo II.	74
4.4. Curva Radial de los Micro Aspersores	76
4.5. Coeficiente de Uniformidad de Christiansen.....	76
V. CONCLUSIONES.	81
VI.RECOMENDACIONES.	82
VII.REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	83
VIII.APENDICE.	88

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Porcentaje de reducción según velocidad de viento	27
Tabla 2. Características de los componentes de los micro aspersores.....	68
Tabla 3. Variación del caudal debido a la presión del micro aspersor tipo I.....	70
Tabla 4. Variación del caudal debido a la presión del micro aspersor tipo II.	71
Tabla 5. Evaluación para determinar Curvas presión-Radius de humedecimiento.....	75
Tabla 6. Valores de CU (en %) en condiciones de viento para distintos marcos de riego	78
Tabla 7. Valores de CU (en %) en condiciones de viento para distintos marcos de riego	78
Tabla 8. Valores de CU (en %) en condiciones de viento para distintos marcos de riego	78
Tabla 9. Valores de CU (en %) en condiciones de viento para distintos marcos de riego	79

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Micro aspersor artesanal de impacto a un cabezal de tornillo	6
figura 2. Funcionamiento del micro aspersor artesanal de impacto a un cabezal de tornillo	7
figura 3. Clasificación de los sistemas de riego.....	12
figura 4. Efecto de la presión del agua en el aspersor en la distribución de la lluvia generada.	22
figura 5. Principales modelos de reparto de agua de un aspersor.....	24
figura 6. Disposición de pluviómetros total.....	26
figura 6. Disposición de pluviómetros en cruz	26
figura 8. Separación recomendada entre aspersores y ramales de aspersión en marco cuadrado.	28
figura 9. Separación recomendada entre aspersores y ramales de aspersión en marco triangular.	28
figura 10. Separación recomendada entre aspersores y ramales de aspersión en marco rectangular.....	29
figura 11. Colector o vaso pluviométricos.....	30
Figura 12. Corte del tubo de ½’’	38
figura 13. Trazo sobre la plancha de PVC.....	39
figura 14. Corte del trazo realizado	39
figura 15. Proceso de dar concavidad al cabezal	39
figura 16. Cabezal de riego concluido	40
figura 17. Corte de canaletas para empotrar los soportes del cabezal	40
figura 18. Corte en los vértices para enrollar el alambre de sujeción.....	41

figura 19: Micro aspersor terminado	42
figura 20. Proceso de construcción sobre tapón hembra	43
figura 21. Boquilla y colocación al orificio	43
figura 22. Tapón macho	43
figura 23. Proceso de dar forma cóncava al tapón.....	44
figura 24. Trazo y detalle de curvas de turbina	45
figura 25. Detalle de zanjas de turbina	45
figura 26. Proceso de redondeo y detalles	46
figura 27. Corte de rosca del tapón.....	46
figura 28. Proceso de corte del cabezal del pali globo	47
figura 29. Orificio y anclaje de componentes	48
figura 30. Etapa final de la construcción del cabezal de giro	48
figura 31. Enrollar del alambre en el clavo de 2"	49
figura 32. Proceso de doblado del alambre, para soporte de cabezal de giro	49
figura 33. Medida de corte del clavo de 2"	50
figura 33. Canaletas en vértices opuesto.....	50
figura 35. Cortes Horizontales en los seis vértices, para sujetar el soporte.....	51
figura 36. Anclaje final del micro aspersor	51
figura 37. Boquilla y colocación al orificio	52
figura 38. Trazo y detalle de Curvas de turbinas	52
figura 39. Detalle de zanjas de turbina	53
figura 39. Empalme en adaptador de 1/2" de PVC	53
figura 41. Micro aspersor terminado con todos sus componentes.....	54
figura 42. Instalación de dispositivos e instrumentos para las pruebas	56

figura 43. Esquema de cantidad de pruebas realizadas para le micro aspersor tipo I.....	58
figura 44. Esquema de cantidad de pruebas realizadas para le micro aspersor tipo II	58
figura 45. Modelo de distribución de agua del micro aspersor.....	59
figura 46. Trazo preliminar y proceso de enmallado	61
figura 47. Esquema del ensayo del aspersor aislado al aire libre	62
figura 48. Medidas del vaso usado como pluviómetros en las pruebas.....	64
figura 49. Esquema de simulación de área evaluada en los marcos cuadrado rectangular y triangular	65
figura 50. Área de cobertura de un solo micro aspersor	66
figura 51. Simulación de traslape de micro aspersores, en marco cuadrado	66
Figura 52. Detalle de ancho de zanjas de turbina.....	68
Figura 53. Curva caudal - presión para el micro aspersor tipo I (4mm)	70
Figura 53. Curva caudal - presión para el micro aspersor tipo II (5 mm)	71
Figura 55. Curva Radio - presión para el micro aspersor tipo I (4mm)	73
Figura 55. Curva Radio - presión para el micro aspersor tipo II (5 mm).....	75
figura 57. Distribución del agua del micro aspersor funcionando individualmente.....	77

ÍNDICE DE APÉNDICE

Apéndice A: Perfil Radial de distribución	88
Apéndice B: Evaluación de reparto de agua sobre el suelo	112
Apéndice C: Velocidad de viento	124
Apéndice D: Fotografías	126

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene por objeto diseñar, construir y caracterizar micro aspersores artesanales (Tipo I y Tipo II), aplicables al riego en pequeños huertos.

Se realizaron veinticuatro pruebas (24) en los dos prototipos de micro aspersores artesanales, analizando la influencia de los principales factores que los afectan, tales como la velocidad del viento, la presión de trabajo, caudal emitido, altura del micro aspersor desde el suelo y el marco de riego. Así mismo, se determinó el coeficiente de uniformidad de Christiansen, utilizando una red pluviométrica cuadrada de 1x1m en el terreno de prueba; también se realizó ensayos para determinar perfiles radiales de humedecimiento (espaciamiento entre pluviómetros de $\sqrt{2}/2$ m) dispuesto en cruz.

Los resultados promedios que se obtuvieron a través de las diversas pruebas de campo, son las siguientes:

Para el Micro Aspersor Tipo I: Boquilla de 4 mm, presión máxima de trabajo 1.0 bar, radio de humedeciendo hasta 5.1 m, y caudal que oscila desde 163.34 hasta 398.52 l/s, para presiones de trabajo de 0.2, 1.0 bar, respectivamente.

Para el Micro Aspersor Tipo II: Boquilla de 5 mm, presión máxima de trabajo 1.2 bar, radio de humedeciendo hasta 6 m, y caudal que oscila desde 190.64 hasta 647.22 l/s, para presiones de trabajo de 0.2, 1.2 bar, respectivamente.

Para ambos tipos, se determinó valores de coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU) mediante simulaciones bajo distintos marcos de riego: Cuadrado, rectangular, y triangular. Considerando aceptables sólo aquellos valores que son mayores o iguales que 80 %. Entre los resultados encontrados tenemos:

Micro Aspersor Tipo I: El valor máximo de CU fue de 96.3 %, para condiciones de viento de 0.5 a 1.9 m/s, presión de 0.8 bar, marco triangular de 6x5 y altura desde el suelo de 1.0 m.

Micro Aspersor Tipo II: El valor máximo de CU fue de 95.2 %, para condiciones de viento de 2.2 a 2.6 m/s, presión de 0.8 bar, marco triangular de 6x6 y altura desde el suelo de 1.0 m.

En cuanto a la curva radial de humedecimiento, se puede observar que, en todas las condiciones evaluadas, estos mantienen un comportamiento triangular, esto es indicador de un buen comportamiento de reparto de agua, ya que consigue mayor coeficiente de uniformidad de Christiansen para todos los marcos y presiones.

Palabras claves: Diseño y construcción de micro aspersor artesanal, coeficiente de uniformidad de Christiansen, Perfil radial de humedecimiento, Curva caudal por presión, curva radio de humedecimiento por presión, horticultura, marco de riego.

ABSTRACT

The present research work aims to design, build and characterize artisanal micro sprinklers (Type I and Type II), applicable to irrigation in small orchards.

Twenty-four (24) tests were carried out on the two prototypes of artisanal micro sprinklers, analysing the influence of the main factors affecting them, such as wind speed, working pressure, emitted flow, height of the micro sprinkler from the ground and the irrigation frame. The Christiansen uniformity coefficient was also determined using a 1x1m square rainfall network on the test field; tests were also carried out to determine radial wetting profiles (rain gauge spacing of $\sqrt{2}/2$ m) arranged in a cross pattern.

The average results obtained through the various field tests are as follows:

For Micro Sprinkler Type I: 4 mm nozzle, maximum working pressure 1.0 bar, wetting radius up to 5.1 m, and flow rate ranging from 163.34 to 398.52 l/s, for working pressures of 0.2, 1.0 bar, respectively.

For Micro Sprinkler Type II: 5 mm nozzle, maximum working pressure 1.2 bar, wetting radius up to 6 m, and flow rate ranging from 190.64 to 647.22 l/s, for working pressures of 0.2, 1.2 bar, respectively.

For both types, Christiansen's uniformity coefficient (CU) values were determined by simulations under different irrigation frames: Square, rectangular, and triangular. Considering acceptable only those values which are greater than or equal to 80 %. Among the results found we have:

Micro Sprinkler Type I: The maximum value of CU was 96.3 %, for wind conditions of 0.5 to 1.9 m/s, pressure of 0.8 bar, triangular frame of 6x5 and height from the ground of 1.0 m.

Micro Sprinkler Type II: The maximum value of CU was 95.2 %, for wind conditions of 2.2 to 2.6 m/s, pressure of 0.8 bar, triangular frame of 6x6 and height from the ground of 1.0 m.

As for the radial damping curve, it can be observed that, in all the conditions evaluated, these maintain a triangular behaviour, this is an indicator of a good water distribution behaviour, since it achieves a greater Christiansen uniformity coefficient for all the frames and pressures

Keywords: Design and construction of handmade micro sprinklers, Christiansen uniformity coefficient , Radial wetting profile, Flow curve by pressure, radius curve of pressure wetting, horticulture, irrigation frame.

I. INTRODUCCION.

El agua es un recurso cada vez más escaso debido a los cambios climáticos y a la mayor demanda poblacional, afectando indiscutiblemente a la agricultura.

Ante esta creciente demanda del agua, aumenta la necesidad de hacer más eficiente la aplicación y aprovechamiento por el cultivo, a la vez de disminuir significativamente las pérdidas por percolación, así como también evitar la erosión del suelo.

El riego por microaspersión es una variante del riego por aspersión (lanza a presión cortinas de gotas de agua que salen de un emisor) pero con menos alcance, y gotas más pequeñas. Por eso los micro aspersores son ideales para el riego de plantas pequeñas como hortalizas. (*Muñoz, 2016*).

Sin embargo, los inconvenientes que presentan los agricultores de nuestra zona, es que los micro aspersores de fábrica, los cuales cuentan con características técnicas de funcionamiento tienen un alto costo. Otro inconveniente es que, si adquieren micro aspersores de bajo costo, estos no cuentan con características técnicas de funcionamiento, a parte de la fragilidad y maniobrabilidad de sus componentes que hace difícil la utilización para pequeños productores hortícolas.

Atendiendo esta serie de dificultades, nos propusimos a diseñar y construir dos tipos de micro aspersores artesanales, para posteriormente caracterizarlos mediante la experimentación en campo, al aire libre, para así tener en cuenta las variables que intervienen en la aplicación del riego.

Con el presente trabajo de investigación se logró caracterizar y dar especificaciones técnicas de funcionamiento a los micro aspersores diseñados, de esta forma se dará al

agricultor una alternativa de construir su propio micro aspersor que se adecue a las características de sus huertos hortícolas.

La metodología empleada para caracterizar los dos tipos de micro aspersores artesanales, es válida para efectuarlos a cualquier otro aspersor, es más, esta misma metodología se emplea en la evaluación de riego por aspersión ya instalados.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

Diseñar y caracterizar micro aspersores artesanales que puedan ser utilizados en el riego de pequeños huertos hortícolas

1.1.2. Objetivos específicos.

- 1) Diseñar dos Prototipos de Micro Aspersores Artesanales: Tipo I y Tipo II.
- 2) Determinar las curvas características de Presión vs Caudal en los dos Prototipos de Micro Aspersores Artesanales.
- 3) Determinar las curvas características de Presión vs Radio de Humedecimiento en los dos Prototipos de Micro Aspersores Artesanales.
- 4) Determinar el modelo de curva radial en los dos prototipos de Micro Aspersores Artesanales.
- 5) Determinar los Coeficientes de Uniformidad para diferentes marcos de riego en los dos Prototipos de Micro Aspersores Artesanales.

II. REVISION BIBLIOGRÁFICA.

2.1. Antecedentes

Chávez H. (2011); “El aspersor artesanal construido con material PVC, ha mostrado un comportamiento aceptable para el riego, las falencias en su diseño y construcción tiene una influencia directa a la uniformidad de riego”. [...] El diseño planteado por este autor fue la de un aspersor giratorio de PVC, con dos brazos en las cuales se realiza orificios, por donde el agua saldrá a presión; En la metodología muestra el procedimiento para realizar la construcción del aspersor artesanal, y su posterior evaluación, para así conocer la cantidad de agua que aplica el aspersor por unidad de tiempo y su uniformidad.

Municipalidad distrital de San Marcos (2010); La municipalidad distrital de San Marcos, realizó un díptico informativo acerca de la construcción de un aspersor artesanal, mediante el proyecto: “Fortalecimiento de la educación ambiental en los centros poblados de Challhuayaco, San marcos, Pichiu san pedro, **Pichiu** Quinhuaragra, distrito de San Marcos – Huari – Ancash”.

El proyecto consistió en construir un aspersor giratorio con dos brazos, los materiales para su construcción fueron básicamente: Tuberías PVC de 1/2” y 3/4”, tee de 1/2, reducción de 3/4” a 1/2”, botellas descartables, clavo de 2”, hoja de cierra, fosforo y pegamento.

Serie Agroecología (2009); Por otro lado, en la zona de Aija (Ancash), un productor agroecológico, Moisés Fabio Reyes León adaptó el sistema comercial de riego por micro aspersión a un sistema artesanal que puede adecuarse a la realidad de muchos productores. Este aspersor adaptado consiste en un chorro de agua, que mediante la presión impacta a un

cabezal de tornillo o clavo, para su posterior distribución, el procedimiento para construir este micro aspersor se menciona a continuación:

- Cortar un pedazo de 10 cm de un tubo de PVC de agua ½"
- Cortar un pedazo de lapicero de 2 cm.
- Calentar y suavizar el tubo encima de una llama.
- Dar forma de campana (conexión) a una extremidad del tubo con la ayuda de un tubo de mismo diámetro.
- Volver a calentar el otro extremo del tubo y colocar el pedazo de lapicero al centro del tubo presionando de ambas partes con 2 alicates para dar forma a la pieza.
- Alinear la pieza lijando los 2 extremos.
- Untar la extremidad del tubo con pegamento.
- Introducir la pieza de lapicero cortado para que quede bien pegado en su sitio formado.
- Agregar unos puntos de pegamento a los costados para que quede bien impermeable al agua.
- Cortar el alambre a 40 cm y enrollarlo en la parte de la cabeza del clavo o tronillo.
- Enrollar la otra extremidad del alambre en el pedazo de tubo que está formando para el micro-aspersor.
- Ajustar y dar forma adecuada al alambre para que la cabeza del clavo se encuentre a 2 mm encima del tubo afinado. Cortar con el alicate el sobrante del clavo.

2.2. Justificación

Los antecedentes mencionados, solo muestra el proceso constructivo de los aspersores y micro aspersores artesanales, sin embargo, no se les realizan ensayos en lo que concierne a la caracterización técnica de funcionamiento; motivo por el cual, en un

principio de la presente investigación se pretendía dar característica técnica de funcionamiento **al micro aspersor** mencionado en la “serie Agroecología (2009). Riego por micro-aspersores artesanales”. Para lo cual se construyó este micro aspersor (figura 1) y se sometió a pruebas, para ver su comportamiento.



Figura 1. Micro aspersor artesanal de impacto a un cabezal de tornillo
Nota: construido a partir de la serie Agroecología (2009). Riego por micro-aspersores artesanales”. / Elaboración propia.

2.2.1. Comportamiento del micro aspersor artesanal:

- El impacto del chorro de agua al cabezal ocasiona que el gua forme alrededor del cabezal una especie de tela (lámina) de agua antes de romperse, tal como se muestra en la figura 2.
- Radio de máximo alcance sin que las gotas lleguen a pulverizarse, para un diámetro de boquilla de 5 mm, presión de 1.2 bar y altura del micro aspersor desde el suelo de 1.0 m, es de 1.80 a 2.10 m.
- La tela de agua (lamina) que forma el aspersor hace que sea susceptible a que el viento distorsione excesivamente el área de distribución.

- El soporte del cabezal hace que la tela de agua se abra justo en el soporte, haciendo que la distribución de agua en dirección de esta sea escasa como se muestra en la siguiente figura.



figura 2. Funcionamiento del micro aspersor artesanal de impacto a un cabezal de tornillo
Nota: Se puede apreciar la forma de dispersión del agua

Visto que era evidente los inconvenientes de este micro aspersor, nos propusimos a diseñar micro aspersores que garanticen un buen funcionamiento hidráulico y buen reparto de agua. El diseño definitivo será producto de aproximaciones sucesivas, es decir antes de llegar al diseño definitivo, se realizará varios modelos y/o diseños.

En la metodología de este trabajo de investigación solo se describe el procedimiento de construcción de los últimos dos modelos (modelo de micro aspersor por impacto y modelo de micro aspersor giratorio), sometiendo a pruebas en campo al aire libre, solo al modelo giratorio.

2.3. Marco Teórico

2.3.1. Suelo agrícola

Ansorena (1994); Menciona que el suelo agrícola es entendido como un medio para el desarrollo de la agricultura (suelo fértil que permita el crecimiento y desarrollo de diferentes tipos de cultivo que sean luego cosechados y utilizados por el hombre). Los suelos no deben de ser: arenas de infiltración rápida.

2.3.2. Horticultura

Diccionario de la Real Academia Española de la Lengua (1993); Define a las hortalizas como plantas comestibles que se cultivan en las huertas, y a su vez, a la huerta como el sitio de corta extensión, generalmente cercado de pared, en que se plantan verduras, legumbres y a veces árboles frutales.

2.3.3. El riego

Montero (2000); Menciona que el objetivo del riego consiste en aplicar el agua uniformemente sobre el área deseada y dejarla a disposición del cultivo. Los sistemas de riego por aspersión deben diseñarse para aplicar el agua a un ritmo inferior a la velocidad de infiltración para evitar la escorrentía.

Losada. (2000); Refiere que el riego consiste en aportar agua al suelo para que los vegetales tengan el suministro que necesitan favoreciendo así su crecimiento.

Bautista (1997); Menciona que el agua de riego es la que se destina para fines agrícolas, en la agricultura tendrá que ser cada día más intensa para poder alimentar a más gente y el riego es un factor de eficiencia que nos permitirá

mejorar los rendimientos. Es decir, la producción agropecuaria depende más que antes de la irrigación, debido al cambio climático global.

Valverde (2007); Refiere que se denomina sistema de riego o perímetro de riego, al conjunto de estructuras, que hace posible que una determinada área pueda ser cultivada con la aplicación del agua necesaria a las plantas. El sistema de riego consta de una serie de componentes. Sin embargo, debe notarse que no necesariamente debe constar de todas ellas, el conjunto de componentes dependerá de si se trata de riego superficial, por aspersión, o por goteo.

2.3.4. Aspersores

Los aspersores son toberas provistas de un mecanismo que les permite rotar sobre su eje utilizando para esto la fuerza del agua. Para su funcionamiento necesitan de ciertas presiones que se hacen mayores a medida que sea necesario que aumente su caudal como el alcance depende del diámetro de la boquilla de salida del aspersor. Cuando se requiere de alcances o caudales diferentes se debe reemplazar la boquilla por otra de diferente diámetro.

a. Clasificación de los aspersores

Tarjuelo (1999); Clasifica a los aspersores de las siguientes formas

Según su velocidad de giro:

- De giro rápido (> 6 vueltas/min) (de uso en jardinería, horticultura, viveros, etc.)
- De giro lento ($\frac{1}{2}$ a 2 vueltas /min) (de uso en general en la agricultura).

Para una misma presión los de giro lento consiguen mayor alcance que los de giro rápido, permitiendo espaciar más los aspersores.

Según el mecanismo de giro:

- De inclinación: la inclinación del orificio de salida origina el giro
- De turbina: el chorro incide sobre una turbina que origina el giro
- De choque: el choro incide sobre un brazo con un muelle, que hace girar el aspersor de forma intermitente. Mediante un mecanismo especial pueden moverse solo en un sector circular en lugar de abarcar un círculo completo (aspersor sectorial)

Según presión de trabajo:

De baja presión (menos de 2.5 kg/cm²) (250kPa)

- Suelen ser de una boquilla menor de 4 mm con caudal descargado inferior a 1000 l/h y con giro por choque
- Suelen usarse en jardinería y para riego de hortalizas, resultando también adecuado para riego en frutales con bajo Angulo de salida para arrojar el agua por debajo de las hojas de los frutales.

De media presión (2.5 a 4 kg/cm²)

- suelen llevar una o dos boquillas de diámetros comprendidos de 4 a 7 mm que arrojan caudales entre 1000 a 6000 l/h
- se utilizan en espaciamiento que van desde 12x12 hasta 24x24 m

De alta presión (más de 4 kg/cm²) (más de 400kPa):

- Suelen ser aspersores de tamaño grande (llamado también cañones) con 1,2 o 3 boquillas y caudales entre 6 y 40 m³/h llegando en lo grandes cañones superar los 200 m³/h
- El mecanismo de giro puede ser de choque o turbina con alcance entre 25 y 70 m.

- Suelen dar baja uniformidad de distribución al ser fácil afectado por el viento. Asimismo, el gran tamaño de gota y la gran altura de caída pueden dañar al suelo desnudo o al cultivo.

2.3.5. Riego por aspersión

Segui (1995); Menciona que el riego por aspersión suministra el agua a los cultivos en forma de lluvia artificial.

González (2004); El riego por aspersión es una modalidad de riego mediante la cual el agua llega a las plantas en forma de "lluvia" localizada más o menos intensa y uniforme sobre la parcela con el objetivo que infiltre en el mismo punto donde cae. Para ello es necesaria una red de distribución que permita que el agua de riego llegue con presión suficiente a los elementos encargados de aplicar el agua.

Fernández et al. (2010); El riego por aspersión es un método mediante el cual el agua se aplica sobre la totalidad de la superficie del suelo en forma de lluvia, utilizando para ello una red de riego que permite conducir el agua con la presión adecuada hasta los elementos encargados de aplicarla, los aspersores.

Oficina regional de la FAO para américa latina y el caribe (2008); El agua es distribuida a través de aspersores, los cuales producen gotas de agua de diferentes tamaños, imitando una precipitación natural.

2.3.6. Clasificación de los sistemas por aspersión

Tarjuelo (1999); Menciona que resulta cómodo clasificar los sistemas de aspersión en función de la movilidad de los diferentes elementos del sistema ya que facilita la comprensión de su funcionamiento y puede dar idea de los gastos de inversión necesarios. Estos pueden agruparse en dos grandes familias: los

estacionarios. que permanecen fijos mientras riegan. y los de desplazamiento continuo mientras realizan la aplicación del agua.

Estacionarios	Móviles	
	Semifijos	Tubería móvil (manual o motorizado) Tubería fija
	Fijos	Permanente (cobertura total enterrado) Temporales (cobertura total aérea)
Desplazamiento continuo	Alas desplazables	Pivot (desplazamiento circular) Lateral de avance frontal Ala sobre el carro
	Aspersor gigante	Cañones viajeros Enrolladores

figura 3. Clasificación de los sistemas de riego. Fuente: Tarjuelo (1999)

Dentro de la primera familia están los sistemas móviles. donde todos los elementos de la instalación son móviles, incluso puede serlo la bomba.

Los sistemas semi fijos suelen tener fija la estación de bombeo y la red de tuberías principales. que va enterrada, de la que derivan los hidrantes donde se conectan las tuberías de alimentación y los ramales de riego. que son móviles. Estos ramales de riego pueden llevar directamente acoplados los aspersores. o bien ir dotados de mangueras que desplazan cada uno de los aspersores (Sabre patines) a una determinada distancia del ramal de riego, permitiendo realizar varias posturas sin necesidad de cambiar la tubería. En los de tuberías fijas, únicamente se cambian los tubos porta aspersores y los aspersores.

Los sistemas fijos permanentes mantienen todos sus elementos fijos durante la Vida útil. mientras que los sistemas fijos temporales hay que colocarlos al principio de la campaña de riego y retirarlos al final de la misma.

Para la elección del sistema puede tenerse en cuenta que:

- La tendencia actual es hacia los sistemas de baja presión, que permitan el riego nocturno (por menor evaporación. velocidad de viento y coste energético). Y sean de fácil manejo y automatización. En este sentido uno de los sistemas más interesantes son los pivot o pivotes.
- En parcelas pequeñas o de forma irregular se adaptan mejor los sistemas fijos.
- Los sistemas semi fijos de tubería móvil se están utilizando cada vez menos, a pesar de ser los que requieren menor inversión. por las mayores necesidades de mano de obra. incomodidad de manejo, etc. siendo más utilizados los de tubería fija.
- Los laterales de avance frontal son muy adecuados para parcelas rectangulares de gran longitud. consiguiendo una alta uniformidad de riego con baja presión, pero requieren mayor inversión que los pivot y tienen un manejo más complicado.
- Las alas sobre carro son sistemas muy interesantes por su gran movilidad y adecuación a diferentes condiciones de parcelas y cultivos, estando sustituyendo en buena medida a los aspersores gigantes, por sus problemas de elevada presión de trabajo. tamaño de gota, distorsión por el viento. etc.. que los hacen únicamente adecuados para riegos de socorro, riego de praderas. etc.

2.3.7. Riego por micro aspersión

Matallana y Montero (2001 citado por Chavez N, et al, 2010); Señalan que consiste en aplicar agua en forma de lluvia fina mediante dispositivos (Llamados micro aspersores) que la distribuyen en un radio no superior a los 3 metros.

Villafáfila y Wyss(2009); Mencionan que es un sistema que se caracteriza por aplicar el agua en un punto específico en forma de lluvia fina o de niebla, permitiendo uniformidades de riego muy alta, siendo el medio por el cual se desplaza la gota el aire.

En nuestras huertas se emplean en reemplazo de los aspersores (no para su uso en riego localizado) cuando se busca una gota más fina que produzca un impacto más suave, por lo tanto, es usual en cultivos de lechuga y otras hortalizas de hoja, en particular con siembras de asiento, ya que las plántulas cuando emergen, son muy sensibles al golpe que produce la gota.

Este tipo de emisor (micro aspersor) se adapta muy bien cuando los suelos son muy permeables donde el bulbo húmedo se desarrolla mucho en profundidad. Existe una variante de emisor que es el difusor, que se diferencia del micro aspersor por no llevar un elemento giratorio para distribuir el agua. Existen en el mercado gran variedad de micro aspersores que se diferencian por el radio de alcance, el caudal entregado y el tamaño de gotas que producen. Generalmente van conectados a una estaca o una varilla que los elevan del terreno a una altura variable; también la conexión puede ser efectuada directamente sobre tuberías de PE o PVC, a una altura aproximada a los 2 m (por debajo de la media sombra) y colocadas en forma invertida.

Liotta M,(2000 citado por Chavez N, et al, 2010) ; Dice que el riego por micro aspersión es homólogo a la aspersión en la cual la micro aspersión se diferencia de las variadas formas de aspersión convencional debido a que el caudal y la presión de cada aspersor es bajo.

Valverde 2007; Menciona que el riego por micro aspersión es un sistema que se caracteriza por aplicar agua en el terreno o en un punto específico en forma de lluvia o gotas finas, por medio de emisores llamados micro aspersores a una intensidad menor que velocidad de infiltración del suelo. Para ello se necesita presión que pueda ser prevista por una fuente de abastecimiento o por la diferencia de altura existente entre el sitio de toma y el área por regar. El agua es conducida por medio de tuberías hasta llegar a los micro aspersores, encargados de distribuir el agua en forma de lluvia fina.

El radio de alcance de estos emisores no suele sobrepasar los 3 m. Está considerado como la elevada presión dentro del riego localizado (de 1 a 2kg /cm. al cuadrado). Dentro del riego por micro-aspersión se puede encontrar dos tipos de emisores:

Difusores: Emisores con todos los componentes fijos.

Micro aspersores: Emisores con algún mecanismo de rotación.

CENTA 2003; Los micro aspersores trabajan normalmente a presiones de 10m a 20m de columna de agua (m.c.a.), cuya presión más frecuente es de 10m.c.a. normalmente los caudales varían de 20 a 150 l/h. No obstante, todos estos valores pueden superarse y en la actualidad existe toda la gama entre el típico micro aspersor y el aspersor convencional. Otra característica importante, porque

afecta las obturaciones, es el diámetro de la boquilla, comprendido entre 0.8 y 4 mm.

Fernández et al. (2010); Son emisores que distribuyen el agua al suelo en forma de fina lluvia sin llegar a humedecer toda la superficie del cultivo (por lo que se incluyen dentro de los emisores de riego localizado). Tanto unos como otros mojan una superficie circular con un radio normalmente menor de 3 a 4 metros. Los micro aspersores tienen alguno de sus elementos móviles, generalmente efectuando un movimiento de rotación.

Los micro aspersores más difundidos son los de bailarina (giratorios), que permiten intercambiar las piezas móviles para adaptarlas a las condiciones requeridas por el cultivo en cuestión. Para obtener mayores alcances del chorro de agua, suelen colocarse en estacas de sujeción a varios centímetros sobre el suelo.

Parques alegres 2016; El riego por microaspersión es una variante del riego por aspersión, pero con menor alcance y gotas más pequeñas. Los micro aspersores son ideales para riegos de bajo volumen en cultivos hortícolas, fruticultura, flores, invernaderos, viveros, protección contra heladas y riego de jardines. También permiten la aplicación de productos fitosanitarios en la cobertura vegetal de los cultivos.

Poseen un deflector giratorio, denominado rotor o bailarina, que ayuda a ofrecer un mayor diámetro de cobertura, una menor tasa de precipitación que los difusores, un mayor tamaño de gota, y una mejor distribución del agua.

2.3.8. Micro aspersor artesanal

El micro aspersor artesanal sirve para generar una lluvia artificial, son fabricados de manera manual y con materiales de bajo costo y/o reciclando (tuberías, alambres, clavos, tapas de lapiceros, botella descartable, entre otras cosas) estos micro aspersores son fáciles de hacer, y se adecua para riego de diferentes cultivos hortícolas.

Lesur (2006 citado por Calderón A. y Lopez J. 2009); Mencionan que el objetivo fundamental del riego por micro aspersión artesanal consiste en proporcionar al suelo en forma artificial el déficit de evaporación y para el crecimiento de las plantas.

2.3.9. Características hidráulicas de los micro aspersores

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 (m³/h)

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: Atmosferas (atm), Kilogramos/centímetro cuadrado (kg/cm²), Metros de columna de agua (m.c.a.).

- **Equivalencias de presión.**

$$1 \text{ m.c.a.} = 9806.38 \text{ Pa} = 1000 \text{ kg/m}^2 = 1.422 \text{ PSI}$$

$$1 \text{ kg/cm}^2 = 100 \text{ kPa} = 10 \text{ m.c.a.}$$

$$1 \text{ bar} = 10.2 \text{ m.c.a.} = 0.1 \text{ kg/cm}^2$$

$$1 \text{ atm.} = 10.33 \text{ m.c.a.}$$

c. *Curva característica del caudal emitido de los micro 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:

$$Q = KP^X \quad (1)$$

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 micro aspersor

Para el cálculo de caudal emitido en (litros/ hora), después de haber realizado la evaluación para cierta presión, se calcula con la siguiente fórmula.

$$Q = \frac{V_r}{T_r} \times 3600 \quad (2)$$

Donde:

Q : Caudal del micro aspersor (litros/hora)

V_r : Volumen de llenado del recipiente (litros)

T_r : Tiempo en llenar el recipiente (segundos)

d. Diámetro de humedecimiento.

Fernández et al. (2010); Define como la distancia a la cual el aspersor es capaz de desplazar el agua cuando sale a través de su boquilla. Es muy variable dependiendo del tipo de aspersor y de condiciones técnicas de trabajo.

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

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

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

e. Diámetro efectivo de humedecimiento

Strong (1961) define como diámetro efectivo el 95 % del diámetro mojado para aspersores con dos boquillas, y el 90 % para aspersores de una sola boquilla.

2.3.10. Característica de reparto del agua

Tarjuelo (1995), Menciona que el proceso de aplicación de agua de un aspersor consiste en un chorro de agua a gran velocidad que se dispersa en el aire en un conjunto de gotas, distribuyéndose sobre la superficie del terreno, con la pretensión de conseguir un reparto uniforme entre varios aspersores, entonces estos dependen de un conjunto de factores que pueden agruparse de la siguiente manera:

- El modelo de reparto del aspersor: viene condicionado por el diseño del aspersor, número y tipo de boquillas y la presión de trabajo.
- El marco de riego; tanto en lo que se refiere a la forma (en rectangular o triangulo) como en el espaciamiento entre aspersores.
- El viento, tanto en intensidad como en dirección. Este es el principal distorsionador de la uniformidad de reparto y juega un papel importante en las pérdidas por evaporación y arrastre.

a. Coeficiente de uniformidad

Fernández et al. (2010) “Un riego es uniforme cuando gran parte de los puntos de la parcela reciben cantidades de riego similares”.

Tayupanda (2009), Menciona que una elevada uniformidad permite hacer un uso más eficiente del agua disponible, maximizar la producción y limitar las pérdidas de agua por percolación profunda. Las evaluaciones de riego en campo sirven para determinar la distribución del agua de riego en la parcela.

Fernández et al. (2010); El proceso de distribución del agua aplicada por cada micro 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.

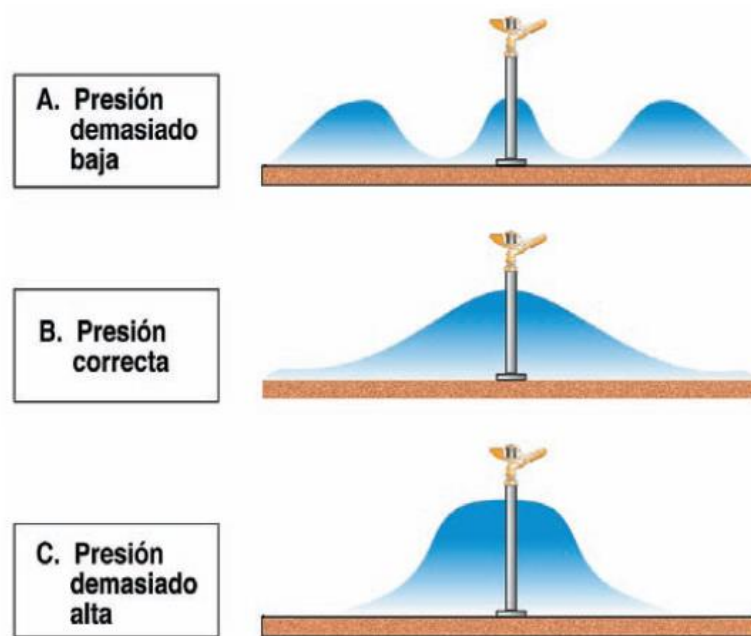


figura 4. Efecto de la presión del agua en el aspersor en la distribución de la lluvia generada.
Fuente: Fernández et al. (2010)

b. Coeficiente de uniformidad de Christiansen.

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:

$$CU = 100 * \left[1 - \frac{\sum Abs(X - \bar{X})}{n * \bar{X}} \right] \quad (4)$$

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.

c. *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.

Tarjuelo (1999); Durante sus experimentos determino tres modelos básicos de reparto:

- **Modelo elíptico o rectangular**: se obtiene normalmente trabajando con una sola boquilla en el aspersor.
- **Modelo tipo “rosquilla”**: deriva generalmente del anterior, al disminuir la presión de trabajo.

- **Modelo triangular:** se obtiene principalmente cuando el aspersor trabaja con dos boquillas.

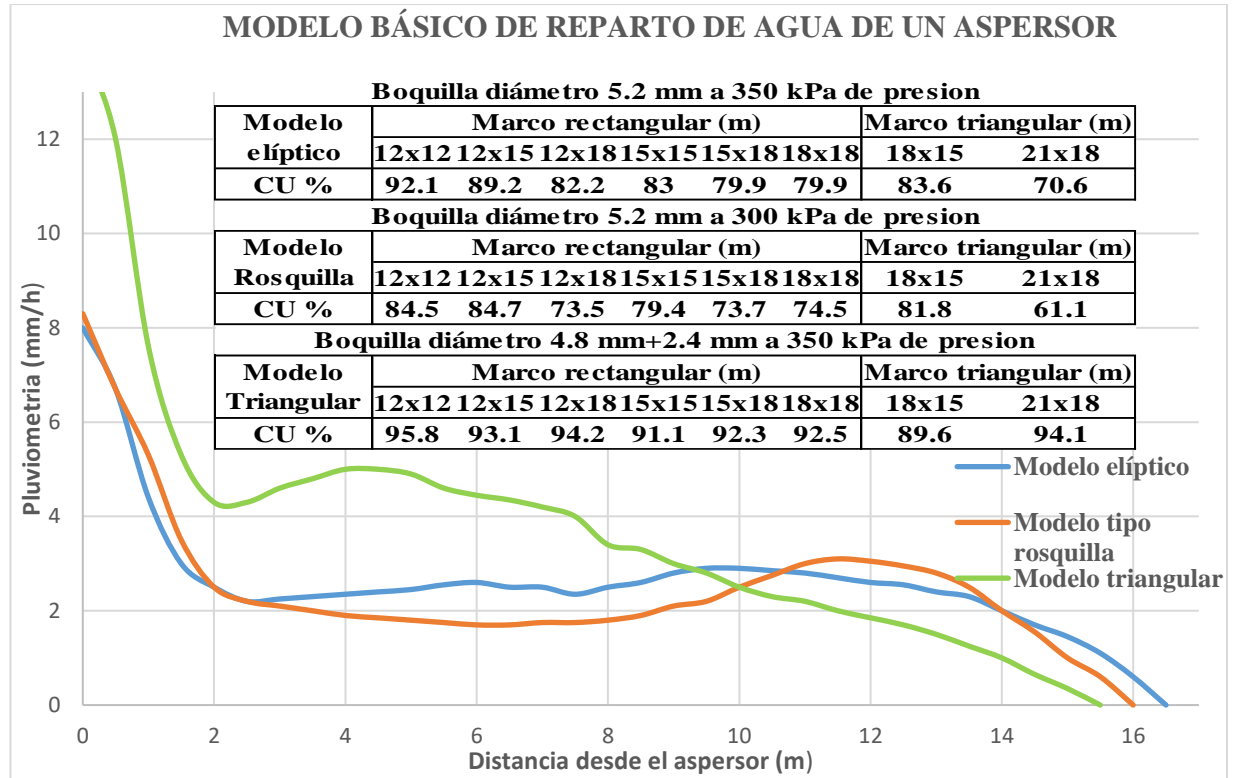


figura 5. Principales modelos de reparto de agua de un aspersor. Fuente: Tarjuelo (1999) / Procesado en gabinete

El mejor modelo es el triangular, ya que consigue mayores CU para todos los marcos y presiones, y el peor es el tipo “rosquilla”

2.3.11. Determinación de reparto de agua de los aspersores.

Tarjuelo (1999); Los procedimientos para determinar el reparto de agua de los aspersores pueden agruparse en tres tipos:

- Colocar una red de pluviómetros en el campo a una instalación existente “evaluación del sistema”.

- Colocar una red de pluviómetros alrededor de un solo aspersor al aire libre y establecer el solapamiento correspondiente para cualquier marco de riego.
- Reducir la red de pluviómetros a una sola fila según un radio del círculo mojado y determinar un “modelo radial”, en ausencia del viento y con alta humedad relativa. Girando el modelo radial alrededor del aspersor puede deducirse la pluviometría recogida en la red de pluviómetros del caso anterior.
- El primer procedimiento es muy útil para conocer el funcionamiento de una instalación existente.
- El segundo tiene la ventaja de conocer el modelo completo de distribución pluviométrica del aspersor y poder realizar comparaciones entre aspersores.
- El tercero tiene el mismo objetivo que el segundo, en cual se aplica reduciendo a dos filas (longitudinal y transversal a la pendiente).

Delgadillo O et al. (2011); Mencionan que evaluar el funcionamiento de un solo aspersor tiene entre sus ventajas la posibilidad de simular traslapes con varias distancias entre aspersores y laterales (marco de riego), tratando de buscar la mejor opción técnica de uniformidad. Asimismo, nos permite evaluar el funcionamiento del mismo, tratando de detectar si las presiones de funcionamiento son las adecuadas o no. Pueden considerarse dos opciones de armado de los pluviómetros:

- **Cobertura total de pluviómetros en el área de riego de un solo aspersor.**

Consiste en disponer una red total de pluviómetros que cubra totalmente todo el perímetro de mojado del aspersor a ser evaluado, para ello hay que tener algunas consideraciones (Figura 6).

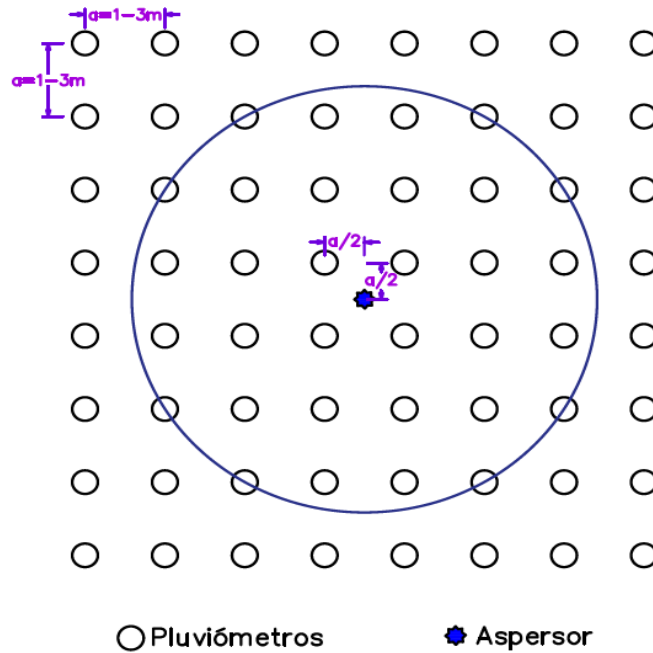


figura 6. Disposición de pluviómetros total

- **Disposición en cruz de pluviómetros alrededor de un solo aspersor**

Consiste en armar solamente una cruz con los pluviómetros (Figura 7). Esto implica ahorro en tiempo, personal y costo. Esta disposición se utiliza también para determinar el modo de reparto de agua del aspersor (curva radial)

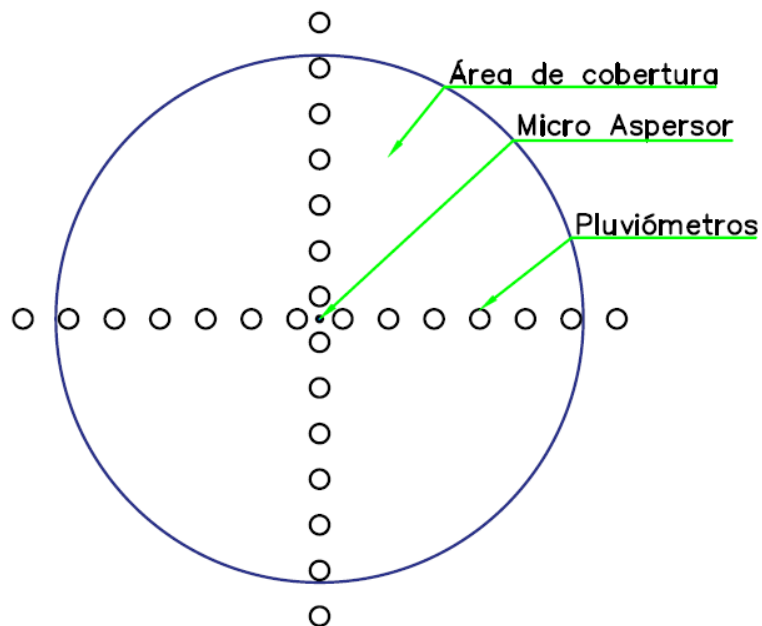


figura 7. Disposición de pluviómetros en cruz

2.3.12. Marco o disposición conjunta de los aspersores

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.

Heerman 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. Fuente: Heerman 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.

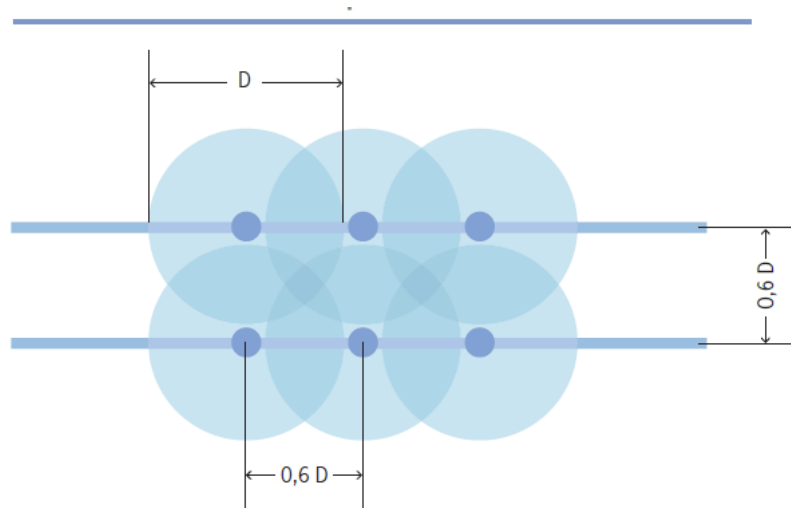


figura 8. Separación recomendada entre aspersores y ramales de aspersión en marco cuadrado.
Fuente: Fernández et al. (2010)

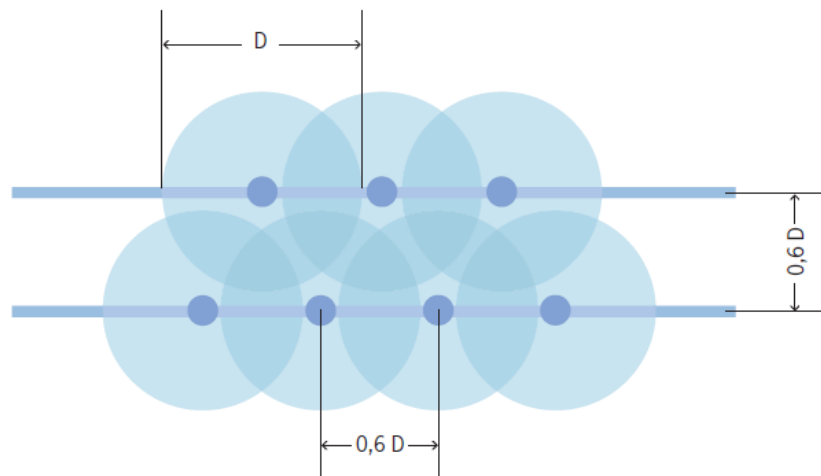


figura 9. Separación recomendada entre aspersores y ramales de aspersión en marco triangular.
Fuente: Fernández et al. (2010)

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 ramal.

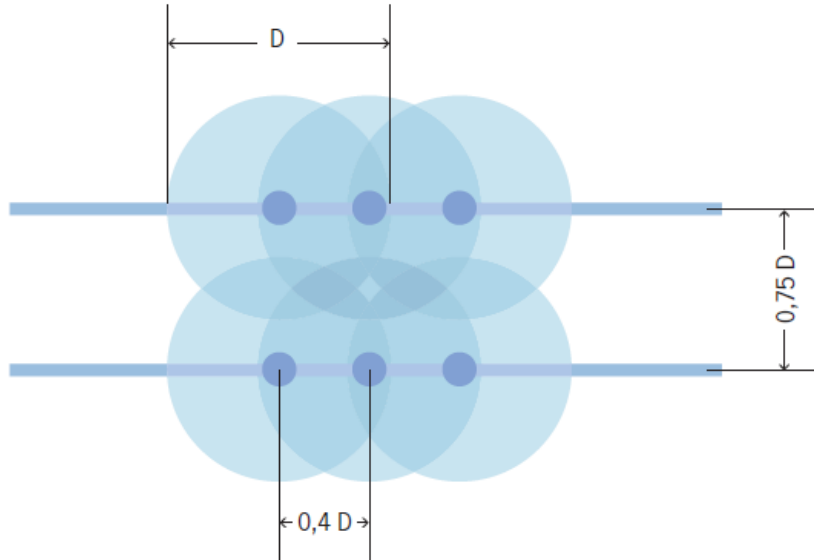


figura 10. Separación recomendada entre aspersores y ramales de aspersión en marco rectangular.
Fuente: Fernández et al. (2010)

2.3.13. Pluviométrica media de los micro aspersores.

Es la cantidad de lluvia caída en términos de lámina en la unidad de tiempo (mm/h). suponiendo que el agua se reparte de manera completamente uniforme. Para calcularla es preciso saber el caudal que suministran los aspersores y la superficie que riega cada uno de ellos:

$$P \text{ (mm/Hr)} = \frac{Q_{ma}}{S_a * S_r} \quad (5)$$

Donde:

Q_{ma} = Caudal operativo del aspersor (litros /Hora)

S_a = Distancia entre aspersores (m)

S_r = Distancia entre ramales(m)

$S_a * S_r$ = superficie que moja cada aspersor

2.3.14. Pluviométrica en los colectores de agua

Cuando se requiera calcular la cantidad de lluvia caída en cada colector (vaso pluviométrico) en una evaluación de riego por aspersión, en términos de lámina por unidad de tiempo (mm/h), se aplicará las siguientes formulas.



figura 11. Colector o vaso pluviométricos

$$L_p \text{ (mm)} = \frac{V_p}{A_p} * 10 \quad (6)$$

$$A_p = 0.785xD^4 \quad (7)$$

Donde:

V_p : Volumen recogido en cada pluviómetro(cm3)

A_p : Área de la embocadura de los vasos (cm2)

D : Diámetro de embocadura del colector u pluviómetro

$$P \text{ (mm/Hr)} = \frac{L_p}{T_p} \quad (8)$$

Donde:

L_p : Lámina recogida en los pluviómetros

T_p : Tiempo de prueba (Horas)

2.3.15. Ventajas del riego por microaspersión

a. Ventajas:

- Ahorro de agua.
- Es muy uniforme.
- Se necesitan menos fertilizantes.
- Es más cómodo y requiere menos esfuerzo físico.
- Útil en cultivos que requieren condiciones específicas: aumenta la humedad ambiental y ayuda a bajar la temperatura, de forma que se pueden crear microclimas dentro del huerto si hubiera plantas que lo requieran.
- Apto para terrenos irregulares con desniveles y pendientes.

2.3.16. 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, sólo, 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.

Tarjuelo (1999); Menciona que el proceso de aplicación del agua de un aspersor consiste en un chorro de agua a gran velocidad que se difunde en el aire

en un conjunto de gotas, distribuyéndose sobre la superficie del terreno. Como efectos derivados de estas aplicaciones están: El posible deterioro de las superficies del terreno por impacto de la gota, si es que son muy grandes, y su repercusión en la infiltración, formación de costras, erosión, etc.)

2.3.17. Velocidad de infiltración.

Fernández et al. (2010); Menciona que Cuando se diseña un sistema de riego por aspersión es muy importante tener en cuenta que la lluvia media del sistema debe ser menor que la velocidad de infiltración del suelo, pues de lo contrario éste no podrá infiltrar el agua que aplican los aspersores y se producirán pérdidas por escorrentía. A su vez, si el terreno tiene pendiente, el agua de escorrentía puede provocar la erosión y pérdida tanto de suelo como de los nutrientes que se encuentran en las capas más superficiales.

a. Velocidad de infiltración de agua en el suelo

Castañón, G. (2000), Es la rapidez con la que el agua penetra en el perfil de suelo. La velocidad de infiltración es la relación entre la lámina de agua que se infiltra y el tiempo que tarda en hacerlo, se expresa generalmente en cm/Hr, mm/Hr o cm/min. Los factores principales que determinan la magnitud del movimiento del agua por infiltración son: Textura, Estructura, Cantidad de materia orgánica, Profundidad del suelo, Cantidad de agua en el suelo, Temperatura del suelo, Cantidad de organismos vivos.

Al inicio de todo riego la velocidad de infiltración es mucho mayor que varias horas después, alcanzando así su valor constante es decir su velocidad de infiltración, su determinación tiene un importante valor al estudio de las

pérdidas de agua y en la selección y diseño de los sistemas de riego adecuados para un suelo.

b. Infiltración básica:

Castañón, G. (2000), Menciona que se produce cuando a la velocidad de infiltración instantánea es menor al 10 % de su valor es entonces cuando tiende a decrecer en forma monótona y eventualmente a acercarse asintóticamente a una velocidad constante denominada generalmente capacidad de infiltración final (final no en el sentido de que termina el proceso, si no que el proceso ha alcanzado una velocidad constante que parece no disminuir más en el tiempo). Esta velocidad se conoce también como infiltrabilidad estable o de equilibrio o básica.

En la mayoría de los suelos, la velocidad de infiltración disminuye durante el lapso de tiempo en que se riega. Suele ser relativamente grade al principio y disminuye gradualmente hasta alcanzar un valor constante, se suele denominar velocidad de absorción básica.

2.3.18. Acción del viento en los aspersores

Heerman y Kohl (1980 citado en Tarjuelo, 1999); Señalan que la velocidad y dirección son las principales características del viento que influyen en el riego por aspersión, la velocidad del viento se incrementa con la altura según una función logarítmica, por lo que en el equipo el aspersor se coloca lo más bajo posible según la altura del cultivo a regar. Esta es también la razón por la que el ángulo de descarga de la mayor parte de los aspersores es de 25° a 27° que sería el ángulo ideal en ausencia del viento.

Otra característica a considerar en el riego, es la frecuente reducción de la velocidad del viento por la noche, esto aconsejaría realizar el riego por la noche para aumentar la uniformidad.

2.3.19. Selección del aspersor

Anten, M. y Willet, J (2000); mencionan que la elección del tipo de aspersor a aplicar en un sistema de riego por aspersion está sujeta a varios factores:

- Velocidad básica de infiltración: la intensidad de precipitación del aspersor, expresada en mm/hora, no debe superar la velocidad básica de infiltración del suelo, para evitar escorrentía y encharcamientos.
- Tipo de cultivos: Si la parcela será dedicada a hortalizas con rotaciones muy estrechas, será conveniente un aspersor con un diámetro pequeño (micro aspersores) para poder ajustar el riego a las necesidades de cada parte de la parcela.
- Presiones de trabajo disponibles: para condiciones de la sierra se quiere aspersores que puedan trabajar en un rango largo, desde presiones de 1 atm. hasta 4.5 atm.

Con las referencias bibliográficas citadas, podemos añadir los siguientes:

- Posible deterioro de la superficie del terreno por el impacto de las gotas (si son grandes), por tanto, tener en cuenta
- la uniformidad está en función de la velocidad del viento y este es menos uniforme si se incrementa la altura del aspersor desde el suelo, por lo tanto, colocar los aspersores lo más bajo posible según la altura del cultivo a regar.

III. MATERIALES Y METODOS.

3.1. Características Generales del Proyecto

3.1.1. Ubicación.

- Departamento : Ancash
- Provincia : Yungay
- Distrito : Yungay
- Lugar : Centro de Investigación y Experimentación (CIE–CAÑASBAMBA) de la Universidad Nacional “Santiago Antúnez de Mayolo”.

3.2. Materiales

3.2.1. Materiales y herramientas para diseño y construcción de micro aspersor

artesanal

- Lapiceros reciclados
- Tuberías (½’’ SAP); 25 Cm aproximadamente
- Adaptador de ½’’
- Tapón macho roscado de ½’’
- Tapón hembra roscado de ½’’
- Alambre cobre N° 12; 35 Cm aproximadamente
- Pegamento PVC
- Pali globos
- Chapa
- Clavos 1’’,2’’,3’’,7’’
- vela
- Fósforo

- Cuaderno de apunte
- Alicate
- Tijera
- Lápiz

3.2.2. Materiales para caracterizar los micro aspersores

- Manguera
- Adaptador
- Válvula de control de ½’’
- Recipiente de 20 litros
- Recipiente 500 ml (pluviómetros)
- Cinta métrica 10 m
- Baldes
- Estacas
- Probetas de 100 ml
- Lapiceros
- Libreta de campo
- Alicate
- Wincha
- Cordel
- Pico

3.2.3. Equipos:

- Cámara fotográfica
- Calculadora

- Cronómetro
- Computadora con entorno Windows 10.
- Manómetro

3.2.4. Software

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

3.3. Metodología

Es del tipo aplicada, ya que pone en práctica los conocimientos teóricos adquiridos, con el propósito de dar solución a situaciones o problemas concretas. La presente investigación se desarrolló en tres etapas, diseño y construcción de micro aspersores artesanal, caracterización en campo de los mismos, y trabajo en gabinete con los datos recolectados.

3.3.1. Diseño y construcción de micro aspersores artesanales por aproximaciones sucesivas

Con el propósito de mejorar el micro aspersor **artesanal de impacto a un cabezal de tornillo**, mencionado en los antecedentes; se diseñó y construyó dos modelos de micro aspersores artesanales: Micro aspersor de impacto y micro aspersor giratorio (diseño definitivo), este último consta de dos tipos (tipo I, tipo II), a los cuales se les someterá a pruebas para determinar su característica técnica de funcionamiento.

3.3.1.1. *Diseño y construcción de micro aspersor de impacto.*

1. Se corta un pedazo de tubería PVC SAP $\frac{1}{2}$ "', de aproximadamente 12 cm de longitud, para luego realizar un corte longitudinal con la hoja de sierra.

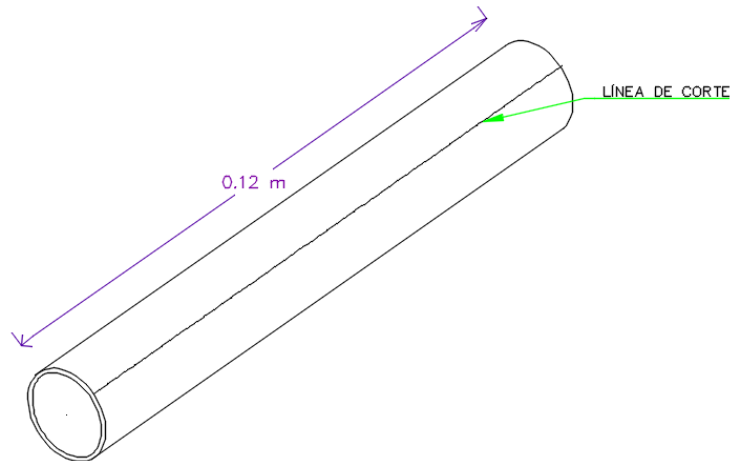


Figura 12. Corte del tubo de $\frac{1}{2}$ "'

2. Calentar y suavizar el tubo encima de una llama, hasta el punto que sea maleable, es cuando procedemos a abrir el tubo, hasta convertirlo en una plancha rectangular.
3. Se marca el punto medio, y haciendo uso la cabeza de un clavo para calamina (extraída), se procede a dibujar una circunferencia, y los brazaletes de 4 mm de ancho (de tal forma que al final quede como una especie de un reloj de pulsera).

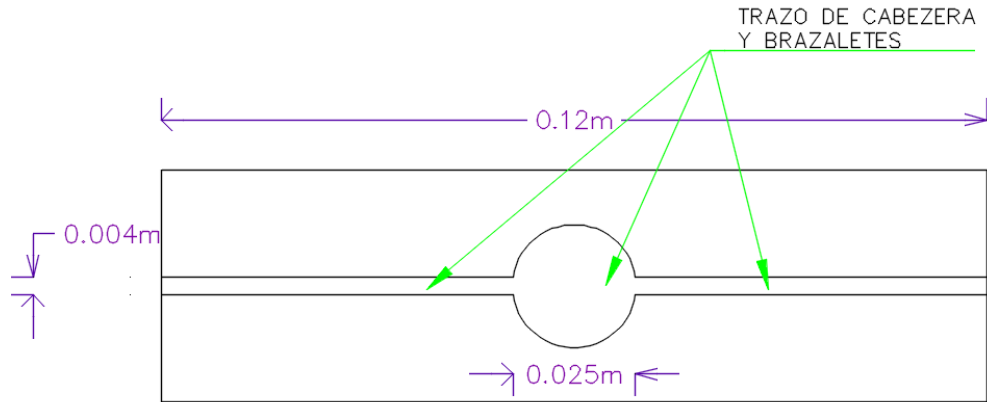


figura 13. Trazo sobre la plancha de PVC

- Haciendo uso de la hoja de sierra se procede a cortar la sección dibujada, dar los últimos toques haciendo uso de lija.

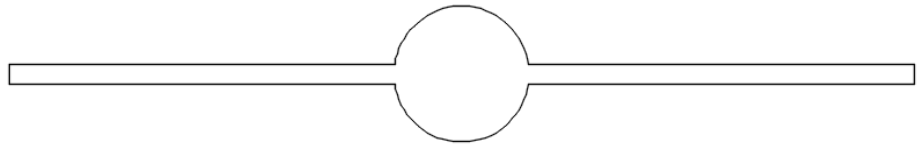


figura 14. Corte del trazo realizado

- Teniendo lo anterior se calienta la sección circular con fuego, para luego moldearlo con la cabeza de un clavo, de tal forma que quede con concavidad hacia arriba.

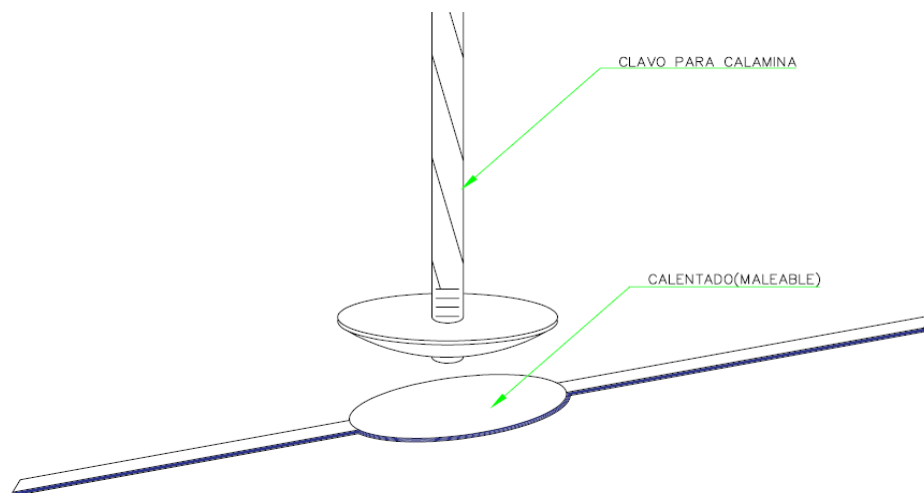


figura 15. Proceso de dar concavidad al cabezal

6. Ya habiendo realizado lo anterior se calienta sutilmente en las intersecciones del cabezal y ambos brazaletes, para luego doblarlos hacia abajo. Finalmente le practicamos cortes menudos con hoja de sierra al borde de la circunferencia.

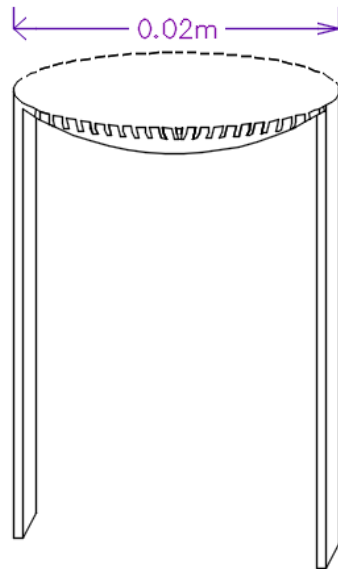


figura 16. Cabezal de riego concluido

7. La boquilla se realiza sobre tapón hembra de $\frac{1}{2}$ " de PVC, roscado y hexagonal

8. Primeramente, se realiza dos pequeñas canaletas verticales sobre el tapón (extremos opuestos), de tal forma que quepan los brazaletes del cabezal de contacto.

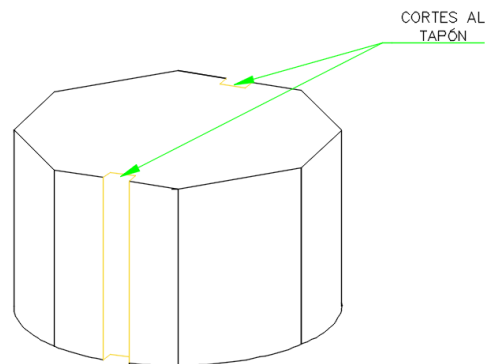


figura 17. Corte de canaletas para empotrar los soportes del cabezal

9. Posterior a este, se realizan unos pequeños cortes en cada vértice del tapón.

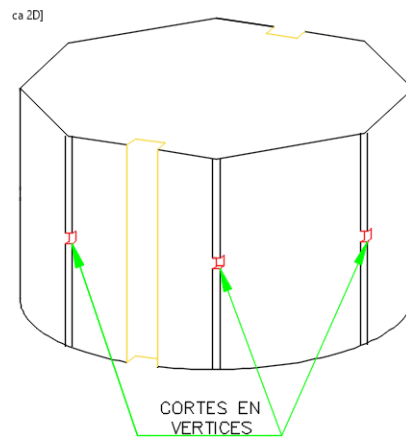


figura 18. Corte en los vértices para enrollar el alambre de sujeción.

10. Se realiza un orificio haciendo uso un clavo incandescente al tapón en su parte superior (donde ira colocado la boquilla), que a su vez será de cascaron de lapicero (diámetro 5 mm).
11. Finalmente se procede a armar los componentes. En primer lugar, se coloca pegamento PVC en la canaleta, de forma inmediata se coloca los brazaletes del cabezal (el cabezal se encuentre de 2 a 3 mm desde la boquilla) y sujetar con el alambre haciendo uso un alicate, finalmente dejarlo secar.

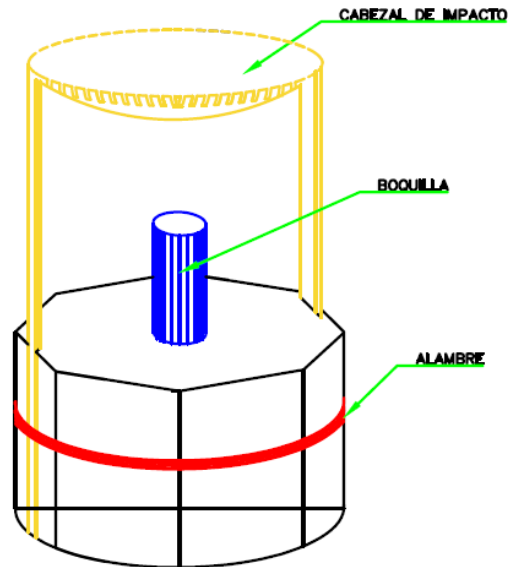


figura 19: Micro aspersor terminado

3.3.1.2. Diseño y construcción de micro aspersores giratorios.

Este micro aspersor es el diseño definitivo, a los que se les someterá las pruebas necesarias para cumplir con los objetivos propuestos en la presente investigación.

Este modelo consta de dos tipos de micro aspersores, (Tipo I, Tipo II) de buena distribución, buen comportamiento hidráulico, fácil de construir y a bajo costo. Los procedimientos de construcción de dichos micro aspersores se mencionada a continuación:

a. Construcción de micro aspersor tipo I.

- Boquilla.

1. Se diseñó sobre tapón hembra de $\frac{1}{2}$ " roscado de PVC, para ello se le realizó un orificio en el tapón, calentando un clavo de 7"; este orificio debe ser del grosor del lapicero.

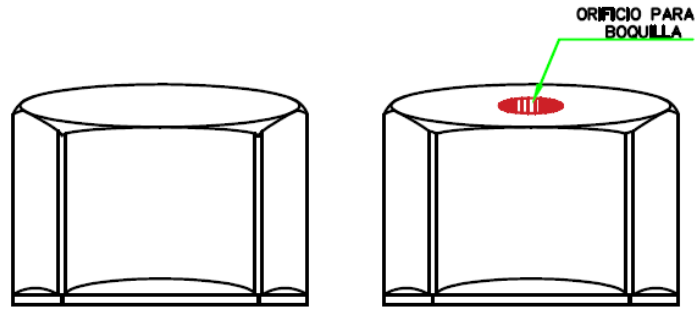


figura 20. Proceso de construcción sobre tapón hembra

2. Cortar un pedazo de lapicero (cascarón) de 2 a 3 cm de tamaño, el diámetro interior en la parte superior de lapicero debe tener 4 mm.
3. En el orificio realizado se incrustará el pedazo de lapicero, pegando con PVC. Más adelante se continuará el diseño sobre el tapón.

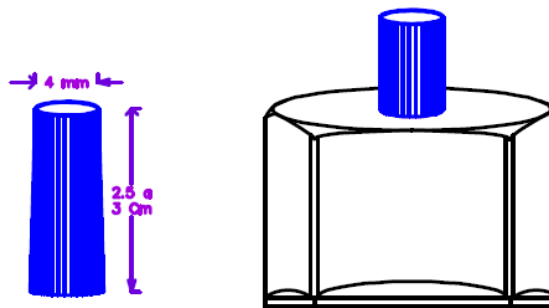


figura 21. Boquilla y colocación al orificio

- *Cabezal (rotor):*

1. El diseño y construcción se realiza sobre tapón macho de 1/2'' de PVC

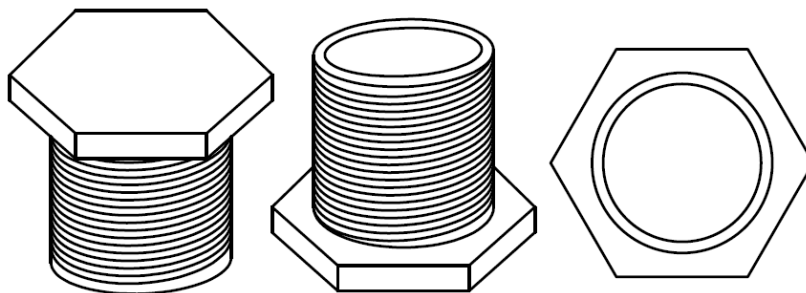


figura 22. Tapón macho

2. Se raspará la cara hexagonal del tapón hasta darle una concavidad hacia arriba, posteriormente pulir con lija.
3. Haciendo uso de una regla y lápiz trazar diámetros de ángulos a ángulo, estos se intersecan en el punto medio.

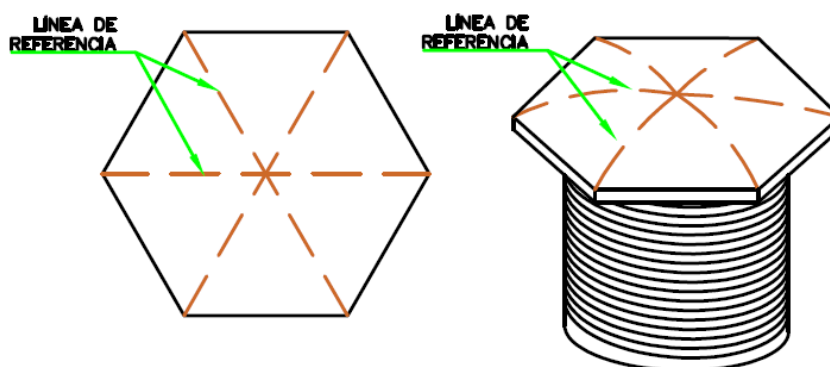


figura 23. Proceso de dar forma cóncava al tapón

4. Teniendo lo anterior, trazar 06 arcos (para realizar zanjas en forma de curvas, por donde el agua circulará y hará que gire el cabezal por efectos de la presión y la fuerza centrífuga), uniendo el centro geométrico con los seis vértices, la flecha de este no debe ser superior a 2 mm.

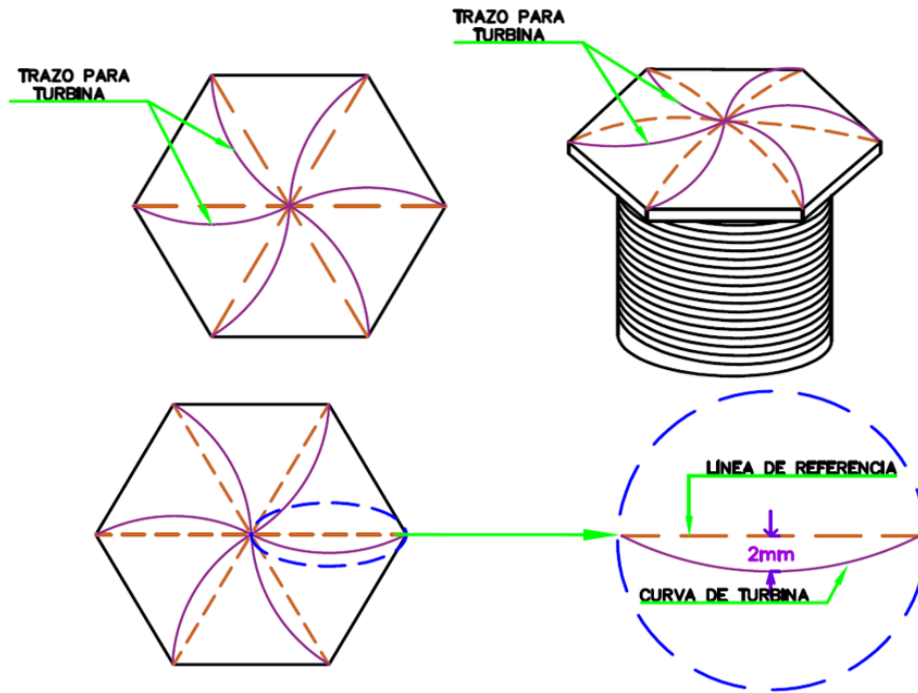


figura 24. Trazo y detalle de curvas de turbina

5. Se realizarán hendiduras (zanjas) a lo largo del trazo, haciendo uso de un clavo de 1", previamente calentado, esta zanja debe de tener un ancho de 2 mm, y una profundidad no mayor a la mitad del espesor.

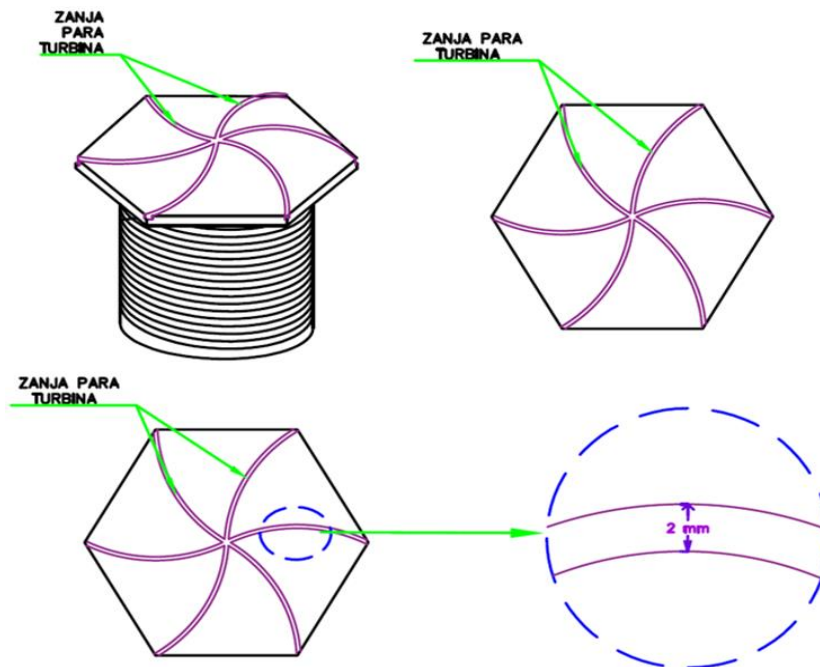


figura 25. Detalle de zanjas de turbina

6. Se raspará los vértices, de tal forma que queden de forma circular.

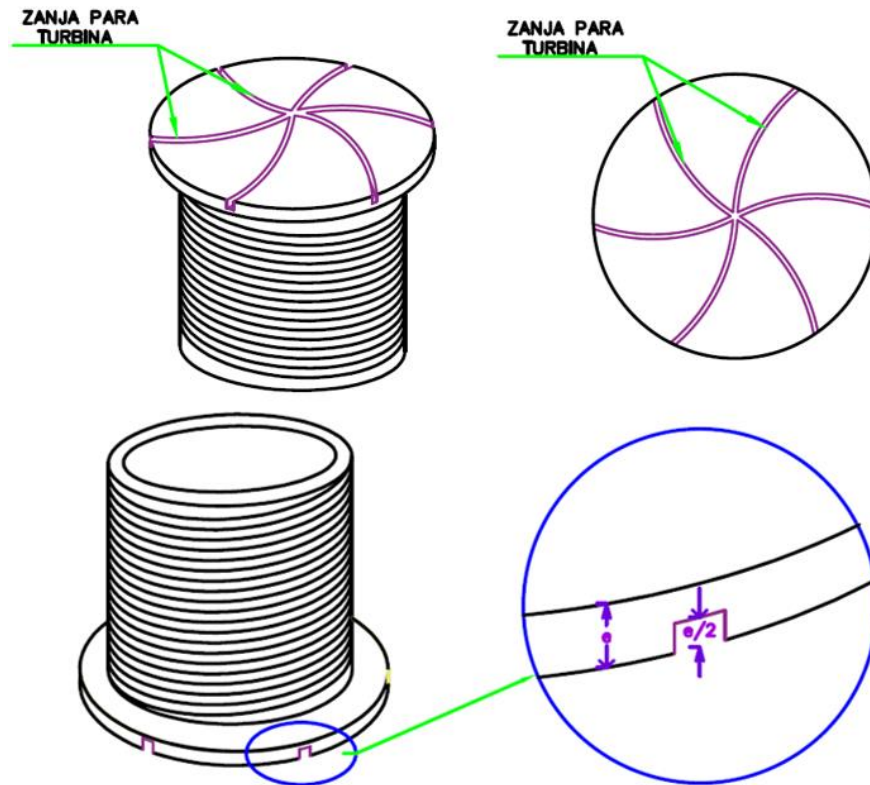


figura 26. Proceso de redondeo y detalles

7. Se cortará la rosca del tapón.

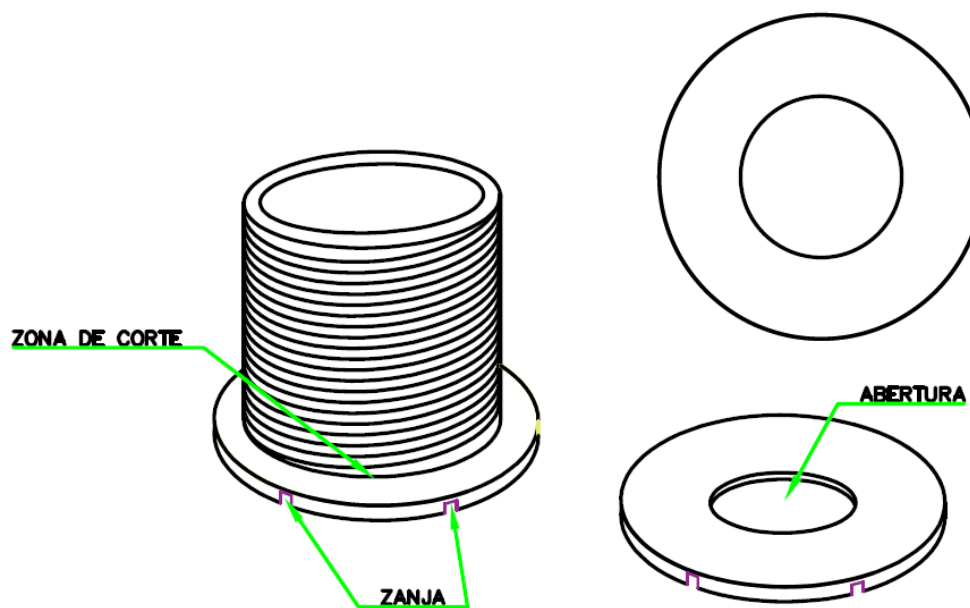


figura 27. Corte de rosca del tapón

8. Dividiremos el pali globo en dos partes, cabezal y palito como se muestra en la figura 18
9. Se tomará el cabezal y se cortará con tijera como se muestra en la figura 18, este corte se debe realizar de tal forma que quepa preciso a la abertura de la figura 17

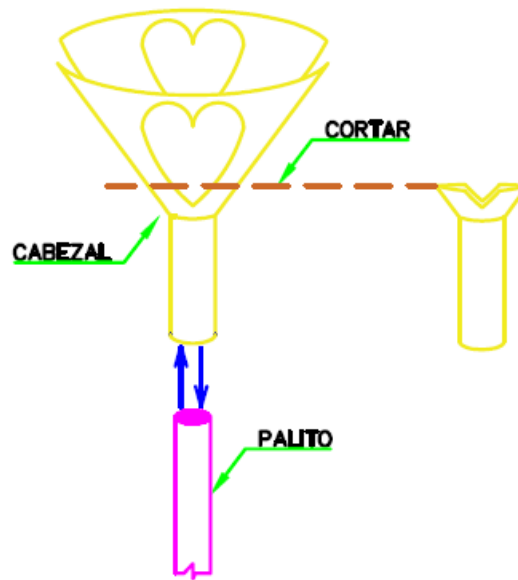


figura 28. Proceso de corte del cabezal del pali globo

10. Se realizará un orificio sobre en el pedazo de cabezal del proceso anterior, para posteriormente antes de pegar con pegamento para PVC, colocar un retazo de chapa y/o calamina en la abertura, esto se pone ya que, siendo el centro de giro, está expuesto a desgastarse.

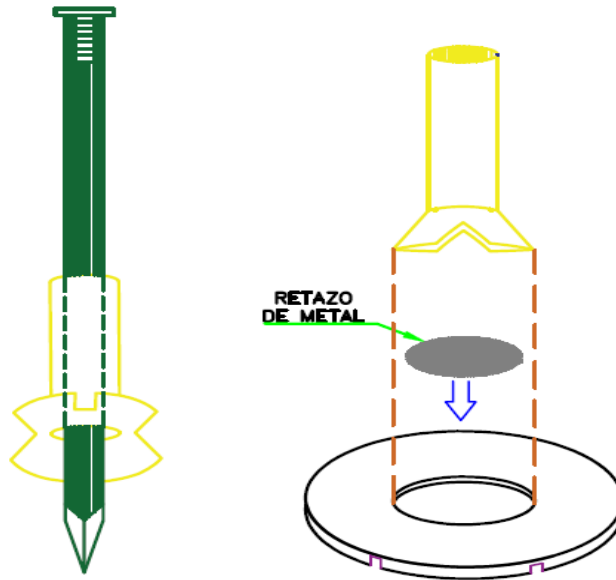


figura 29. Orificio y anclaje de componentes

11. Una vez seca el pegamento, colocar el palito y realizarle un corte al ras como se muestra en la siguiente figura.

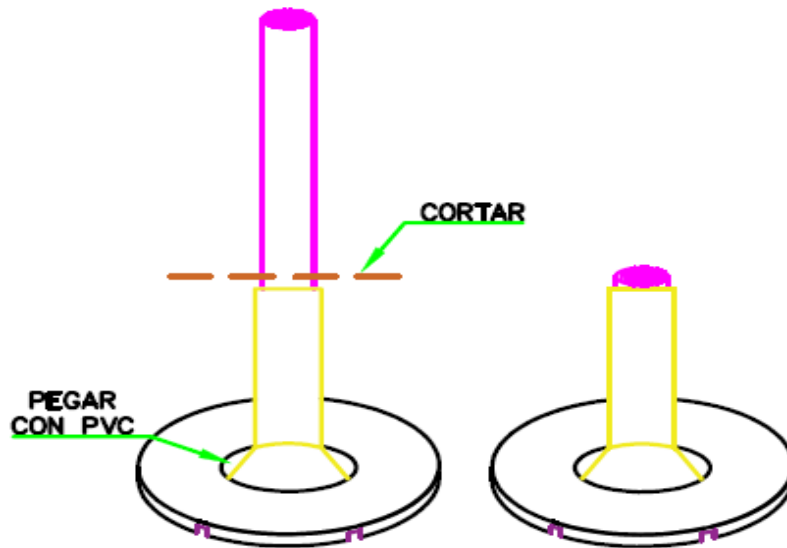


figura 30. Etapa final de la construcción del cabezal de giro

- *Soporte del cabezal de giro:*

1. Se cortará un pedazo de alambre de cobre de 30 a 35 cm
2. Sobre un lavo de 2'' se procederá a enrollar, tal como se muestra en la figura 31.

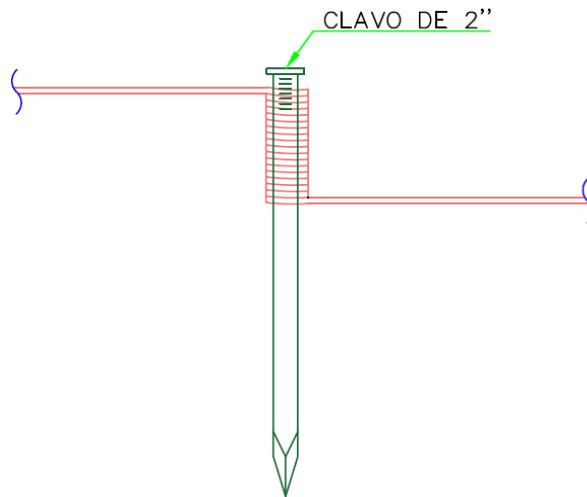


figura 31. Enrollar del alambre en el clavo de 2"

3. Posteriormente se doblará el resto del alambre de forma y medidas como se muestra en la siguiente figura 32.

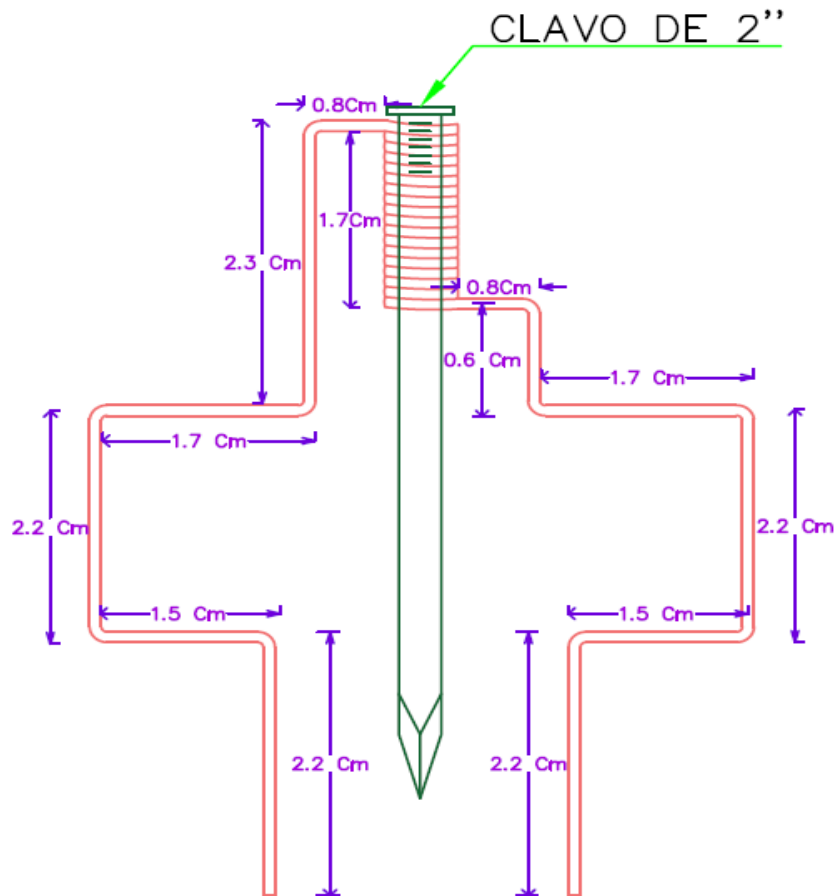


figura 32. Proceso de doblado del alambre, para soporte de cabezal de giro

4. Por último, extraer el clavo de 2 " y cortar con medida de 3.6 a 4 Cm, y raspar el extremo del corte para darle una forma como se muestra en la figura

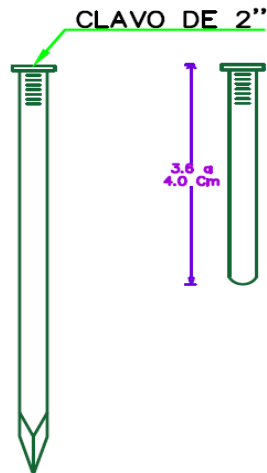


figura 33. Medida de corte del clavo de 2"

5. Ya habiendo colocado la boquilla, se procede a realizar dos pequeñas canaletas verticales sobre los vértices (extremos opuestos), de tal forma que quepan el soporte del cabezal de giro.

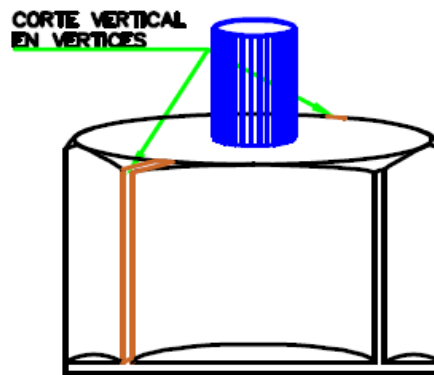


figura 34. Canaletas en vértices opuesto

6. Posteriormente, se realizan unos pequeños cortes con la hoja de sierra (de profundidad igual al diámetro del alambre de sujeción de soportes del cabezal) en el punto medio y en sus 6 vertices del tapón, el corte debe incluir también de manera muy superficial al soporte (para garantizar su estabilidad).

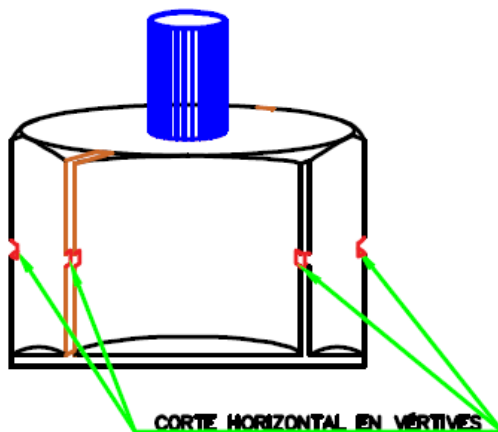


figura 35. Cortes Horizontales en los seis vértices, para sujetar el soporte

7. Finalmente se procede a armar los componentes (el cabezal de giro debe estar de 2 a 4 mm encima de la boquilla), de tal forma que queda como la figura 36

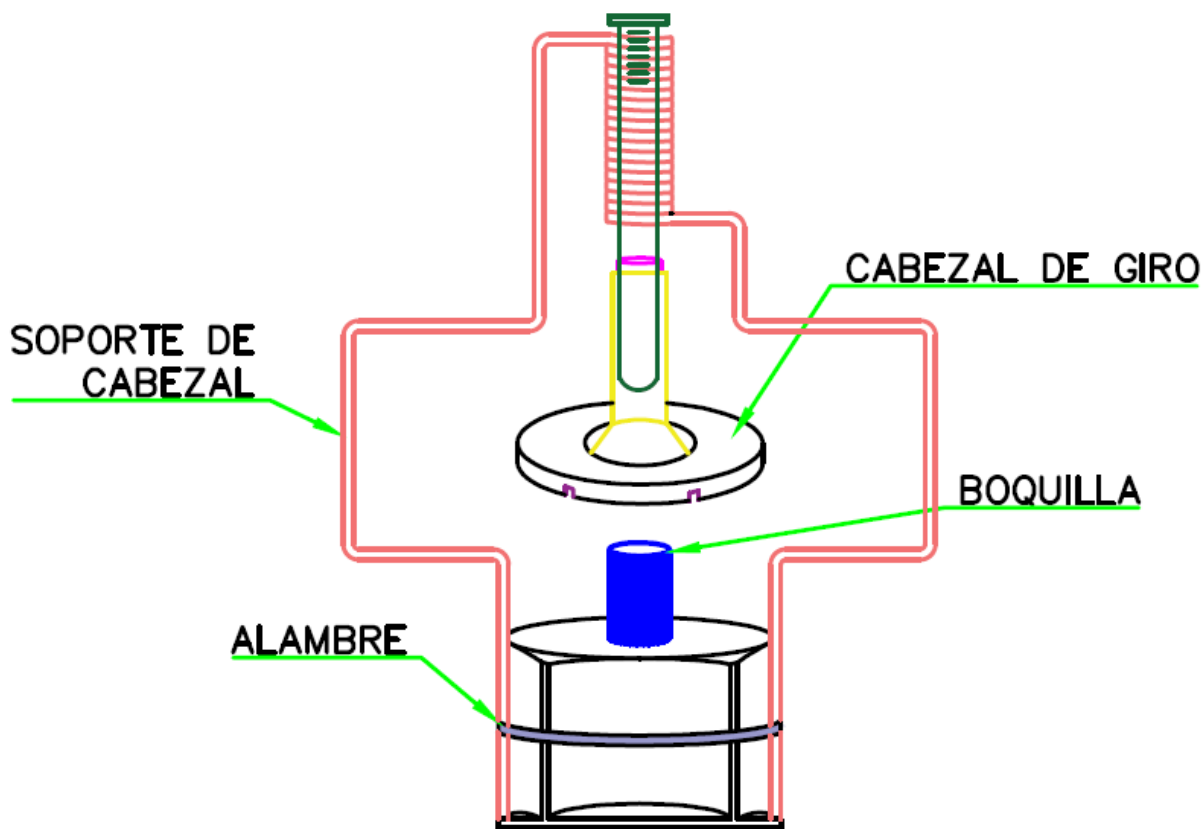


figura 36. Anclaje final del micro aspersor

b. Construcción de Micro Aspersor Tipo II

El procedimiento fue el mismo que el micro aspersor tipo I, a excepción de algunas diferencias que mencionamos a continuación.

1. La boquilla será de 5 mm.

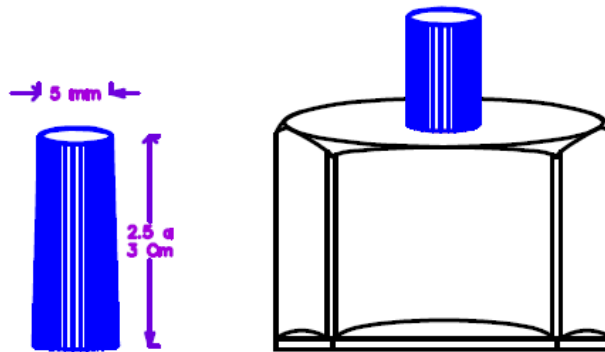


figura 37. Boquilla y colocación al orificio

2. Al realizar los arcos, la parte más cóncava no debe superar los 3 mm desde a línea de referencia.

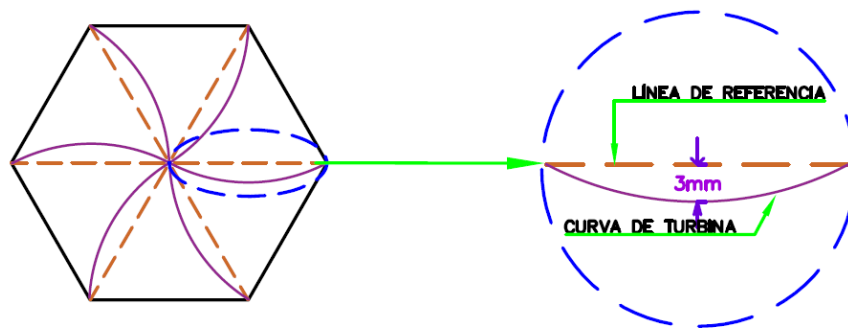


figura 38. Trazo y detalle de Curvas de turbinas

3. Las hendiduras(zanjas) son realizados con clavo de 3'', estas zanjas tendrán un ancho de 3 mm, y una profundidad no mayor a la mitad del espesor.

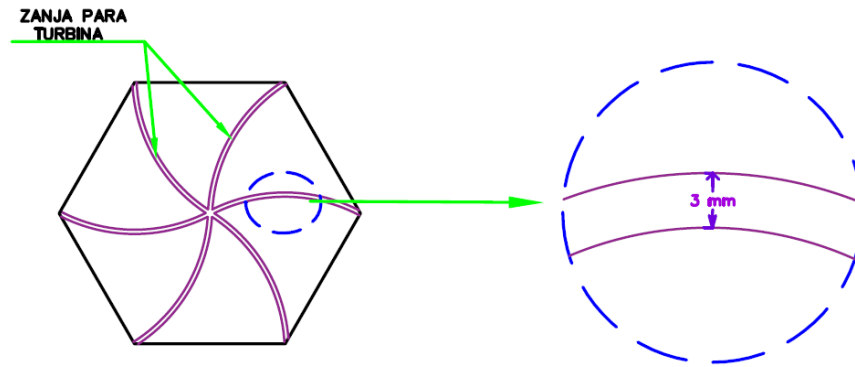


figura 39. Detalle de zanjas de turbina

3.3.1.3. Cuerpo y Soporte del Micro Aspersor

1. Estará enroscado al adaptador, este a la vez estará unido por una tubería de $\frac{1}{2}$ " de PVC, de aproximadamente 25 cm

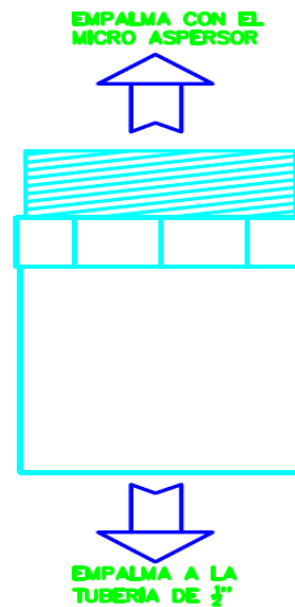


figura 40. Empalme en adaptador de $\frac{1}{2}$ " de PVC

2. La manguera de $\frac{1}{2}$ " empalma a la tubería de $\frac{1}{2}$ ", en caso de usar mangueras de otro diámetro, acondicionar este de forma que se pueda instalar de manera correcta.
3. Finalmente, el micro aspersor terminado lucirá como se muestra a continuación.

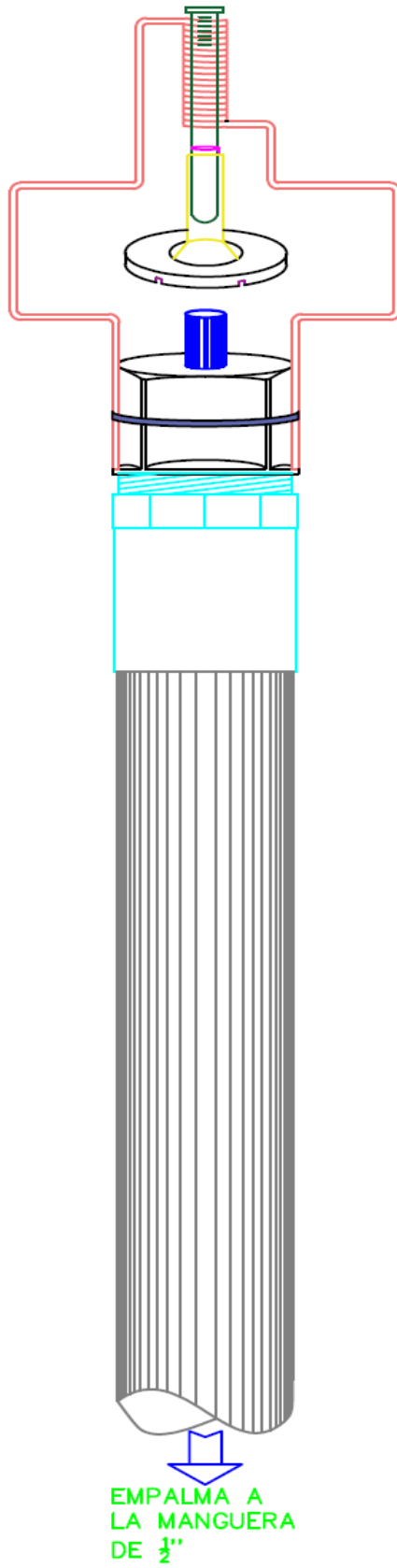


figura 41. Micro aspersor terminado con todos sus componentes

3.3.2. Caracterización de micro aspersores giratorios

Para conocer las características técnicas de los micro aspersores diseñados se realizó una serie de pruebas, para lo cual se instaló un solo micro aspersor al aire libre. La instalación consistió en un reservorio con una motobomba, filtros, válvulas de control, manguera de ½” que suministran el caudal al micro aspersor. El micro aspersor estuvo situado sobre una estaca de 0.5 m y 1m según corresponda, en una parcela preparada, con una válvula de control y un manómetro de glicerina conectado a 0.2 m por debajo del micro aspersor.

En la figura 42 se muestra la forma como fue instalado los accesorios, con los dispositivos, e instrumento de medición de presión.

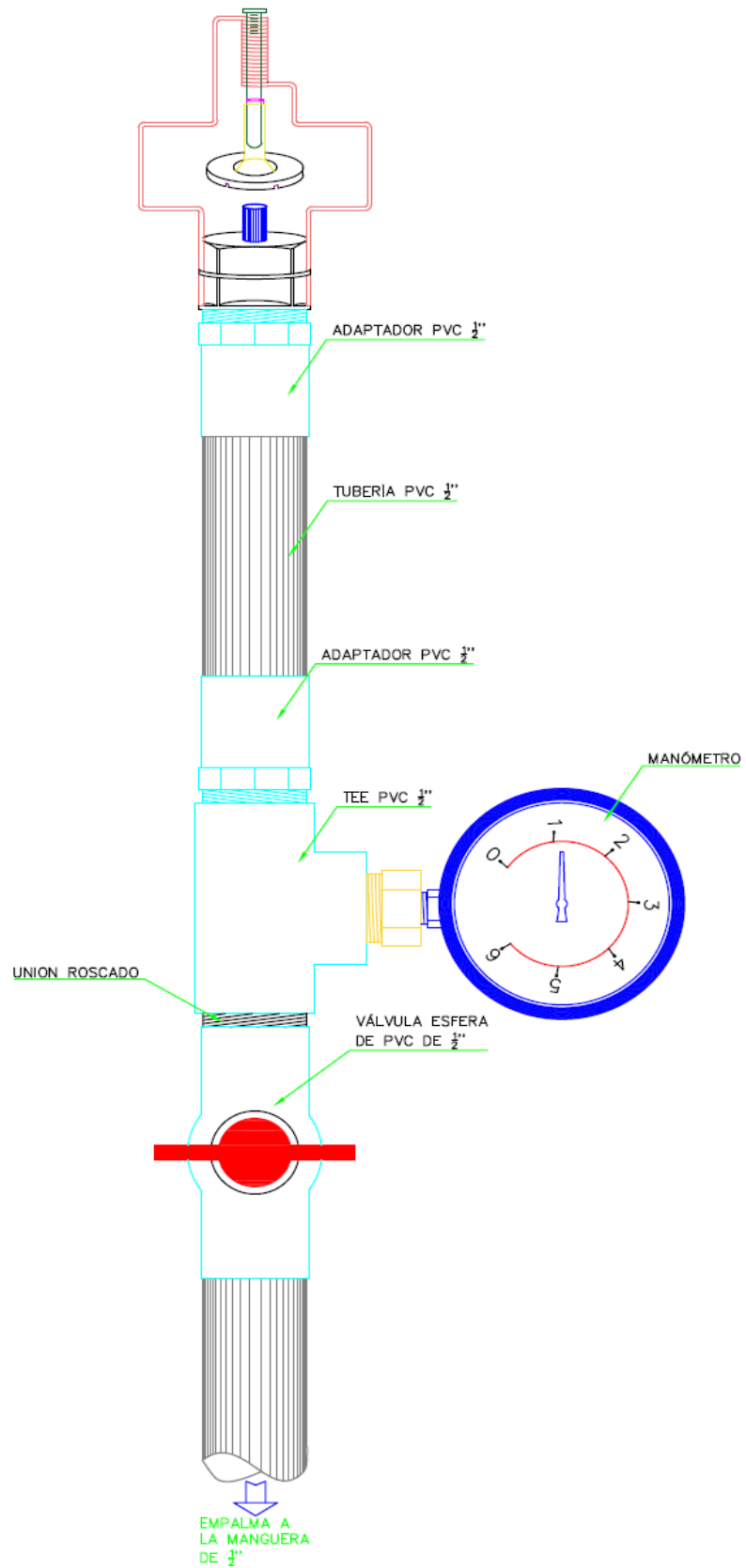


figura 42. Instalación de dispositivos e instrumentos para las pruebas

3.3.2.1. Parámetros o variables evaluadas.

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

a. Tipo micro aspersores evaluados.

Se tratan dos tipos (4 mm y 5 mm de diámetro de boquilla), la primera con rocío fino, la segunda con gotas más grandes y mayor pluviosidad.

b. Velocidad de viento.

Los valores de velocidad de viento se tomaron a partir la estación meteorológica de Cañasbamba, correspondiente al mes de noviembre y diciembre según se muestran en las tablas: C1, C2, del apéndice C. donde se lleva un registro de la velocidad de viento promedio por cada hora.

Altura de micro aspersor desde el suelo.

Entendemos que la velocidad de viento es mayor cuanto más nos alejamos de la superficie del suelo, también sabemos que cuanto más altura, las gotas de agua caerán con más fuerza sobre la superficie, motivo por el cual se realizó pruebas a dos alturas desde el suelo (0.5 m, 1.0m)

c. Hora de prueba.

Como es característico de la sierra, en horas de la mañana la velocidad de viento es muy poco a comparación de horas de la tarde, esto lo podemos corroborar en el anexo C; motivo por el cual se realizó pruebas en estas horas, con idénticas condiciones (presión, tipo aspersor, altura des el suelo).

En total se realizó doce pruebas, con el micro aspersor tipo I, y otros doce con el micro aspersor tipo II, tal como se muestran en las figuras 43, 44

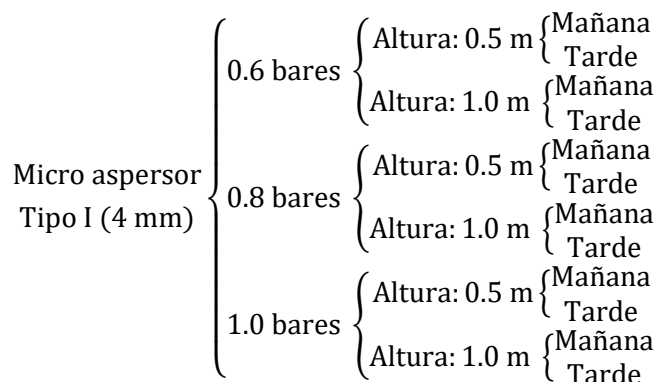


figura 43. Esquema de cantidad de pruebas realizadas para el micro aspersor tipo I

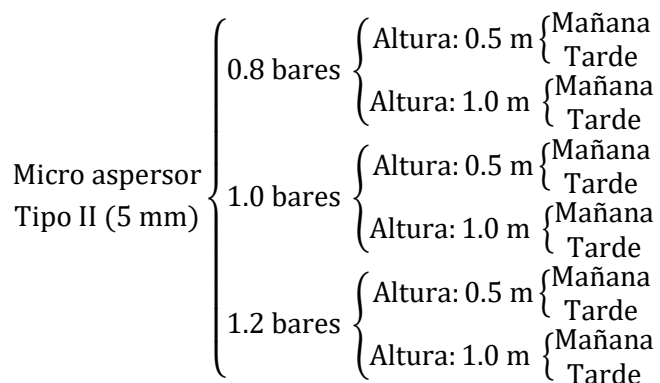


figura 44. Esquema de cantidad de pruebas realizadas para el micro aspersor tipo II

Como se observan en las figuras 43,44, para mismas condiciones de presión se realizó pruebas a la altura de 0.5 m y 1.0 m desde el nivel del suelo en horas de la mañana, y horas de la tarde. Estas dos últimas se realizó para poder determinar la influencia de la hora de riego (la velocidad del viento es mayor en horas de la tarde) en la uniformidad y así cubrir las condiciones climáticas.

3.3.2.2. Caudal por boquilla

1. Para el cálculo del gasto de cada micro aspersor, se tomó un recipiente de 10 lt,
2. Se colocó un pedazo de manguera de nivel conectado en un extremo en la boquilla del micro aspersor y el otro en el recipiente.

3. Se realizó dos pruebas una para el micro aspersor tipo I, a presiones de funcionamiento de 02,0.4,0.6,0.8,1.0 bar, la otra para el micro aspersor tipo II a presiones de funcionamiento de 02,0.4,0.6,0.8,1.0 1.2 bar; Se controló con cronometro el tiempo que tarda en llenarse el recipiente. Se realizó tres repeticiones pares cada presión, para tener un resultado más preciso.

3.3.2.3. Radio de humedecimiento

Es una variable muy importante a evaluar ya que de esta depende el espaciamiento entre cada micro aspersor, en muchos casos esta variable se puede ver afectada por la distorsión de los vientos y presión de operación del sistema de riego, para medir el radio mojado basta con medir la superficie efectivamente mojada. El micro aspersor al girar produce un modelo de distribución circular, la distancia del micro aspersor a la circunferencia exterior del círculo mojado, se llama alcance

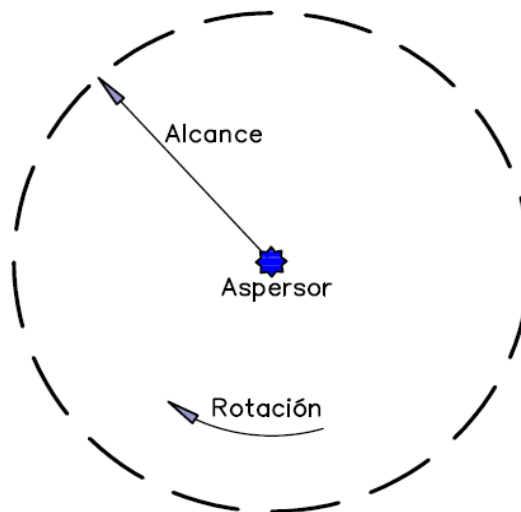


figura 45. Modelo de distribución de agua del micro aspersor

Para ver cuál era el radio de cobertura correspondiente a cada presión, se extendió una cinta métrica a lo largo de un radio, Se realizó pruebas para el micro aspersor tipo I, y para el micro aspersor tipo II bajo las siguientes condiciones:

1. Para el tipo I, la evaluación se realizó para una altura de 0.5 metros y 1.0 metros a partir del suelo, estas dos pruebas para presiones de funcionamiento de 0.2,0.4,0.6,0.8,1.0 bar.
2. Para el micro aspersor tipo II las presiones fueron 0.2,0.4,0.6,0.8,1.0 y 1.2 bar, estos también para altura de 0.5 y 1.0 metros desde el suelo. Estas evaluaciones se realizaron bajo diferentes condiciones de funcionamiento (mañana y tarde) con el fin de establecer las condiciones más similares a la realidad.

3.3.2.4. Caracterización del reparto de agua

a. Coeficiente de uniformidad de Christiansen y curva radial de los micro 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), bajo distintos marcos de riego. Y para determinar la curva radial, se colocó cuatro líneas de pluviómetros en dirección del círculo mojado. A continuación, se describe los procedimientos:

1. Se extendió cordel en forma de cruz(ejes) en direcciones Norte Sur, Este Oeste, en cuya intersección irá ubicado el micro aspersor. La distancia de

este a oeste y norte a sur debe ser lo suficiente para cubrir el diámetro de humedecimiento del micro aspersor

2. A partir de lo anterior se realizó una red de malla cuadradas equidistantes de 1x1m² (sub-área).

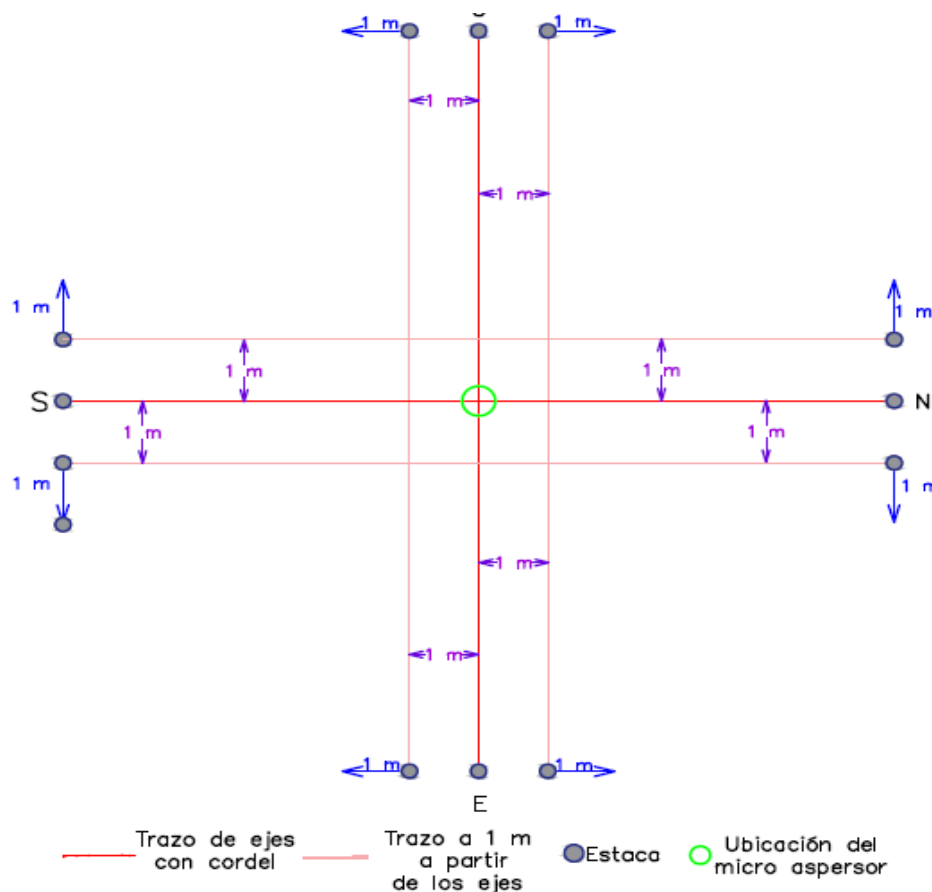


figura 46. Trazo preliminar y proceso de enmallado

3. Posteriormente se coloca los vasos pluviométricos en el centro de cada sub-área, es decir se formó cuatro cuadrantes en la superficie de prueba como se muestra en la figura 47.
4. El aspersor se situó en el centro de la red, equidistante a los cuatro pluviómetros que lo rodean.
5. Con el fin de obtener el perfil radial de la distribución de agua de los micro aspersores y aprovechando el enmallado, se prepararon 04 líneas de

pluviómetros radiales equidistantes en dirección del círculo mojado, espaciados $1 \times \sqrt{2}/2$ m entre pluviómetros, estando los cuatro primeros a 0.15 metros del micro aspersor, tal como se muestra en la figura 44.

Estación meteorológica

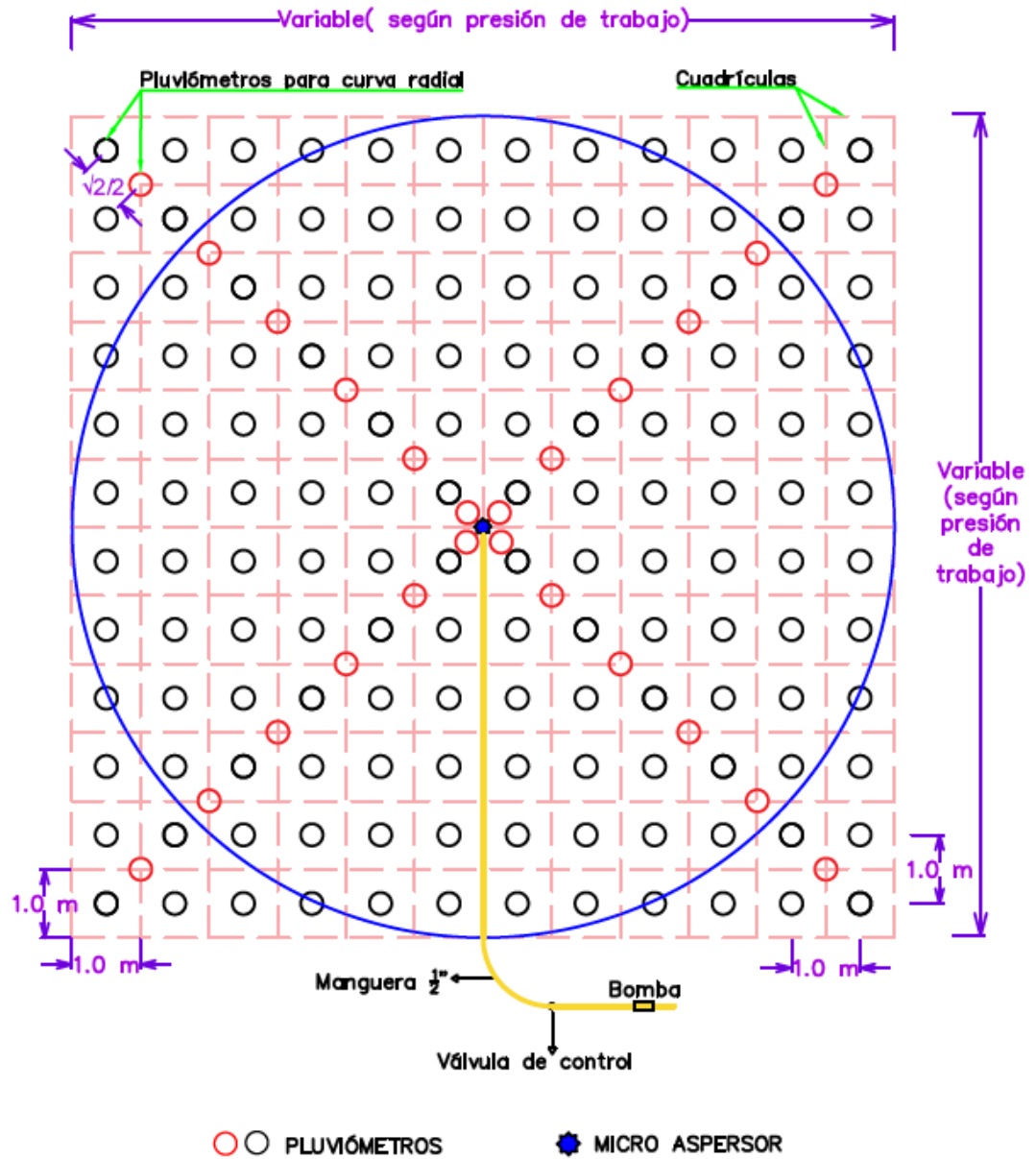


figura 47. Esquema del ensayo del aspersor aislado al aire libre

6. Los colectores utilizados fueron recipientes de medio litro que poseen forma geométrica tronco-cónica, con diámetro en la parte superior de 12 cm y altura de 06 cm. El volumen almacenado dentro de cada colector fue medido con probetas graduada.
7. Se comenzó la prueba para una presión determinada; El tiempo que duro los ensayos fu de una hora y treinta minutos, una vez finalizado el ensayo se dejó de regar y se midió el volumen recogido en cada pluviómetro con ayuda de una probeta.
8. La velocidad del viento se midió en la estación meteorológica Cañasbamba de la UNASAM, situada a 30 m del lugar de ensayo, la velocidad del viento que proporciona la estación es de intervalos de 1 hora, las tablas: C1, C2, del apéndice C, muestra estos valores.
9. Todos los datos durante el ensayo fueron anotados para posteriormente analizarlo en gabinete.

3.3.3. Trabajo en gabinete

3.3.3.1. Caudal por boquilla

- 1) A partir de los datos obtenido en la prueba, el caudal para cada presión se calculó con la ecuación (2)
- 2) Ya habiendo obtenido la cauda (litros/hora) para cada presión(bar) se generó una curva presión vs caudal, con regresión potencial con Microsoft office Excel. esto con la finalidad de generar caudales a diferentes presiones. (ecuaciones representativas de caudal vs presión, para el micro aspersor)

3.3.3.2. Diámetro de humedecimiento

Similar a lo anterior se relación presión y radio de humedecimiento, con regresión potencial con Microsoft office Excel. esto con la finalidad de generar radios de humedecimiento a diferentes presiones.

3.3.3.3. Caracterización del reparto de agua

a. Curva radial de los micro aspersores

una vez obtenida los datos en la prueba de los colectores radiales (en cm^3) 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, tal como se muestra en la siguiente figura.

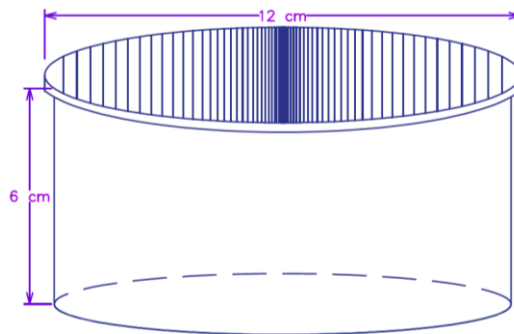


figura 48. Medidas del vaso usado como pluviómetros en las pruebas

- 2) La lámina de agua recogida en los pluviómetros se halla a partir de la ecuación (6) y (7).
- 3) La pluviometría en los colectores se calculó con la ecuación (8).

4) Por último, se graficó distancia vs pluviometría, así poder determinar la forma de reparto de agua (rosquilla. Elíptico o triangular)

b. Coeficiente de uniformidad de Christiansen

A partir de los datos de los pluviómetros de la prueba de reparto de agua alrededor de un solo micro aspersor al aire libre, Se realizó simulaciones para cualquier marco de riego.

Estas simulaciones, nos permite tener una idea de cómo se comportaría los micro aspersores funcionando en conjunto, tal como se muestra en la figura 49.

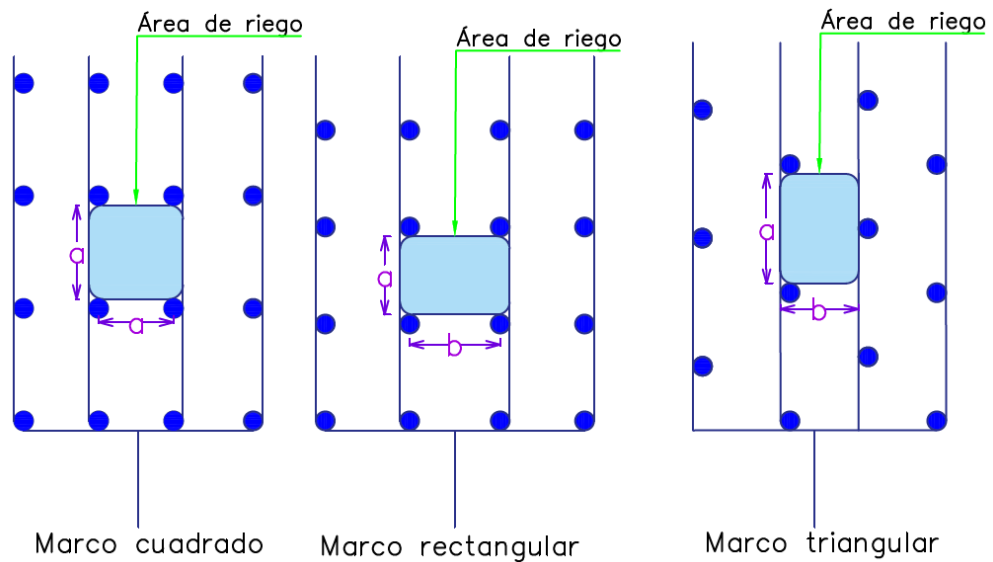


figura 49. Esquema de simulación de área evaluada en los marcos cuadrado rectangular y triangular

A continuación, mencionaremos el procedimiento seguido para realizar simulación de la pluviometría esperada en un patrón traslapado de cuatro micro aspersores funcionando a la vez (marco de riego cuadrado).

El área de cobertura de un solo micro aspersor (figura 50) se subdividió en cuatro cuadrantes; se copió cuatro veces “moviendo” el centro del área

circular a los vértices del cuadrado (ABCD), es decir se hace coincidir el cuadrante I con el vértice A, el cuadrante II con el vértice B, el cuadrante III con el vértice C y el cuadrante IV con el vértice D. Como se muestra en la figura 51.

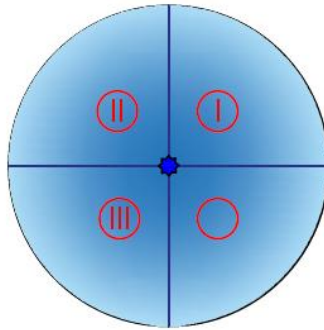


figura 50. Área de cobertura de un solo micro aspersor

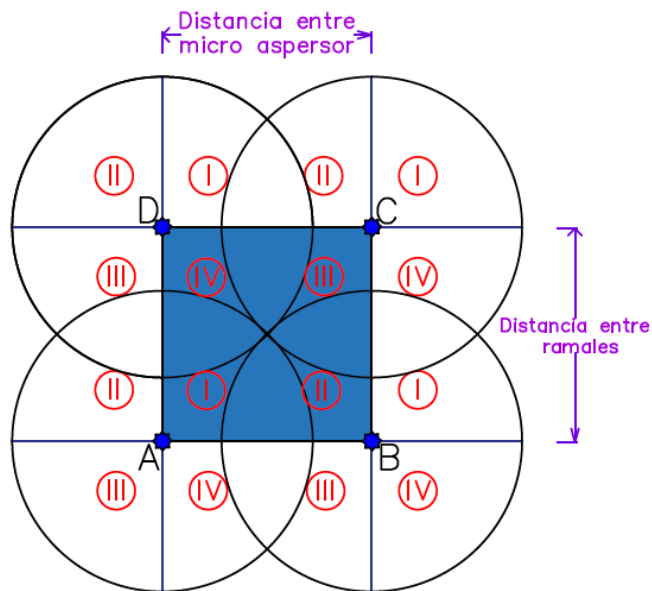


figura 51. Simulación de traslape de micro aspersores, en marco cuadrado

El arreglo de los pluviómetros en cuadrículas (1x1) permite adicionar el volumen recogido de los micro aspersores vecinos, según el marco de riego deseado (cuadrado, rectangular, triangular)

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1. Diseño y Construcción de Micro Aspersores Artesanal

4.1.1. Diseño y construcción de micro aspersor de impacto.

Se diseñó y construyó el micro aspersor de impacto, cuyos componentes tienen las siguientes características: el cabezal con concavidad hacia arriba, para tener mayor alcance. Con cortes en los bordes de la circunferencia del cabezal, para garantizar que el agua se rompa y no forme una especie de tela de agua.

Se le sometió a una prueba al aire libre, para ver su comportamiento, los resultados fueron.

- El radio de humedecimiento fue de 2.8 a 3.0 m (para diámetro de boquilla 5 mm, presión de 1.2 bar, altura desde el suelo de 1.0 m.)
- Los cortes practicados al borde de la circunferencia del cabezal rompen de manera parcial la tela de agua que forma al impactar con el cabezal, haciendo que, al chocar con los soportes, aun sea notoria que la distribución del agua en dirección de estos no sea uniforme, claro que hay mejoría en comparación del primer micro aspersor.

Cabe mencionar que este micro aspersor es uno de los preliminares o antecesores, para llegar al diseño definitivo (modelo giratorio)

4.1.2. Diseño y construcción de micro aspersores giratorios.

Después de muchas pruebas se llegó a la conclusión que, para hacer que el agua luego de impactar se “rompa” y no forme una tela, se debe de lograr un mecanismo que haga que el micro aspersor gire a suficiente velocidad como para

esparcir el agua en forma de lluvia. Por tal motivo se diseñó y construyó dos tipos de micro aspersores artesanales giratorios:

Tipo I: Con baja pluviometría y menor tamaño de gotas, para evitar daños en las plantas en proceso de germinación, encharcamientos y/o erosión.

Tipo II: Con mayor pluviometría que el tipo I, y con gotas más grandes, ideal para plantas más resistentes, y suelos con alta grado de infiltración.

Las características de sus componentes se describen en la tabla 2, y en la figura 52 se puede apreciar el cabezal del micro aspersor tipo I a lado derecho y a lado izquierdo el tipo II, evidenciándose la diferencia del ancho en la zanja.

Tabla 2. Características de los componentes de los micro aspersores

Tipo de micro aspersor	D. Boquilla (mm)	Flecha de curva de turbina (mm)	Grosor de zanja de turbina (mm)
I	4	2	2
II	5	3	3

Nota: Flecha se refiere a la intensidad de curvatura de las turbinas en el cabezal de giro



Figura 52. Detalle de ancho de zanjas de turbina

De los resultados podemos mencionar que la clasificación de los dos tipos de micro aspersores artesanales diseñado y construidos son:

- De giro rápido (> 6 vueltas/min)

- De turbina
- De baja presión (menos de 2.5 bares)

Estas características según referencias bibliográficas hacen que los micro aspersores sean ideales para usarse en jardinería y para riego de hortalizas, resultando también adecuado para riego en frutales ya que tiene bajo ángulo, por ende, arroja el agua por debajo de las hojas de los frutales.

4.2. Caudal por Boquilla

4.2.1. Micro aspersor tipo I.

En la tabla 3, se muestra la variación del caudal debido a la presión del micro aspersor tipo I, observándose valores que van desde un mínimo de 163.64 l/h para una presión de 0,2 bares hasta un máximo de 398.52 l/h para una presión de 1.0 bares; Existe una correlación altamente significativa entre dichas variables, siendo el coeficiente de correlación para este caso de $r^2 = 0.997$, es decir, el 99,7 por ciento de la variación del caudal se debe a la influencia de la presión en el modelo. La curva caudal vs. presión para el micro aspersor se muestra en la figura 51, pudiéndose observar que a medida que aumenta la presión aumenta el caudal, como se muestra en la tabla 4, y ajustándose a la siguiente ecuación:

$$Q = 404.51P^{0.5926}$$

$$r^2 = 0.9977$$

Donde:

Q: caudal l/h

P: Presión de trabajo del micro aspersor en bares

r^2 : Coeficiente de determinación

Tabla 3. Variación del caudal debido a la presión del micro aspersor tipo I.

PRESION (bar)	TIEMPO (min)				VOLÚMEN (l)	CAUDAL (l/h)
	1°	2°	3°	PROMEDIO		
0.20	3.61	3.68	3.71	3.67	10.00	163.64
0.40	2.52	2.50	2.46	2.49	10.00	240.67
0.60	2.00	1.98	1.96	1.98	10.00	303.12
0.80	1.67	1.75	1.69	1.70	10.00	352.37
1.00	1.50	1.52	1.50	1.51	10.00	398.52

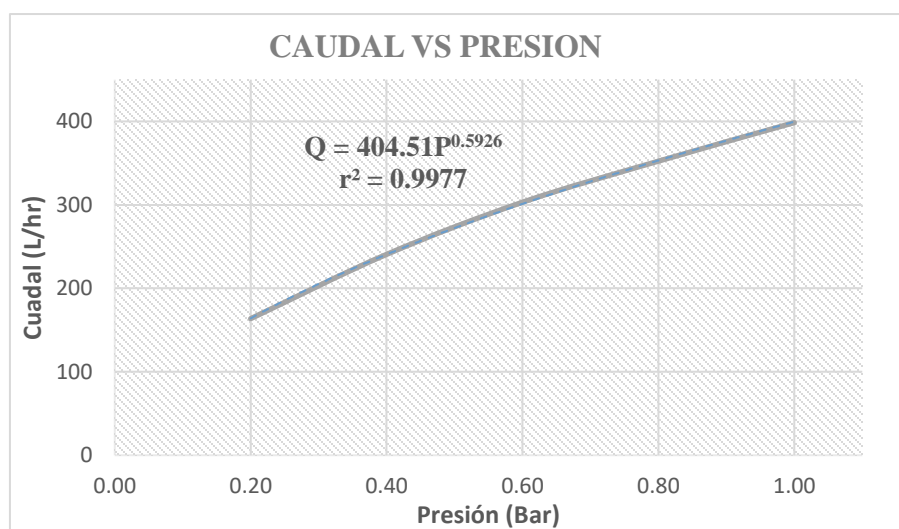


Figura 53. Curva caudal - presión para el micro aspersor tipo I (4mm)

4.2.2. Micro aspersor tipo II

En la tabla 4, se muestra la variación del caudal debido a la presión del micro aspersor tipo II, observándose valores que van desde un mínimo de 190.31 l/h para una presión de 0,2 bares hasta un máximo de 647.22 l/h para una presión de 1.0 bares; Existe una correlación altamente significativa entre dichas variables, siendo el coeficiente de correlación para este caso de $r^2 = 0.999$, es decir el 99,9 por ciento de la variación del caudal se debe a la influencia de la presión en el modelo. La curva caudal vs. presión para el micro aspersor tipo II se muestra en la figura 53, del apéndice, pudiéndose observar que a medida que aumenta la presión

aumenta el caudal, como se muestra en la tabla 4, y ajustándose a la siguiente ecuación:

$$Q = 572.28P^{0.6859}$$

$$r^2 = 0.999$$

Donde:

Q: caudal l/h

P: Presión de trabajo del micro aspersor en bares

r²: Coeficiente de determinación

Tabla 4. Variación del caudal debido a la presión del micro aspersor tipo II.

PRESION (bar)	TIEMPO (min)				VOLÚMEN (l)	CAUDAL (l/h)
	1°	2°	3°	PROMEDIO		
0.2	3.08	3.17	3.21	3.15	10.00	190.31
0.4	2.00	1.92	2.00	1.97	10.00	304.23
0.6	1.50	1.50	1.49	1.50	10.00	400.89
0.8	1.15	1.27	1.23	1.22	10.00	493.15
1	1.05	1.01	1.08	1.04	10.00	574.47
1.2	0.92	0.93	0.93	0.93	10.00	647.22

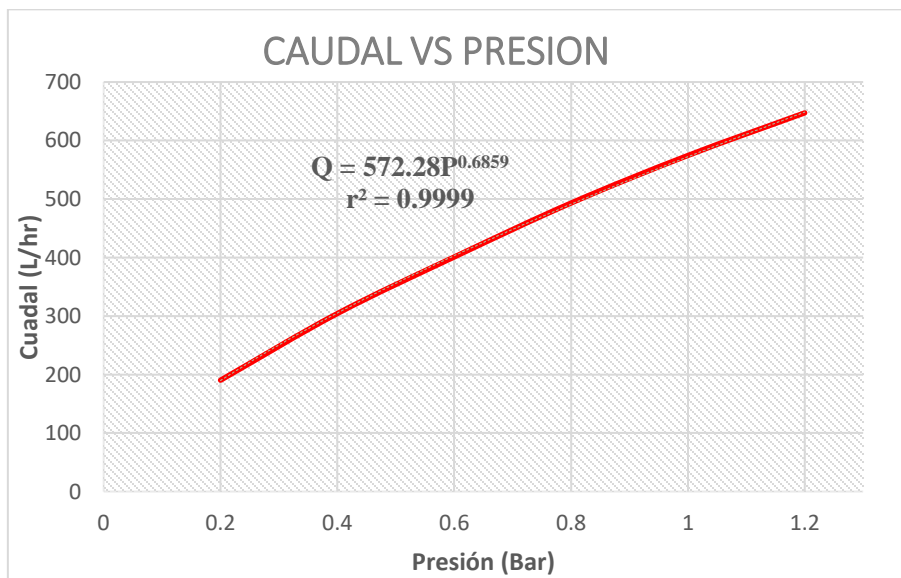


Figura 54. Curva caudal - presión para el micro aspersor tipo II (5 mm)

Analizando los resultados podemos apreciar que la variación caudal por presión, se ajusta a una ecuación potencial tal como cita en la referencia bibliográficas. Esta ecuación será útil cuando queramos calcular el caudal para cualquier presión deseada o viceversa.

4.3. Radio de Humedecimiento

El radio de mojadura varía con la presión de trabajo, velocidad del viento y ángulo de salida de las gotas de agua, por ende, dependerán de la posición del aspersor a partir del suelo.

4.3.1. Micro aspersor tipo I.

- El diámetro mojado del micro aspersor tipo I a 0.5 metros de altura a partir del suelo, en función de la presión, varia desde un mínimo de 1.0 metros para una presión de 0,2 bares hasta un máximo de 4.2 metros para una presión de 1.0 bares. siendo el coeficiente de correlación para este caso de $r^2 = 0,9923$. La curva radio vs presión obedece a la siguiente ecuación:

$$R = 4.48P^{0.9089}$$

$$r^2 = 0.9923$$

Donde:

R: radio de humedecimiento en metros

P: Presión de trabajo del micro aspersor en bares

r^2 : Coeficiente de determinación

En la tabla 5 se presentan los resultados de las pruebas realizados al aire libre para 0.5 metros de altura y su respectivo grafico (Figura 55)

- El diámetro mojado del micro aspersor tipo I a 1.0 metros de altura a partir del suelo, en función de la presión, varía desde un mínimo de 1.50 metros para una presión de 0,2 bares hasta un máximo de 5.1 metros para una presión de 1.0 bares. siendo el coeficiente de correlación para este caso de $r^2 = 0,998$. La curva radio vs presión obedece a la siguiente ecuación:

$$R = 5.4049P^{0.7704}$$

$$R^2 = 0.9904$$

Donde:

R: radio de humedecimiento en metros

P: Presión de trabajo del micro aspersor en bares

r^2 : Coeficiente de determinación

En la tabla 6 se presentan los resultados de las pruebas realizados al aire libre para esta altura y su respectivo grafico (Figura 55)

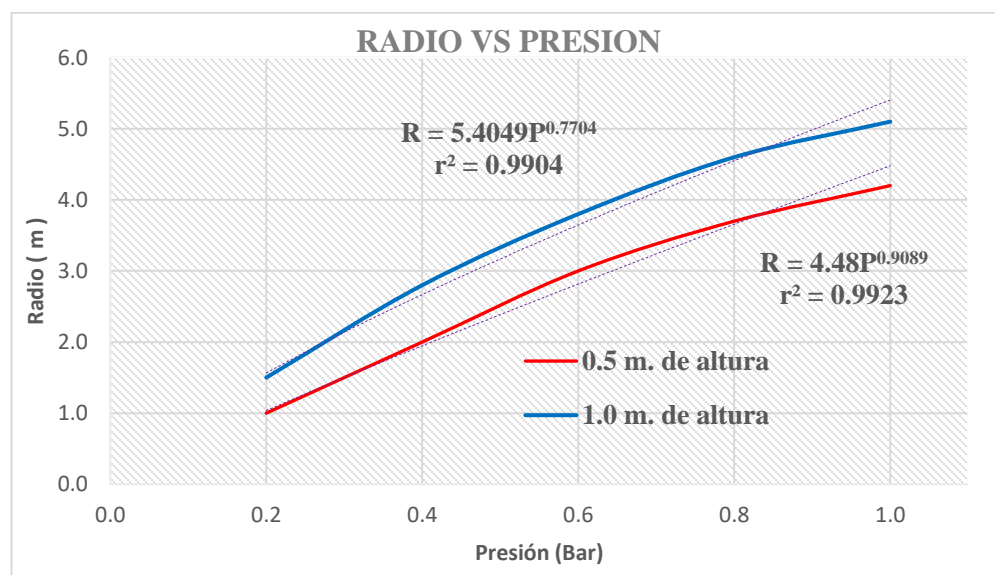


Figura 55. Curva Radio - presión para el micro aspersor tipo I (4mm)

4.3.2. Micro aspersor tipo II.

- El diámetro mojado del micro aspersor tipo I a 0.5 metros de altura a partir del suelo, en función de la presión, varia desde un mínimo de 1.1 metros para una presión de 0,2 bares hasta un máximo de 5.0 metros para una presión de 1.2 bares. siendo el coeficiente de correlación para este caso de $r^2 = 0,989$. La curva radio vs presión obedece a la siguiente ecuación:

$$\mathbf{R = 4.5243P^{0.6812}}$$

$$\mathbf{r^2 = 0.9899}$$

Donde:

R: radio de humedecimiento en metros

P: Presión de trabajo del micro aspersor en bares

r^2 : Coeficiente de determinación

En la tabla 5 se presentan los resultados de las pruebas realizados al aire libre para 0.5 metros de altura y su respectivo grafico (Figura 55)

- El diámetro mojado del micro aspersor tipo I a 1.0 metros de altura a partir del suelo, en función de la presión, varia desde un mínimo de 1.80 metros para una presión de 0,2 bares hasta un máximo de 6 metros para una presión de 1.2 bares. siendo el coeficiente de correlación para este caso de $r^2 = 0,999$. La curva radio vs presión obedece a la siguiente ecuación:

$$\mathbf{R = 5.3265P^{0.6704}}$$

$$\mathbf{r^2 = 0.999}$$

Donde:

R: radio de humedecimiento en metros

P: Presión de trabajo del micro aspersor en bares

r^2 : Coeficiente de determinación

En la tabla 5 se presentan los resultados de las pruebas realizados al aire libre para esta altura y su respectivo grafico (Figura 56)

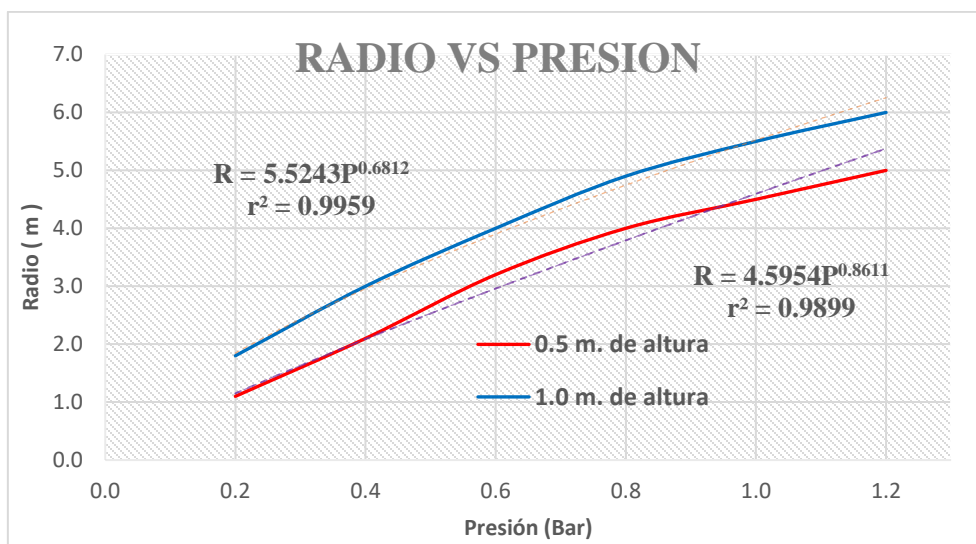


Figura 56. Curva Radio - presión para el micro aspersor tipo II (5 mm)

Tabla 5. Evaluación para determinar Curvas presión- Radio de humedecimiento.

PRESION (bar)	Radio Húmedo (m)			
	TIPO I (4 mm)		TIPO II (5 mm)	
	0.5 m. de altura	1.0 m. de altura	0.5 m. de altura	1.0 m. de altura
0.2	1	1.5	1.1	1.80
0.4	2	2.8	2.1	3.00
0.6	3	3.8	3.2	4.00
0.8	3.7	4.6	4	4.90
1.0	4.2	5.1	4.5	5.50
1.2	-	-	5	6.00

Según las citas bibliográficas, el radio de alcancé de los emisores de riego por micro aspersión no suele sobrepasar los 3 m. sin embargo los micro aspersores diseñados, suelen llegar hasta 6 metros de radio de humedecimiento. Por otro lado,

también se puede apreciar que la variación del radio se ajusta con una ecuación potencial.

4.4. Curva Radial de los Micro Aspersores

En el Apéndice A se muestran las veinticuatro tablas correspondientes a los valores de la pluviometría recogida en dirección de cuatro radios de las pruebas realizadas, así como también las figuras de las curvas radiales y/o modelos de reparto de agua.

De los resultados, destaca que, para los tipos de micro aspersores y presiones de trabajo de estos, tienen una forma de reparto o distribución de agua del tipo *triangular*, es decir que la pluviometría va variando de más a menos en función al radio de alcance.

También se puede apreciar la variación del radio de humedecimiento de acuerdo a la velocidad y dirección del viento, también el aumento de la pluviometría a medida que la presión va disminuyendo, así como también el aumento de la pluviometría cuando la altura del micro aspersor es de 0.5 metros desde el suelo.

Esta distribución *triangular* es la mejor según mencionan autores, ya que permite traslapar los micro aspersores con mayor uniformidad.

4.5. Coeficiente de Uniformidad de Christiansen

Se realizaron dos pruebas por día tanto en horas de la mañana y tarde; Las condiciones al cual estuvo sometido las pruebas fueron: presión, altura desde el suelo, velocidad de viento.

Una vez concluida la primera prueba en hora de la mañana se procedió a la lectura de los volúmenes recogidas en cada pluviómetro, inmediatamente concluida esta primera prueba se volvió colocar los pluviómetros en el lugar de evaluación, iniciándose esta

segunda en horas de la tarde, los valores obtenidos de estas veinticuatro pruebas se observan el apéndice B

En la figura 57 se observa el patrón circular del micro aspersor operando individualmente, donde se puede apreciar la gran variabilidad de los volúmenes captados por los recipientes (de 180 a 160 cm³ estando cerca al micro aspersor y de 0 a 20 cm³, cuando el radio mojado llega a los 6 m)

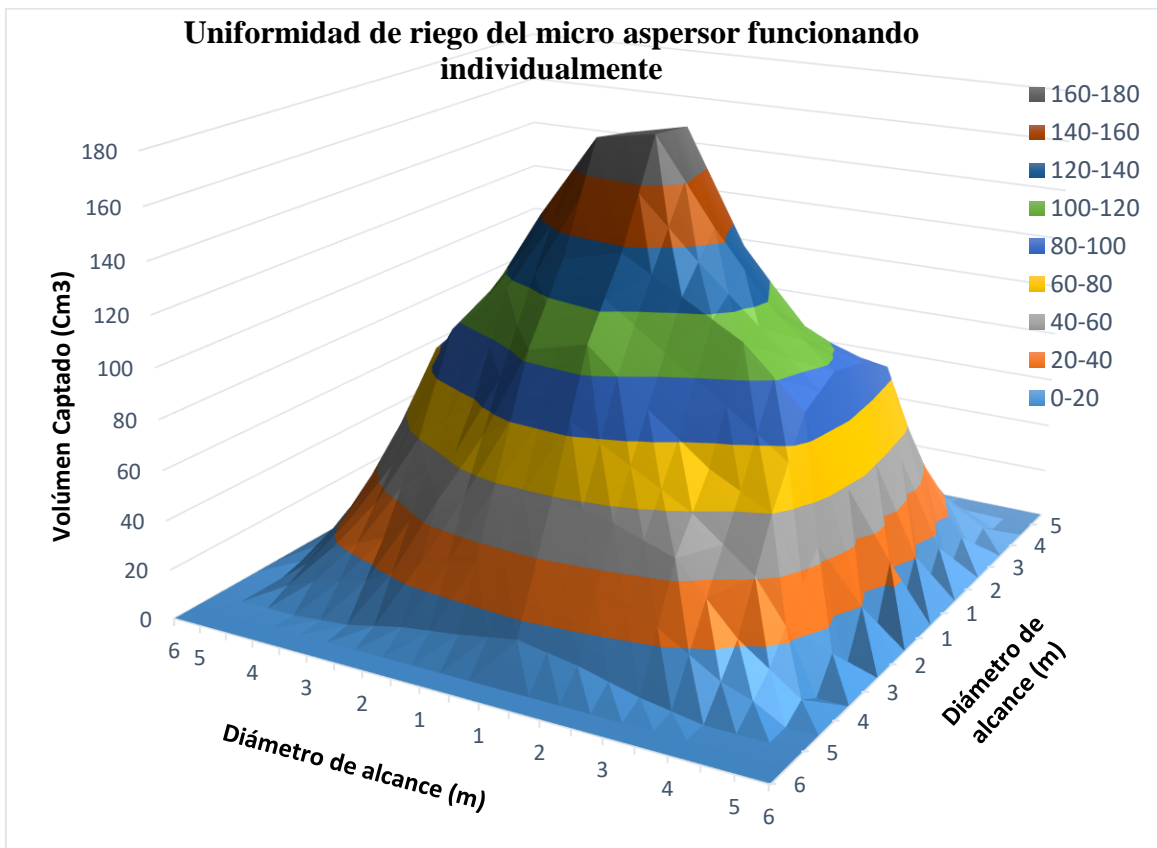


figura 57. Distribución del agua del micro aspersor funcionando individualmente.
Fuente: Se graficó a partir de los datos de la figura B1, Apéndice B.

Es por tanto la necesidad de realizar marcos de riego (rectangular, cuadrado y triangular). para mejorar la uniformidad del área regada. Las tablas 6,7,8,9 resume los valores resultantes de CU de todos los marcos simulados.

Tabla 6

Valores de CU (en %) en condiciones de viento para distintos marcos de riego

Micro aspersor tipo I (4 mm de boquilla)				Altura desde el aspersor: 1.0 m															
Viento (m/s)	Presion (bar)	Caudal (l/h)	Alcance (m)	Marco de riego (axb)															
				Cuadrado			Rectangular				Triangular								
				7x7	6x6	5x5	7x6	6x7	6x5	5x6	5x4	4x5	7x7	7x6	6x6	6x5	5x5	5x4	4x4
1.2-1.4	1	398.524	10.2	74.2	88.1	92.7	84.4	75.8	91.5	88.2	-	-	73.4	85.2	86.9	91.2	93.3	-	-
3.1-5.1				73.4	87.2	92.9	82.3	75.4	89.9	88.5	-	-	72.8	83.1	85.7	90.6	91.4	-	-
0.5-1.9	0.8	352.365	9.2	69.4	85.5	95.9	75.1	75.0	90.5	88.9	-	-	67.9	82.1	89.7	96.3	91.1	-	-
2.2-4.0				64.2	83.1	91.8	73.1	70.4	88.0	84.6	-	-	61.6	75.6	85.4	94.4	90.5	-	-
0.6-1.1	0.6	303.115	7.6	67.4	84.7	93.2	-	-	75.9	74.7	90.1	86.7	-	-	69.8	86.9	87.0	88.3	87.0
3.9-6.1				69.5	84.0	92.6	-	-	77.6	73.5	88.2	85.6	-	-	71.1	87.2	84.8	85.9	88.9

Nota: El valor de CU aceptable cuando es mayor o igual que 80%.

Tabla 7

Valores de CU (en %) en condiciones de viento para distintos marcos de riego

Micro aspersor tipo I (4 mm de boquilla)				Altura desde el aspersor: 0.5 m											
Viento (m/s)	Presion (bar)	Caudal (l/h)	Alcance (m)	Marco de riego (axb)											
				Cuadrado			Rectangular				Triangular				
				6x6	5x5	4x4	6x5	5x6	5x4	4x5	6x6	6x5	5x5	5x4	4x4
0.9-2.4	1	398.524	8.4	83.8	90.1	92.2	91.2	84.9	89.5	93.1	85.1	88.9	87.4	91.4	94.6
6.0-6.7				82	88.1	90.4	85.2	85.2	88.3	90.4	83.6	87.6	88.9	91.3	92.6
0.7-1.4	0.8	352.365	7.4	81.8	91.9	85.8	86	82.4	90	87.2	83.2	93.4	86.8	86.4	90
2.9-7.4				80.0	91.1	86.6	82.8	83.8	89.9	89.2	82.6	90.5	90.1	88	89
2-2.7	0.6	303.115	6	-	88.5	84.3	-	-	82.4	80	-	80.0	87.5	81.9	80
4.6-5.6				-	87.8	82.8	-	-	84.1	81.4	-	78.8	90.4	85.8	80.6

Nota: El valor de CU aceptable cuando es mayor o igual que 80%.

Tabla 8

Valores de CU (en %) en condiciones de viento para distintos marcos de riego

Micro aspersor tipo II (5 mm de boquilla)				Altura desde el aspersor: 1.0 m																			
Viento (m/s)	Presion (bar)	Caudal (l/h)	Alcance (m)	Marco de riego (axb)																			
				Cuadrado					Rectangular					Triangular									
				9x9	8x8	7x7	6x6	5x5	9x8	8x9	8x7	7x8	7x6	6x7	6x5	5x6	8x8	8x7	7x7	7x6	6x6	6x5	5x5
1-1.4	1.2	647.22	12	65.9	80.6	92.1	94.9	-	73.7	70.3	86.8	82.8	93.9	92.6	-	-	82.4	93.0	91.6	93.7	93.3	-	-
5.1-6.4				62.1	76.4	88.2	94.7	-	68.9	68.5	82.4	80.7	90.9	91.1	-	-	80.5	89	88.9	91.7	91.7	-	-
0.7-1.4	1	574.47	11	-	-	85.2	92.4	87.4	-	-	72	78.0	85.5	91.7	90.3	89.0	69	79.7	88.6	91.7	91.8	90.9	88
1.0-2.9				-	-	85.0	90.4	86.7	-	-	72.2	76.1	84.4	90.2	87.6	89.1	66.9	79.1	88.2	91.0	89.9	87.7	86
2.2-2.6	0.8	493.15	9.8	-	-	74.1	91.3	91.6	-	-	-	-	78.6	83.0	89.6	93.5	-	-	74.5	86.6	95.2	94.1	90
2.2-3.3				-	-	73.7	89.6	91.3	-	-	-	-	78.9	81.6	89.5	91.0	-	-	76.0	89.2	94.2	91.7	87

Nota: El valor de CU aceptable cuando es mayor o igual que 80%.

Tabla 9

Valores de CU (en %) en condiciones de viento para distintos marcos de riego

Micro aspersor tipo II (5 mm de boquilla)				Altura desde el aspersor: 0.5 m																				
Viento (m/s)	Presion (bar)	Caudal (l/h)	Alcance (m)	Marco de riego (axb)																				
				Cuadrado				Rectangular						Triangular										
				7x7	6x6	5x5	4x4	8x7	7x8	7x6	6x7	6x5	5x6	5x4	4x5	8x8	8x7	7x7	7x6	6x6	6x5	5x5	5x4	4x4
1.9-2.1	1.2	647.22	10	88.1	95.2	92.4	-	80.4	80.0	91.1	91.1	93.4	94.5	-	-	77.6	88.7	90.4	92.9	92.0	91.5	93.0	-	-
4.2-5.5				86.0	92.4	91.5	-	80	80.0	89.3	89.9	91.9	93.1	-	-	77.2	88.0	88.0	89.5	89.6	89.6	90.5	-	-
0.8-1.0	1	574.47	9	-	87.8	85.7	87.1	-	-	79.6	81.4	88.3	87.7	87.4	85.8	-	-	74.6	90.1	92.4	85.2	84.9	86.1	89.2
3.2-3.7				-	86.5	83.8	87.7	-	-	78.8	86.6	85.4	84.2	87.2	81.6	-	-	82.0	86.7	87.0	84.2	84.0	91.1	92.3
2.0-2.1	0.8	493.15	8	-	88.5	86.7	86.5	-	-	77.2	79.4	88.1	86.2	87.1	86.8	-	-	-	84.8	93.6	88.1	84.5	85.1	89.0
4.8-6.0				-	86.1	86.3	86.0	-	-	74.9	81.5	88.0	83.1	88.3	86.5	-	-	-	84.5	92.8	85.9	82.0	84.4	88.4

Nota: El valor de CU aceptable cuando es mayor o igual que 80%.

A continuación, analizaremos los valores de las tablas anteriores, obtenidos con la evaluación en campo de los micro aspersores diseñados.

- Para ambos tipos de micro aspersores, el alcance aumenta (entre 1.8 y 2 m) si el micro aspersor se sitúa de 0.5 m desde el suelo a 1.0 m.
- Los marcos de riego aumentan para los casos de los micro aspersores que se sitúan a 1.0 m desde el suelo, así como también se puede realizar esparcimientos más largos entre micro aspersores, a medida que la presión de funcionamiento aumenta
- El CU en el riego agrícola es aceptable según recomendaciones de Keller (1990), cuando $CU \Rightarrow 80\%$. Valores bajos de CU son indicadores de una incorrecta combinación del número y tamaño de boquillas, presión de trabajo y marco de riego
- Hay leve disminución de CU cuando vamos disminuyendo la presión de trabajo.
- El CU disminuye más rápidamente al aumentar la velocidad del viento así mismo conforme aumenta el tamaño del marco de riego.
- Al disminuir la presión hace que los cambios de dirección y velocidad del viento afecten menos el CU.
- Para ambos tipos de micro aspersores y las diferentes condiciones de estos, el que presenta mayor CU es la simulación es la de marco triangular.

- Con respecto al marco rectangular (axb) se aprecia que disponiendo el esparcimiento más largo paralelo a la dirección del viento se obtiene mayor valor de CU.
- El CU se ve afectado conforme va aumentando la velocidad del viento, en general, con velocidades de viento bajas (< 3 m/s), el coeficiente de uniformidad es mayor, ocurriendo lo contrario para vientos medios y altos (>3 m/s).
- Para los dos micro aspersores (tipo I y II), se debe evitar presiones superiores a 1.0 y 1.2 bares respectivamente, ya que las gotas tienden a pulverizarse y ser susceptibles al arrastre del viento.

V. CONCLUSIONES.

1. Se diseñó dos tipos de micro aspersores artesanales a partir de materiales reciclables y/o fáciles de adquirir a bajo costo; el tipo I con gotas finas y poca pluviometría, y el tipo II con gotas más grande y mayor pluviometría, así como también este último mayor alcance y con mayor presión de funcionamiento.
2. Se determinó la relación caudal - presión, de los dos tipos de micro aspersores, el comportamiento de estos se puede representar mediante ecuaciones potenciales, para el caso del Tipo I: $Q = 404.51P^{0.5926}$ y para el Tipo II: $Q = 572.28P^{0.6859}$
3. El radio de humedecimiento de los micro aspersores varía de acuerdo a la presión de trabajo, relacionándose estos mediante una ecuación potencial. El tipo I presentó una ecuación: $R = 4.48P^{0.9089}$ y el Tipo II: $R = 4.5243P^{0.6812}$
4. El modelo de reparto del agua o curva radial de reparto de agua es del tipo triangular, esto es indicador de un buen comportamiento de reparto de agua, ya que consigue mayor coeficiente de uniformidad de Christiansen para todos los marcos y presiones.
5. Se determinó los coeficientes de uniformidad de Christiansen (CU) realizando solapamientos para cualquier distancia deseada (marcos de riego en su forma: rectangular, cuadrada y triangular), equidiste de 1 m, Considerando aceptable solo aquellos valores de $CU \geq 80\%$.

VI. RECOMENDACIONES.

- Para conseguir buen funcionamiento de los micro aspersores, se recomienda construir como se especifica en el presente proyecto.
- Escoger solo los marcos(espaciamientos) que superen el 80% de CU.
- En marco de riego rectangular, y en condiciones de vientos fuertes, es recomendable realizar el esparcimiento más largo paralelo a la dirección del viento.
- Las gotas del micro aspersor tipo I por ser pequeñas es adecuado para riego de hortalizas en proceso de germinación y almácigos recién trasplantados, y el del tipo II es ideal para hortalizas más resistentes.
- Es recomendable regar con presiones menor a 1.0 bar en el caso del micro aspersor tipo I y 1.2 bar, para el micro aspersor tipo II. Para evitar que se pulvericen las gotas.
- Cuando la velocidad del viento es alta, es recomendable situar el micro aspersor a poca altura desde el terreno.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Ansorena M., J. (1994). Composición y propiedades físicas del suelo. España.
- Anten, M., & Willet, J. (2000). Diseño de pequeños sistemas de riego por aspersión en ladera-PRONAMACHCS. Cajamarca, Perú. Recuperado el 09 de Agosto de 2017, de http://www.academia.edu/3883882/Diseno_de_Pequeños_Sistemas_de_Riego_por_Aspersion_en_Ladera
- Bautista M, J. (1997). Respondiendo a la escasez de Agua de Riego. Cambio institucional y Mercado de Agua. Estudio de un caso en las islas canarias. Economía Agraria. Recuperado el 10 de Octubre de 2017, de http://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_reea/r175_07.pdf
- Calderón Matey, R. A., & López Rodríguez, J. (2006). Manual de riego agrícola. Editorial Trillas S.A. de CV. Recuperado el 02 de Diciembre de 2017, de <http://repositorio.una.edu.ni/2096/1/tnf06c146.pdf>
- Castañón, G. (2000). Ingeniería del riego: Utilización racional del agua. Madrid, España: Paraninfo. S.A. Recuperado el 12 de Octubre de 2017, de <https://es.scribd.com/document/201083633/Ingenieria-del-Riego-Utilizacion-Racional-del-Agua>
- CENTA. (2003). Técnicas de riego. pag. 25,28.
- Chávez fuentes, N. d., Dueñas Salvati, H. A., & Rodríguez Moreira, R. F. (2010). Implementación de Un Sistema de riego por micro aspersión para el Cultivo de Cacao (Theobroma Cacao L.) En La Hacienda “La Teodomira”. Tesis, Santa Ana Manabí, Ecuador. Recuperado el 10 de Octubre de 2017, de http://www.censalud.ues.edu.sv/CDOCDeployment/documentos/IMPLEMENTACION_DE_UN_SISTEMA_DE_RIEGO.pdf

- Chávez Ticona, H. (2011). Comportamiento hidráulico del aspersor artesanal para la distribución óptima del riego en regiones de valle. Tesis para optar el Título de Ingeniero Agrónomo, La paz- Bolivia. Recuperado el 09 de Agosto de 2017, de <http://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/8077/TD-1647.pdf?sequence=1>
- Delgadillo, O., & Jiménez, J. (2011). Aprendizajes de las experiencias de Aprendizajes de las experiencias de Bolivia, Proyecto de Tecnologías limpias para una agricultura irrigada sustentable. Cochabamba, Bolivia: Universidad Federal Reconcavo da Bahia. Recuperado el 12 de Octubre de 2017, de http://www.centro-agua.umss.edu.bo/wpcontent/uploads/2017/05/2011_Aprendizajes_experiencias_aspersion_Bolivia.pdf
- Delgadillo, O., & Jiménez, J. (2011). Evaluación del riego por aspersión en parcela, Apuntes metodológicos a partir de la práctica. Cochabamba, Bolivia: Universidad Mayor de San Simón. Recuperado el 12 de Octubre de 2017, de http://www.centro-agua.umss.edu.bo/wp-content/uploads/2011/12/2011_delgadilloyotros_evaluacion%20riego%20por%20aspersion%20en%20parcelafinalc.pdf
- El Regante. (2014). slideshare. Obtenido de Emisores de riego: <https://es.slideshare.net/Julianalsola/citas-electrnicas-segun-la-apa>.
- Gispert, J. ..., & A., G. J. (1994). El volumen húmedo del suelo. Aspectos agronómicos relacionados con la micro irrigación (b). Riegos y Drenajes XXI/77. Recuperado el 09 de Agosto de 2017, de <http://www.aida-itea.org/aida-itea/files/itea/revistas/2015/111-2/109-126%20ITEA%20111-2.pdf>

- González Baucells, P., & Méndez, M. (2004). Introducción al riego y drenaje. redalyc.org.
Recuperado el 10 de julio de 2017, de <http://www.redalyc.org/pdf/932/93213210.pdf>
- Losada, A. (2000). El Riego fundamento hidráulico. (Tercera ed.). Madrid, España:
Universidad Politécnica de Madrid Ministerio de agricultura alimentación y Pesca.
- Montero Martínez, J. (2000). Análisis de la Distribución de Agua en el Sistema de Riego por
Aspersión Estacionario. Dialnet. Recuperado el 13 de Enero de 2018, de
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=71259>
- Municipalidad distrital de San Marcos. (2010). Díptico informativo: construcción de un
aspersor artesanal. Proyecto: “Fortalecimiento de la educación ambiental en los centros
poblados de Challhuayaco, San marcos, Pichiu san pedro, Pichiu Quinhuaragra, distrito
de San Marcos – Huari – Ancash”. San Marcos – Huari – Ancash. Recuperado el 12 de
Noviembre de 2017, de <https://es.scribd.com/doc/104065954/ASPERSOR-ARTESANAL-1>
- Muñoz, L. (30 de Mayo de 2016). Agro Huerto.Riego por Microaspersión. Recuperado el 18
de Marzo de 2018, de <https://www.agrohuerto.com/riego-por-microaspersion/>
- Oficina regional de la FAO para américa latina y el caribe. (2008). El desarrollo del micro
riego en américa central-Oportunidades, Limitaciones y Desafíos. Santiago- Chile.
Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-aj470s.pdf>
- Parques alegres . (22 de Octubre de 2016). Sistema de riego por micro aspersores. Obtenido de
<http://parquesalegres.org/biblioteca/sistema-de-riego-pormicroaspersores/>.
- 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.

- Rafael, F., Oyonarte Gutiérrez, N. A., García Bernal, J. P., Yruela Morillo, M., Milla Milla, M., Ávila Alabarces, R., & Gavilán Zafra, P. (2010). Manual de riego para agricultores: módulo 3. Riego por aspersión. Sevilla, España: Consejería de Agricultura y Pesca, Servicio de Publicaciones y Divulgación.
- 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>
- Seguí, P. (1995). Riego y Drenaje. Abana, Cuba.
- Serie agroecológica. (2009). Riego por micro aspersores artesanales. Recuperado el 16 de Julio de 2017, de https://ong-adg.be/bibliadg/bibliotheque/opac_css/doc_num/fiches_techniques/ficha_riego_por_aspersion_vfb_ok.pdf
- 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
- Strong , W. (1961). Advanced irrigation. Desing. Agrica and irrigation. Proc of an Interna. Irrig. Sump. Sponsared by Wright rain, Ltd.. Salisbury, Southern. Salisbury, Southern Rhodesia. Recuperado el 13 de Enero de 2018, de <https://translate.google.com.pe/translate?hl=es&sl=en&u=http://rhodesianheritage.blogspot.com/2011/01/rhodesias-dams.html&prev=search>

- Tarjuelo Martin- Benito, J. (1991). El riego por aspersión: diseño y funcionamiento. Madrid, España: graficas Colomer, S.A. Albacete.
- Tayupanda, B. (2009). Elaboración de una propuesta metodológica participativa para la tecnificación del riego parcelario en la zona de Césele Chimborazo. Chimborazo. Recuperado el 25 de Noviembre de 2017, de http://tesis.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/6109/Huaman_Benites_Gheydi.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Valverde, J. (2007). Riego y Drenaje. San José, Costa Rica: Universidad Estatal A Distancia. San José, de Costa Rica. Recuperado el 25 de Noviembre de 2017, de <http://www.uned.ac.cr/euned/euned/book/U03021>
- Villafáfila , E., & Wyss , F. (2009). Riego en Horticultura- Guía para la instalación de pequeños sistemas de riego. INTA - Agencia Extensión Rural - Santo Pipó, Misiones. Recuperado el 16 de Diciembre de 2017, de <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-riego-en-horticultura.pdf>

VIII. APENDICE.

Apéndice A: Curva Radial de distribución

Tabla A 1

Valores de la pluviometría recogida en dirección de cuatro radios

Micro aspersor	: Tipo I	Fecha	: 27/11/2017
Boquilla	: 4 mm	Inicio de prueba	: 9:30 am
Presión	: 1.0 bar	Fin de prueba	: 11:00 am
Altura del micro aspersor	: 1.0 m	Duración	: 90 min
Distancia entre pluviómetros	: $\sqrt{2}$ m	Velocidad del viento	: 1.2 a 1.4 m/s
Diámetro de Embocadura	: 11.50 m	Área de Embocadura	: 103.87 cm ²

Distancia (m)	Volumen Colectado Cm ³				Altura de lluvia en mm				Pluviometría (mm/h)			
	Nor Este	Nor Oeste	Sur Este	Sur Oeste	NE	NO	SE	SO	NE	NO	SE	SO
0.15	180	183	176	178	17.33	17.62	16.94	17.14	11.55	11.75	11.30	11.42
0.71	175	177	170	173	16.85	17.04	16.37	16.66	11.23	11.36	10.91	11.10
1.41	155	160	150	158	14.92	15.40	14.44	15.21	9.95	10.27	9.63	10.14
2.12	95	125	90	117	9.15	12.03	8.66	11.26	6.10	8.02	5.78	7.51
2.83	75	90	70	85	7.22	8.66	6.74	8.18	4.81	5.78	4.49	5.46
3.54	50	72	40	60	4.81	6.93	3.85	5.78	3.21	4.62	2.57	3.85
4.24	26	36	18	30	2.50	3.47	1.73	2.89	1.67	2.31	1.16	1.93
4.95	18	22	12	22	1.73	2.12	1.16	2.12	1.16	1.41	0.77	1.41
5.66	0	8	0	2	0.00	0.77	0.00	0.19		0.51		0.13

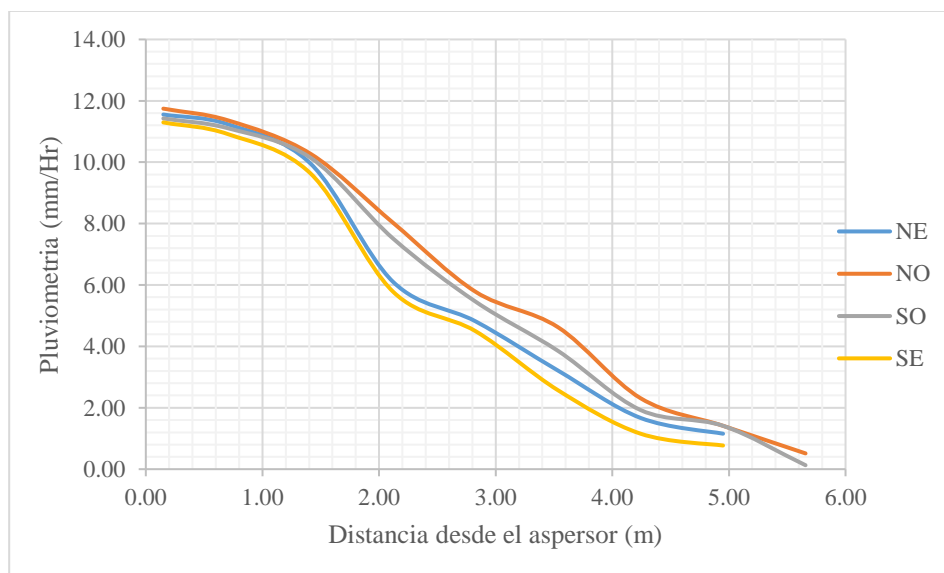


Figura A 1. Curva radial y/o modelo de reparto de agua para valores de la tabla C1

Tabla A 2

Valores de la pluviometría recogida en dirección de cuatro radios

Micro aspersor	: Tipo I	Fecha	: 27/11/2017
Boquilla	: 4 mm	Inicio de prueba	: 13:15 pm
Presión	: 1.0 bar	Fin de prueba	: 14:45 pm
Altura del micro aspersor	: 1.0 m	Duración	: 90 min
Distancia entre pluviómetros	: $\sqrt{2}$ m	Velocidad del viento	: 3.1 a 5.1 m/s
Diámetro de Embocadura	: 11.50 m	Área de Embocadura	: 103.87 cm ²

Distancia (m)	Volumen Colectado Cm ³				Altura de lluvia en mm				Pluviometría (mm/h)			
	Nor Este	Nor Oeste	Sur Este	Sur Oeste	NE	NO	SE	SO	NE	NO	SE	SO
0.15	175	180	182	185	16.85	17.33	17.52	17.81	11.23	11.55	11.68	11.87
0.71	172	175	175	180	16.56	16.85	16.85	17.33	11.04	11.23	11.23	11.55
1.41	145	155	150	160	13.96	14.92	14.44	15.40	9.31	9.95	9.63	10.27
2.12	73	105	100	140	7.03	10.11	9.63	13.48	4.69	6.74	6.42	8.99
2.83	53	85	80	100	5.10	8.18	7.70	9.63	3.40	5.46	5.13	6.42
3.54	38	50	55	85	3.66	4.81	5.30	8.18	2.44	3.21	3.53	5.46
4.24	23	35	40	55	2.21	3.37	3.85	5.30	1.48	2.25	2.57	3.53
4.95	8	15	24	35	0.77	1.44	2.31	3.37	0.51	0.96	1.54	2.25
5.66	0	10	0	8	0.00	0.96	0.00	0.77	0.64			0.51

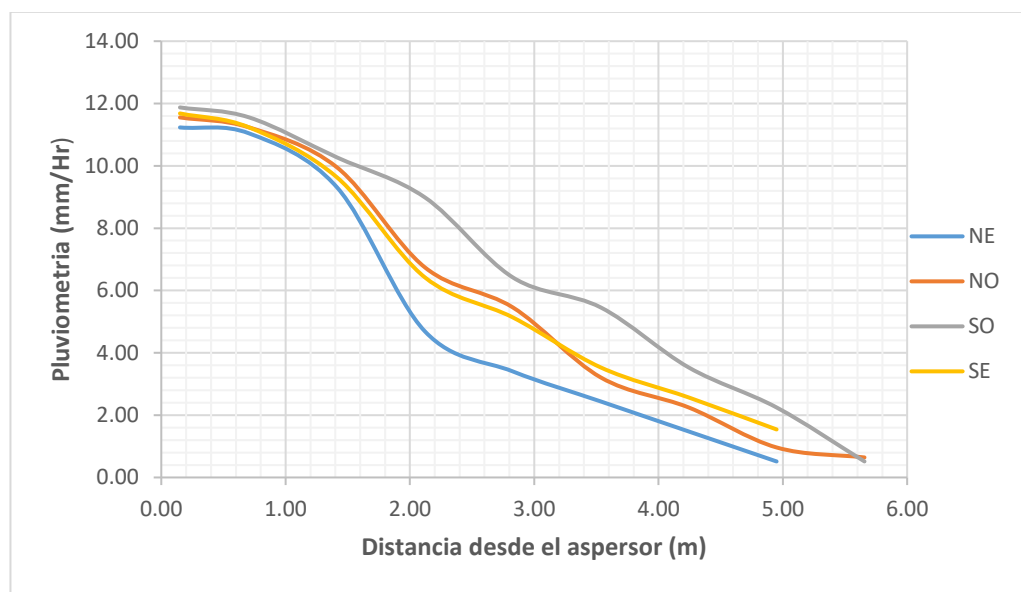


Figura A 2. Curva radial y/o modelo de reparto de agua valores de la tabla C2

Tabla A 3*Valores de la pluviometría recogida en dirección de cuatro radios*

Micro aspersor	: Tipo I	Fecha	: 28/11/2017
Boquilla	: 4 mm	Inicio de prueba	: 8:30 am
Presión	: 0.8 bar	Fin de prueba	: 10:00 am
Altura del micro aspersor	: 1.0 m	Duración	: 90 min
Distancia entre pluviómetros	: $\sqrt{2}$ m	Velocidad del viento	: 0.5 a 1.9 m/s
Diámetro de Embocadura	: 11.50 m	Área de Embocadura	: 103.9 cm ²

Distancia (m)	Volumen Colectado Cm ³				Altura de lluvia en mm				Pluviometría (mm/h)			
	Nor Este	Nor Oeste	Sur Este	Sur Oeste	NE	NO	SE	SO	NE	NO	SE	SO
0.15	205	200	205	200	19.74	19.26	19.74	19.26	13.16	12.84	13.16	12.84
0.71	195	190	192	190	18.77	18.29	18.48	18.29	12.52	12.19	12.32	12.19
1.41	167	160	165	148	16.08	15.40	15.89	14.25	10.72	10.27	10.59	9.50
2.12	156	140	140	120	15.02	13.48	13.48	11.55	10.01	8.99	8.99	7.70
2.83	135	115	128	105	13.00	11.07	12.32	10.11	8.66	7.38	8.22	6.74
3.54	85	50	73	35	8.18	4.81	7.03	3.37	5.46	3.21	4.69	2.25
4.24	41	15	29	10	3.95	1.44	2.79	0.96	2.63	0.96	1.86	0.64
4.95	18	0	0	0	1.73	0.96	1.16	0.77	1.16	0	0	0

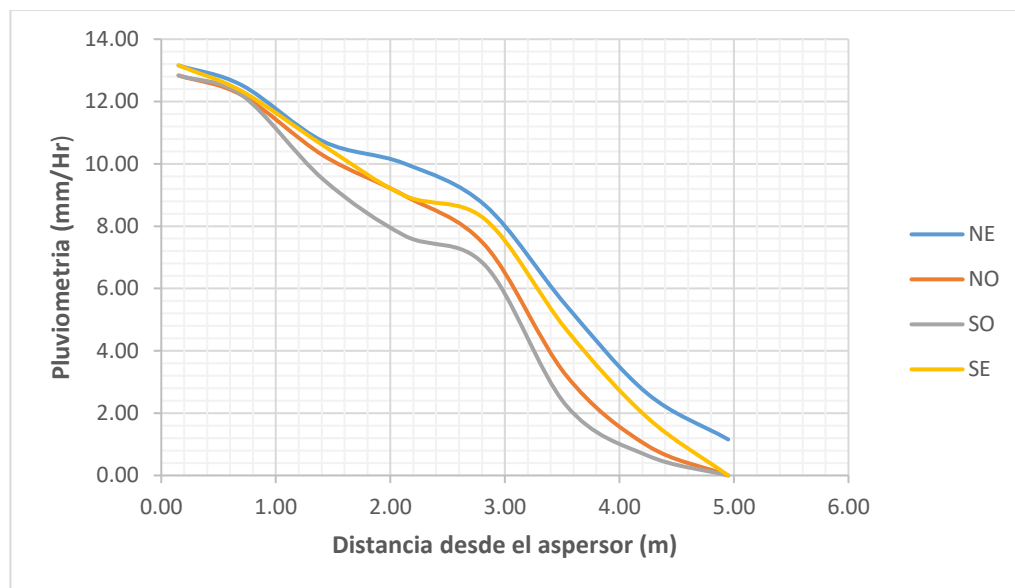
**Figura A 3.** Curva radial y/o modelo de reparto de agua valores de la tabla C 3

Tabla A 4

Valores de la pluviometria recogida en direccion de cuatro radios

Micro aspersor	: Tipo I	Fecha	: 28/11/2017
Boquilla	: 4 mm	Inicio de prueba	: 12:20 pm
Presión	: 0.8 bar	Fin de prueba	: 13:50 pm
Altura del micro aspersor	: 1.0 m	Duración	: 90 min
Distancia entre pluviómetros	: $\sqrt{2}$ m	Velocidad del viento	: 2.2 a 4 m/s
Diámetro de Embocadura	: 11.50 m	Área de Embocadura	: 103.9 cm ²

Distancia (m)	Volumen Colectado Cm ³				Altura de lluvia en mm				Pluviometría (mm/h)			
	Nor Este	Nor Oeste	Sur Este	Sur Oeste	NE	NO	SE	SO	NE	NO	SE	SO
0.15	205	200	208	198	19.74	19.26	20.03	19.06	13.16	12.84	13.35	12.71
0.71	200	185	208	190	19.26	17.81	20.03	18.29	12.84	11.87	13.35	12.19
1.41	172	154	178	150	16.56	14.83	17.14	14.44	11.04	9.88	11.42	9.63
2.12	152	135	165	148	14.63	13.00	15.89	14.25	9.76	8.66	10.59	9.50
2.83	118	130	125	115	11.36	12.52	12.03	11.07	7.57	8.34	8.02	7.38
3.54	48	36	65	45	4.62	9.15	6.26	4.33	3.08	6.10	4.17	2.89
4.24	30	15	45	20	2.41	3.47	4.33	1.93	1.93	0.96	2.89	1.28
4.95	0	0	18	2	0.96	0.77	1.73	0.19	0	0	1.16	0.13

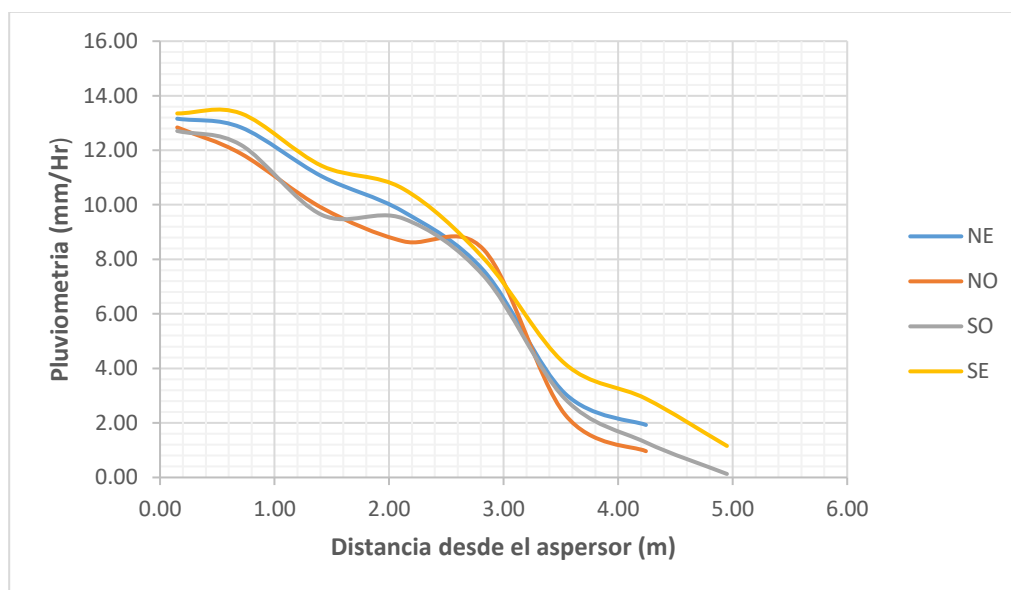


Figura A 4. Curva radial y/o modelo de reparto de agua valores de la tabla C 4

Tabla A 5

Valores de la pluviometria recogida en direccion de cuatro radios

Micro aspersor	: Tipo I	Fecha	: 29/11/2017
Boquilla	: 4 mm	Inicio de prueba	: 8:55 am
Presión	: 0.6 bar	Fin de prueba	: 10:25 am
Altura del micro aspersor	: 1.0 m	Duración	: 90 min
Distancia entre pluviómetros	: $\sqrt{2}$ m	Velocidad del viento	: 0.6 a 1.1 m/s
Diámetro de Embocadura	: 11.50 m	Área de Embocadura	: 103.9 cm ²

Distancia (m)	Volumen Colectado Cm ³				Altura de lluvia en mm				Pluviometría (mm/h)			
	Nor Este	Nor Oeste	Sur Este	Sur Oeste	NE	NO	SE	SO	NE	NO	SE	SO
0.15	230	220	228	218	22.14	21.18	21.95	20.99	14.76	14.12	14.63	13.99
0.71	230	225	225	220	22.14	21.66	21.66	21.18	14.76	14.44	14.44	14.12
1.41	175	167	163	154	16.85	16.08	15.69	14.83	11.23	10.72	10.46	9.88
2.12	165	160	150	130	15.89	15.40	14.44	12.52	10.59	10.27	9.63	8.34
2.83	105	120	94	82	10.11	11.55	9.05	7.89	6.74	7.70	6.03	5.26
3.54	50	30	30	20	4.81	3.85	4.72	3.37	3.21	2.57	3.14	2.25

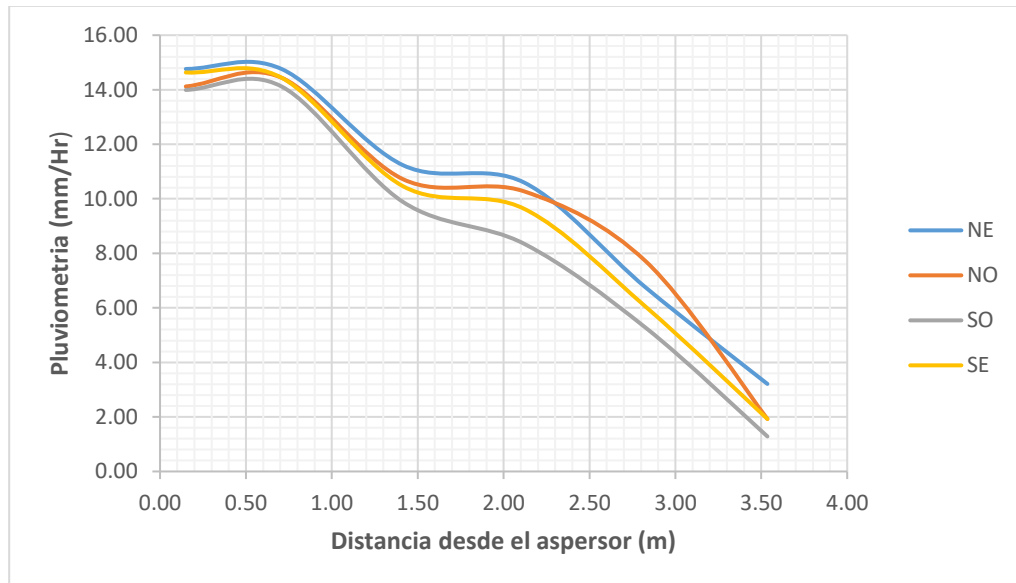


Figura A 5. Curva radial y/o modelo de reparto de agua valores de la tabla C 5

Tabla A 6

Valores de la pluviometría recogida en dirección de cuatro radios

Micro aspersor	: Tipo I	Fecha	: 29/11/2017
Boquilla	: 4 mm	Inicio de prueba	: 13:30 pm
Presión	: 0.6 bar	Fin de prueba	: 15:00 pm
Altura del micro aspersor	: 1.0 m	Duración	: 90 min
Distancia entre pluviómetros	: $\sqrt{22}$ m	Velocidad del viento	: 3.9 a 6.1 m/s
Diámetro de Embocadura	: 11.50 m	Área de Embocadura	: 103.9 cm ²

Distancia (m)	Volumen Colectado Cm ³				Altura de lluvia en mm				Pluviometría (mm/h)			
	Nor Este	Nor Oeste	Sur Este	Sur Oeste	NE	NO	SE	SO	NE	NO	SE	SO
0.15	225	225	230	232	21.66	21.66	22.14	22.34	14.44	14.44	14.76	14.89
0.71	220	222	225	230	21.18	21.37	21.66	22.14	14.12	14.25	14.44	14.76
1.41	158	161	168	170	15.21	15.50	16.17	16.37	10.14	10.33	10.78	10.91
2.12	125	136	136	155	12.03	13.09	13.09	14.92	8.02	8.73	8.73	9.95
2.83	52	70	88	105	5.01	6.74	8.47	10.11	3.34	4.49	5.65	6.74
3.54	30	34	42	49	2.89	3.27	4.04	4.72	1.93	2.18	2.70	3.14
4.24	0	0	12	25	0.39	0.77	1.16	2.41	0	0	0.77	1.60

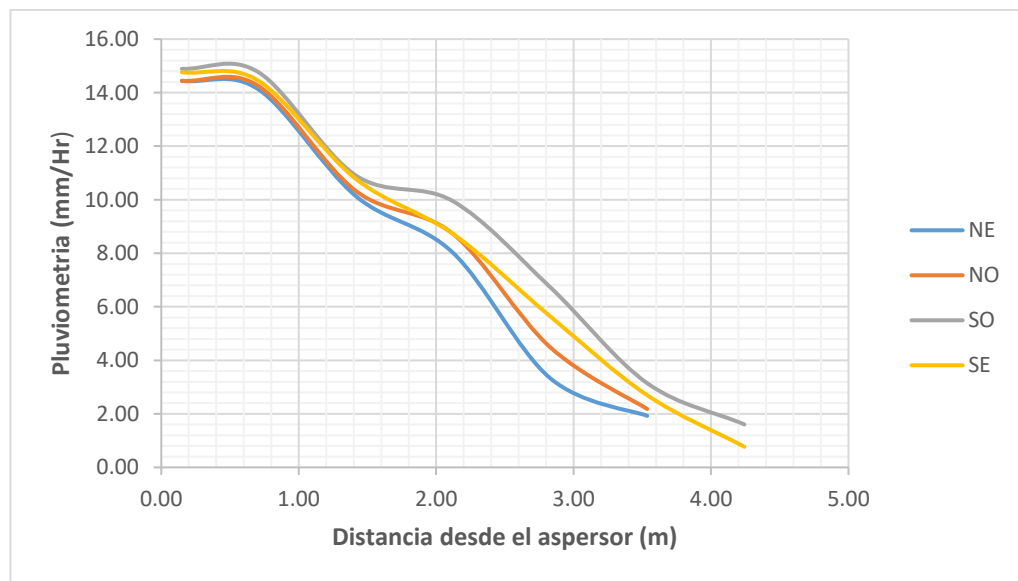


Figura A 6. Curva radial y/o modelo de reparto de agua valores de la tabla C 6

Tabla A 7

Valores de la pluviometria recogida en direccion de cuatro radios

Micro aspersor	: Tipo I	Fecha	: 30/11/2017
Boquilla	: 4 mm	Inicio de prueba	: 9:10 am
Presión	: 1.0 bar	Fin de prueba	: 10:40 am
Altura del micro aspersor	: 0.5 m	Duración	: 90 min
Distancia entre pluviómetros	: $\sqrt{2}$ m	Velocidad del viento	: 1.2 a 1.4 m/s
Diámetro de Embocadura	: 11.50 m	Área de Embocadura	: 103.9 cm ²

Distancia (m)	Volumen Colectado Cm ³				Altura de lluvia en mm				Pluviometría (mm/h)			
	Nor Este	Nor Oeste	Sur Este	Sur Oeste	NE	NO	SE	SO	NE	NO	SE	SO
0.15	190	190	186	188	18.29	18.29	17.91	18.10	12.19	12.19	11.94	12.07
0.71	182	185	180	180	17.52	17.81	17.33	17.33	11.68	11.87	11.55	11.55
1.41	162	167	150	165	15.60	16.08	14.44	15.89	10.40	10.72	9.63	10.59
2.12	127	135	117	125	12.23	13.00	11.26	12.03	8.15	8.66	7.51	8.02
2.83	82	90	65	70	7.89	8.66	6.26	6.74	5.26	5.78	4.17	4.49
3.54	75	87	56	62	7.22	8.38	5.39	5.97	4.81	5.58	3.59	3.98
4.24	42	50	18	28	4.04	4.81	1.73	2.70	2.70	3.21	1.16	1.80

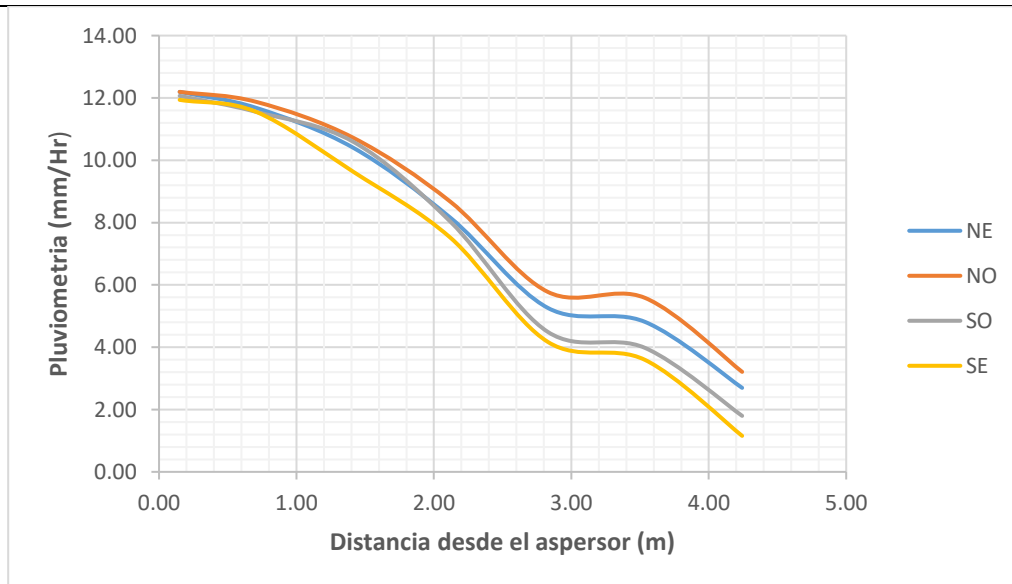


Figura A 7. Curva radial y/o modelo de reparto de agua valores de la tabla C 7

Tabla A 8*Valores de la pluviometría recogida en dirección de cuatro radios*

Micro aspersor	: Tipo I	Fecha	: 30/11/2017
Boquilla	: 4 mm	Inicio de prueba	: 13:45 pm
Presión	: 1.0 bar	Fin de prueba	: 15:15 pm
Altura del micro aspersor	: 0.5 m	Duración	: 90 min
Distancia entre pluviómetros	: $\sqrt{2}$ m	Velocidad del viento	: 6 a 6.7 m/s
Diámetro de Embocadura	: 11.50 m	Área de Embocadura	: 103.9 cm ²

Distancia (m)	Volumen Colectado Cm ³				Altura de lluvia en mm				Pluviometría (mm/h)			
	Nor Este	Nor Oeste	Sur Este	Sur Oeste	NE	NO	SE	SO	NE	NO	SE	SO
0.15	194	195	200	208	18.68	18.77	19.26	20.03	12.45	12.52	12.84	13.35
0.71	185	192	190	197	17.81	18.48	18.29	18.97	11.87	12.32	12.19	12.64
1.41	172	180	188	192	16.56	17.33	18.10	18.48	11.04	11.55	12.07	12.32
2.12	105	110	134	142	10.11	10.59	12.90	13.67	6.74	7.06	8.60	9.11
2.83	80	72	100	104	7.70	6.93	9.63	10.01	5.13	4.62	6.42	6.68
3.54	32	44	82	94	3.08	4.24	7.89	9.05	2.05	2.82	5.26	6.03
4.24	12	25	55	72	1.16	2.41	5.30	6.93	0.77	1.60	3.53	4.62
4.95				42	0.00	0.00	0.00	4.04				2.70

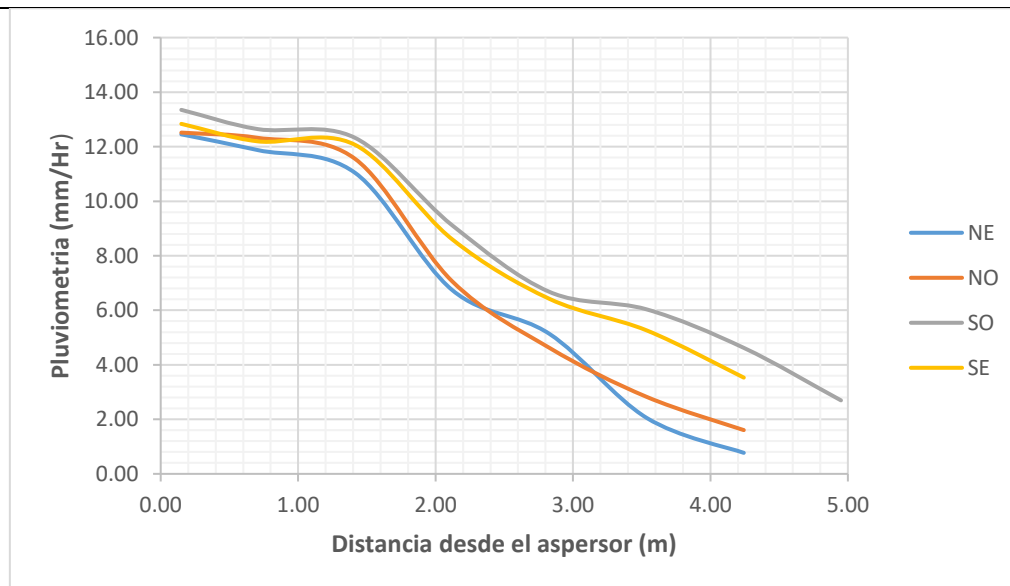
**Figura A 8.** Curva radial y/o modelo de reparto de agua valores de la tabla C 8

Tabla A 9

Valores de la pluviometria recogida en direccion de cuatro radios

Micro aspersor	: Tipo I	Fecha	: 01/12/2017
Boquilla	: 4 mm	Inicio de prueba	: 8:40 am
Presión	: 0.8 bar	Fin de prueba	: 10:10 am
Altura del micro aspersor	: 0.5 m	Duración	: 90 min
Distancia entre pluviómetros	: $\sqrt{22}$ m	Velocidad del viento	: 0.7 a 1.4 m/s
Diámetro de Embocadura	: 11.50 m	Área de Embocadura	: 103.9 cm ²

Distancia (m)	Volumen Colectado Cm ³				Altura de lluvia en mm				Pluviometría (mm/h)			
	Nor Este	Nor Oeste	Sur Este	Sur Oeste	NE	NO	SE	SO	NE	NO	SE	SO
0.15	200	196	196	193	19.26	18.87	18.87	18.58	12.84	12.58	12.58	12.39
0.71	195	192	190	190	18.77	18.48	18.29	18.29	12.52	12.32	12.19	12.19
1.41	182	175	170	168	17.52	16.85	16.37	16.17	11.68	11.23	10.91	10.78
2.12	152	144	140	132	14.63	13.86	13.48	12.71	9.76	9.24	8.99	8.47
2.83	134	128	122	115	12.90	12.32	11.75	11.07	8.60	8.22	7.83	7.38
3.54	75	60	58	45	7.22	5.78	5.58	4.33	4.81	3.85	3.72	2.89
4.24	32	26	12	9	3.08	2.50	1.16	0.87	2.05	1.67	0.77	0.58

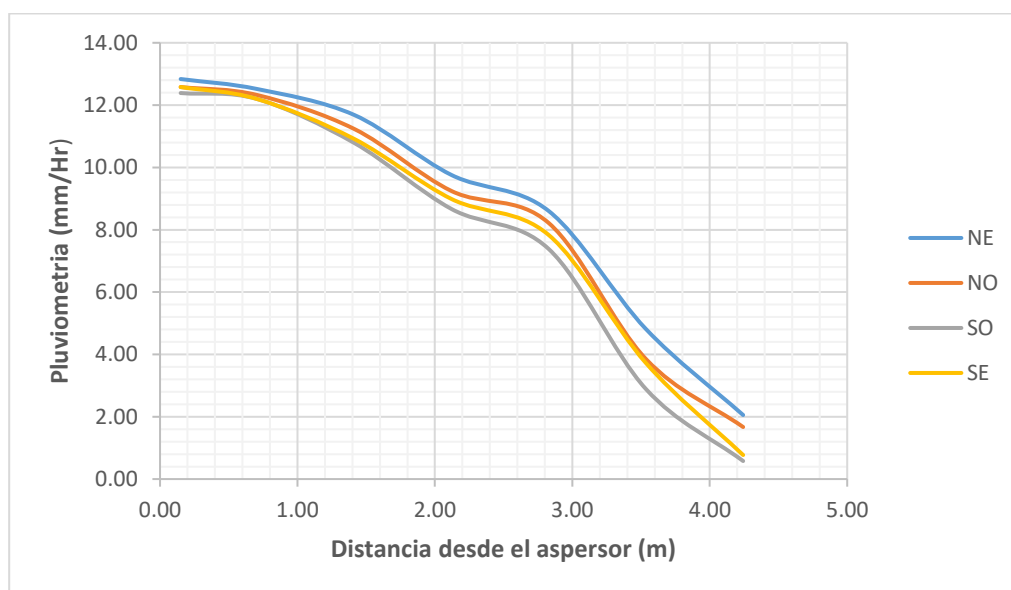


Figura A 9. Curva radial y/o modelo de reparto de agua valores de la tabla C 9

Tabla A 10

Valores de la pluviometria recogida en direccion de cuatro radios

Micro aspersor	: Tipo I	Fecha	: 01/12/2017
Boquilla	: 4 mm	Inicio de prueba	: 13:15 pm
Presión	: 0.8 bar	Fin de prueba	: 14:45 pm
Altura del micro aspersor	: 0.5 m	Duración	: 90 min
Distancia entre pluviómetros	: $\sqrt{22}$ m	Velocidad del viento	: 2.9 a 7.4 m/s
Diámetro de Embocadura	: 11.50 m	Área de Embocadura	: 103.9 cm ²

Distancia (m)	Volumen Colectado Cm ³				Altura de lluvia en mm				Pluviometría (mm/h)			
	Nor Este	Nor Oeste	Sur Este	Sur Oeste	NE	NO	SE	SO	NE	NO	SE	SO
0.15	195	198	200	205	18.77	19.06	19.26	19.74	12.52	12.71	12.84	13.16
0.71	188	195	192	197	18.10	18.77	18.48	18.97	12.07	12.52	12.32	12.64
1.41	158	168	175	185	15.21	16.17	16.85	17.81	10.14	10.78	11.23	11.87
2.12	135	147	145	158	13.00	14.15	13.96	15.21	8.66	9.43	9.31	10.14
2.83	104	131	120	143	10.01	12.61	11.55	13.77	6.68	8.41	7.70	9.18
3.54	23	42	57	75	2.21	4.04	5.49	7.22	1.48	2.70	3.66	4.81
4.24	6	18	24	42	0.58	1.73	2.31	4.04	0.39	1.16	1.54	2.70

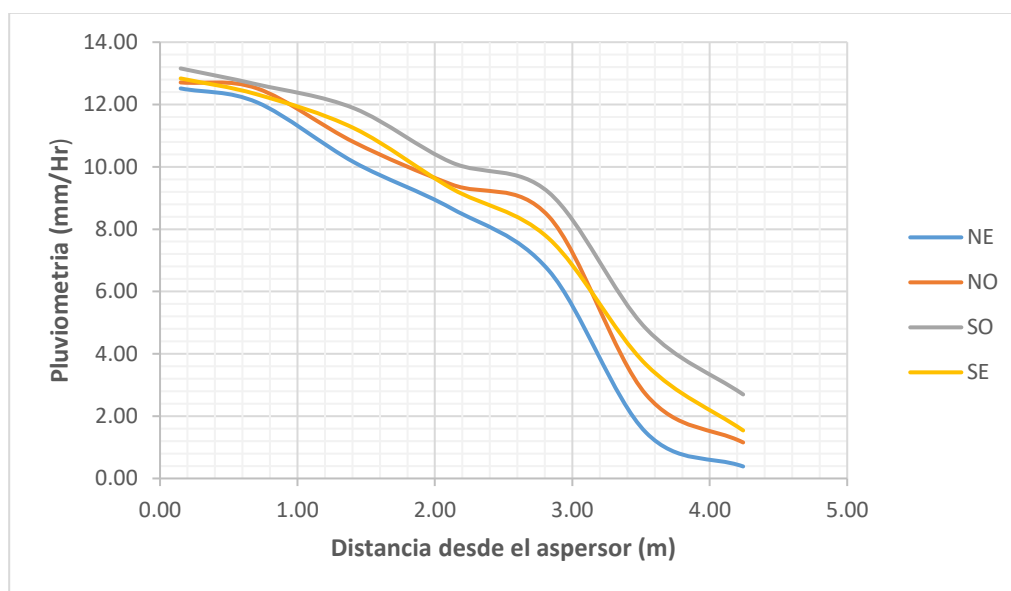


Figura A 10. Curva radial y/o modelo de reparto de agua valores de la tabla C 10

Tabla A 11

Valores de la pluviometria recogida en direccion de cuatro radios

Micro aspersor	: Tipo I	Fecha	: 02/12/2017
Boquilla	: 4 mm	Inicio de prueba	: 9:00 am
Presión	: 0.6 bar	Fin de prueba	: 10:30 am
Altura del micro aspersor	: 0.5 m	Duración	: 90 min
Distancia entre pluviómetros	: $\sqrt{2}$ m	Velocidad del viento	: 2 a 2.7 m/s
Diámetro de Embocadura	: 11.50 m	Área de Embocadura	: 103.9 cm ²

Distancia (m)	Volumen Colectado Cm ³				Altura de lluvia en mm				Pluviometría (mm/h)			
	Nor Este	Nor Oeste	Sur Este	Sur Oeste	NE	NO	SE	SO	NE	NO	SE	SO
0.15	235	232	230	225	22.62	22.34	22.14	21.66	15.08	14.89	14.76	14.44
0.71	230	228	230	225	22.14	21.95	22.14	21.66	14.76	14.63	14.76	14.44
1.41	205	200	192	190	19.74	19.26	18.48	18.29	13.16	12.84	12.32	12.19
2.12	200	194	185	180	19.26	18.68	17.81	17.33	12.84	12.45	11.87	11.55
2.83	154	158	149	144	14.83	15.21	14.35	13.86	9.88	10.14	9.56	9.24

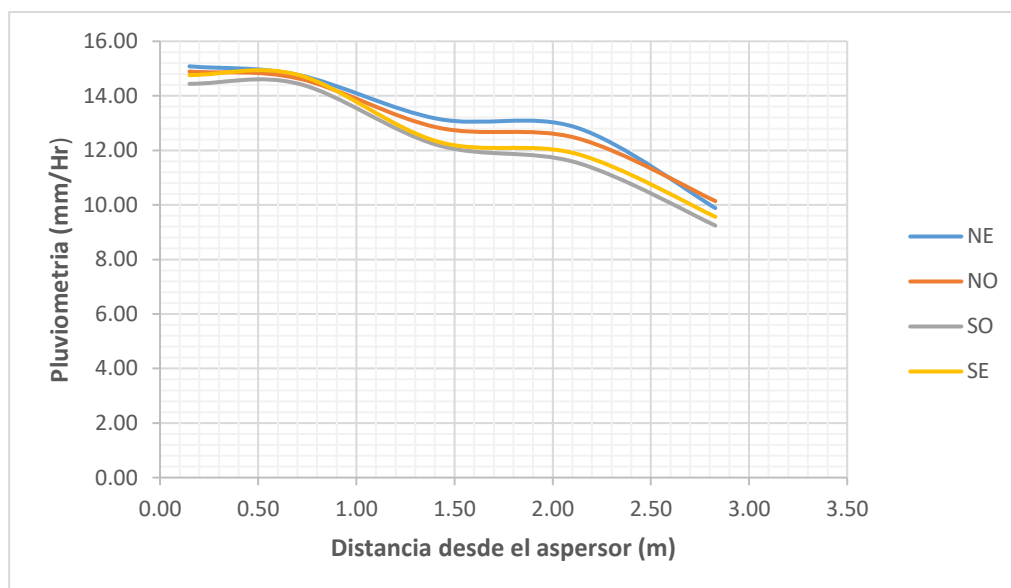


Figura A 11. Curva radial y/o modelo de reparto de agua valores de la tabla C 11

Tabla A 12*Valores de la pluviometria recogida en direccion de cuatro radios*

Micro aspersor	: Tipo I	Fecha	: 02/12/2017
Boquilla	: 4 mm	Inicio de prueba	: 13:00 pm
Presión	: 0.6 bar	Fin de prueba	: 14:30 pm
Altura del micro aspersor	: 0.5 m	Duración	: 90 min
Distancia entre pluviómetros	: $\sqrt{2}$ m	Velocidad del viento	: 4.6 a 5.6 m/s
Diámetro de Embocadura	: 11.50 m	Área de Embocadura	: 103.9 cm ²

Distancia (m)	Volumen Colectado Cm ³				Altura de lluvia en mm				Pluviometría (mm/h)			
	Nor Este	Nor Oeste	Sur Este	Sur Oeste	NE	NO	SE	SO	NE	NO	SE	SO
0.15	235	232	235	235	22.62	22.34	22.62	22.62	15.08	14.89	15.08	15.08
0.71	228	225	232	230	21.95	21.66	22.34	22.14	14.63	14.44	14.89	14.76
1.41	200	185	218	210	19.26	17.81	20.99	20.22	12.84	11.87	13.99	13.48
2.12	186	170	215	205	17.91	16.37	20.70	19.74	11.94	10.91	13.80	13.16
2.83	152	142	179	170	14.63	13.67	17.23	16.37	9.76	9.11	11.49	10.91
3.54			95	63			9.15	6.07			6.10	4.04

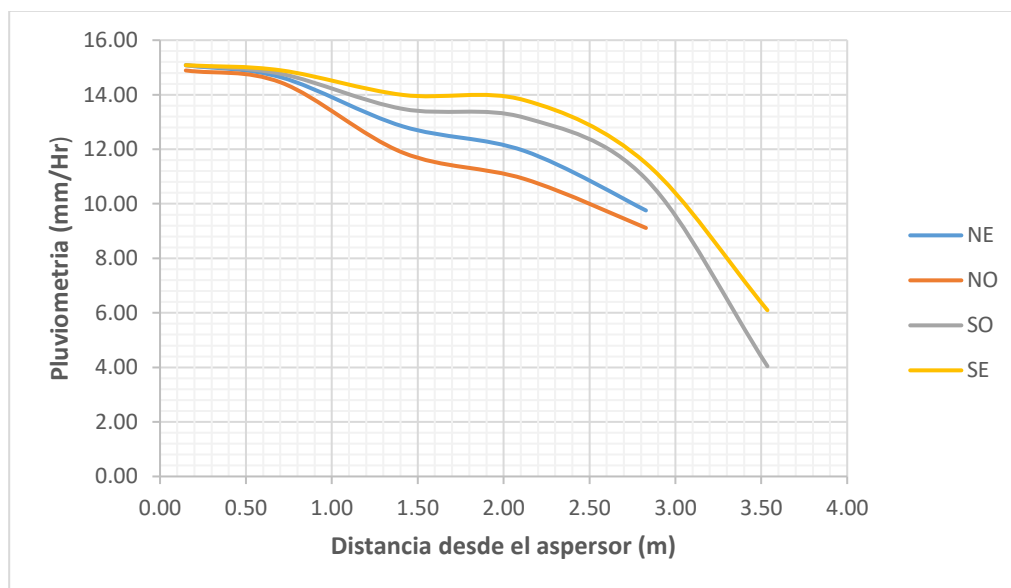
**Figura A 12.** Curva radial y/o modelo de reparto de agua valores de la tabla C 12

Tabla A 13*Valores de la pluviometria recogida en direccion de cuatro radios*

Micro aspersor	: Tipo II	Fecha	: 04/12/2017
Boquilla	: 5 mm	Inicio de prueba	: 8:50 am
Presión	: 1.2 bar	Fin de prueba	: 10:20 am
Altura del micro aspersor	: 1.0 m	Duración	: 90 min
Distancia entre pluviómetros	: $\sqrt{2}$ m	Velocidad del viento	1 a 1.4 m/s
Diámetro Embocadura	: 11.50 m	Área de Embocadura	: 103.87 cm ²

Distancia (m)	Volumen Colectado Cm ³				Altura de lluvia en mm				Pluviometría (mm/h)			
	Nor Este	Nor Oeste	Sur Este	Sur Oeste	NE	NO	SE	SO	NE	NO	SE	SO
0.15	260	258	250	248	25.03	24.84	24.07	23.88	16.69	16.56	16.05	15.92
0.71	250	245	240	238	24.07	23.59	23.11	22.91	16.05	15.72	15.40	15.28
1.41	234	229	224	222	22.53	22.05	21.57	21.37	15.02	14.70	14.38	14.25
2.12	200	195	195	180	19.26	18.77	18.77	17.33	12.84	12.52	12.52	11.55
2.83	185	175	172	165	17.81	16.85	16.56	15.89	11.87	11.23	11.04	10.59
3.54	153	140	147	130	14.73	13.48	14.15	12.52	9.82	8.99	9.43	8.34
4.24	75	52	65	50	7.22	5.01	6.26	4.81	4.81	3.34	4.17	3.21
4.95	55	40	30	20	5.30	3.85	2.89	1.93	3.53	2.57	1.93	1.28
5.66	42	30	15	10	4.04	2.89	1.44	0.96	2.70	1.93	0.96	0.64
6.36	22	8			2.12	0.77	0.00	0.00	1.41	0.51		

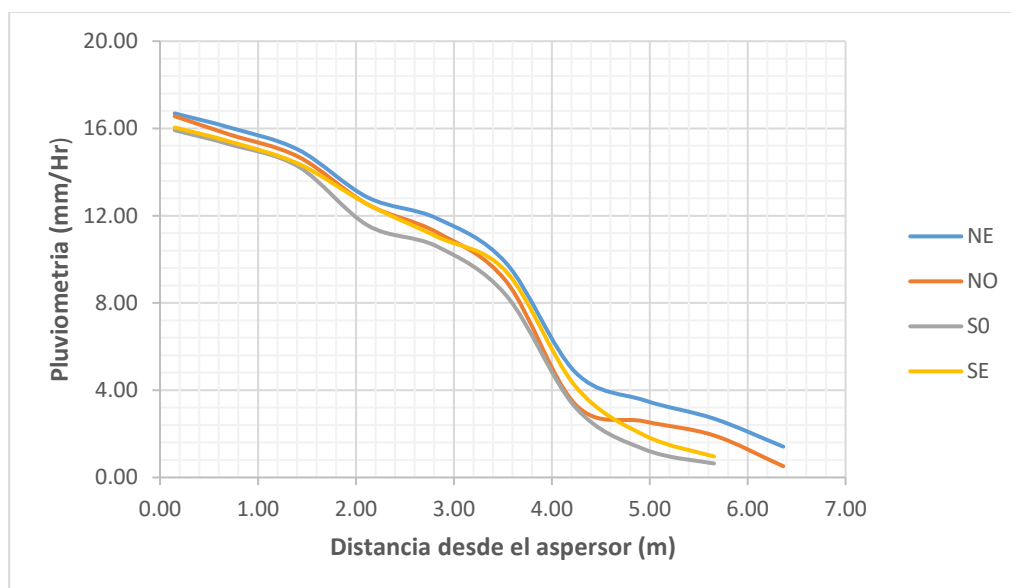
**Figura A 13.** Curva radial y/o modelo de reparto de agua valores de la tabla C 13

Tabla A 14

Valores de la pluviometría recogida en dirección de cuatro radios

Micro aspersor	: Tipo II	Fecha	: 04/12/2017
Boquilla	: 5 mm	Inicio de prueba	: 13:10 pm
Presión	: 1.2 bar	Fin de prueba	: 14:40 pm
Altura del micro aspersor	: 1.0 m	Duración	: 90 min
Distancia entre pluviómetros	: $\sqrt{2}$ m	Velocidad del viento	: 5.1 a 6.4 m/s
Diámetro Embocadura	: 11.50 m	Área de Embocadura	: 103.87 cm ²

Distancia (m)	Volumen Colectado Cm ³				Altura de lluvia en mm				Pluviometría (mm/h)			
	Nor Este	Nor Oeste	Sur Este	Sur Oeste	NE	NO	SE	SO	NE	NO	SE	SO
0.15	260	250	250	248	25.03	24.07	24.07	23.88	16.69	16.05	16.05	15.92
0.71	245	238	260	250	23.59	22.91	25.03	24.07	15.72	15.28	16.69	16.05
1.41	220	212	224	208	21.18	20.41	21.57	20.03	14.12	13.61	14.38	13.35
2.12	187	172	208	203	18.00	16.56	20.03	19.54	12.00	11.04	13.35	13.03
2.83	175	165	180	180	16.85	15.89	17.33	17.33	11.23	10.59	11.55	11.55
3.54	122	139	161	148	11.75	13.38	15.50	14.25	7.83	8.92	10.33	9.50
4.24	55	56	75	60	5.30	5.39	7.22	5.78	3.53	3.59	4.81	3.85
4.95	27	7	63	38	2.60	0.67	6.07	3.66	1.73	0.45	4.04	2.44
5.66	2	0	35	22	0.19	0.00	3.37	2.12	0.13		2.25	1.41
6.36			25	10	0.00	0.00	2.41	0.96			1.60	0.64

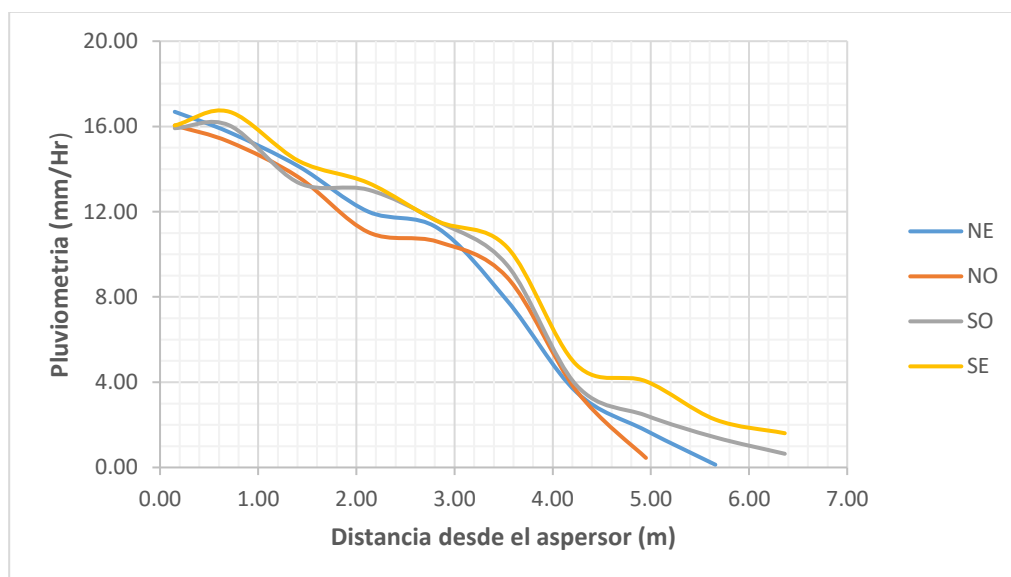


Figura A 14. Curva radial y/o modelo de reparto de agua valores de la tabla C 14

Tabla A 15

Valores de la pluviometría recogida en dirección de cuatro radios

Micro aspersor	: Tipo II	Fecha	: 05/12/2017
Boquilla	: 5 mm	Inicio de prueba	: 8:30 am
Presión	: 1.0 bar	Fin de prueba	: 10:00 am
Altura del micro aspersor	: 1.0 m	Duración	: 90 min
Distancia entre pluviómetros	: $\sqrt{2}$ m	Velocidad del viento	0.7 a 1.4 m/s
Diámetro Embocadura	: 11.50 m	Área de Embocadura	: 103.87 cm ²

Distancia (m)	Volumen Colectado Cm ³				Altura de lluvia en mm				Pluviometría (mm/h)			
	Nor Este	Nor Oeste	Sur Este	Sur Oeste	NE	NO	SE	SO	NE	NO	SE	SO
0.15	282	275	269	268	27.15	26.48	25.90	25.80	18.10	17.65	17.27	17.20
0.71	280	275	270	270	26.96	26.48	25.99	25.99	17.97	17.65	17.33	17.33
1.41	270	262	265	260	25.99	25.22	25.51	25.03	17.33	16.82	17.01	16.69
2.12	240	223	235	215	23.11	21.47	22.62	20.70	15.40	14.31	15.08	13.80
2.83	195	175	185	170	18.77	16.85	17.81	16.37	12.52	11.23	11.87	10.91
3.54	168	160	160	125	16.17	15.40	15.40	12.03	10.78	10.27	10.27	8.02
4.24	100	95	92	75	9.63	9.15	8.86	7.22	6.42	6.10	5.90	4.81
4.95	45	35	30	15	4.33	3.37	2.89	1.44	2.89	2.25	1.93	0.96
5.66	8	5	0	0	0.77	0.48	0.00	0.00	0.51	0.32		

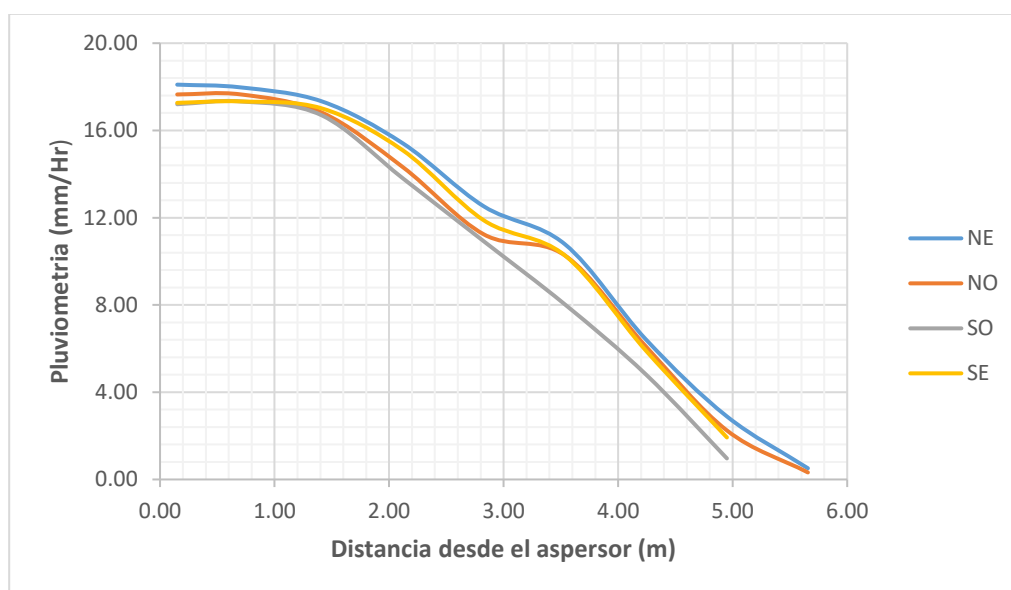


Figura A 15. Curva radial y/o modelo de reparto de agua valores de la tabla C 15

Tabla A 16

Valores de la pluviometría recogida en dirección de cuatro radios

Micro aspersor	: Tipo II	Fecha	: 05/12/2017
Boquilla	: 5 mm	Inicio de prueba	: 12:40 pm
Presión	: 1.0 bar	Fin de prueba	: 14:10 pm
Altura del micro aspersor	: 1.0 m	Duración	: 90 min
Distancia entre pluviómetros	: $\sqrt{2}$ m	Velocidad del viento	: 1 a 2.9 m/s
Diámetro Embocadura	: 11.50 m	Área de Embocadura	: 103.87 cm ²

Distancia (m)	Volumen Colectado Cm ³				Altura de lluvia en mm				Pluviometría (mm/h)			
	Nor Este	Nor Oeste	Sur Este	Sur Oeste	NE	NO	SE	SO	NE	NO	SE	SO
0.15	280	275	285	282	26.96	26.48	27.44	27.15	17.97	17.65	18.29	18.10
0.71	272	275	280	282	26.19	26.48	26.96	27.15	17.46	17.65	17.97	18.10
1.41	266	262	265	260	25.61	25.22	25.51	25.03	17.07	16.82	17.01	16.69
2.12	210	215	240	242	20.22	20.70	23.11	23.30	13.48	13.80	15.40	15.53
2.83	160	172	198	182	15.40	16.56	19.06	17.52	10.27	11.04	12.71	11.68
3.54	129	145	182	155	12.42	13.96	17.52	14.92	8.28	9.31	11.68	9.95
4.24	92	95	115	105	8.86	9.15	11.07	10.11	5.90	6.10	7.38	6.74
4.95	16	15	30	39	1.54	1.44	2.89	3.75	1.03	0.96	1.93	2.50
5.66	0	0	15	18	0.00	0.00	1.44	1.73			0.96	

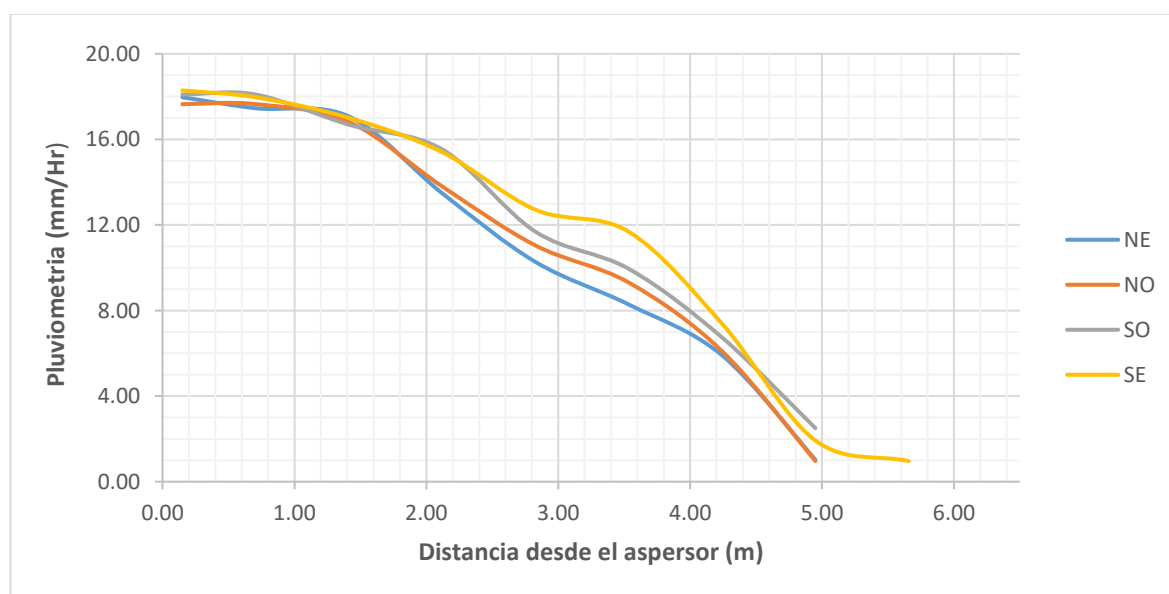


Figura A 16. Curva radial y/o modelo de reparto de agua valores de la tabla C 16

Tabla A 17*Valores de la pluviometria recogida en direccion de cuatro radios*

Micro aspersor	: Tipo II	Fecha	: 06/12/2017
Boquilla	: 5 mm	Inicio de prueba	: 8:20 am
Presión	: 0.8 bar	Fin de prueba	: 9:50 am
Altura del micro aspersor	: 1.0 m	Duración	: 90 min
Distancia entre pluviómetros	: $\sqrt{2}$ m	Velocidad del viento	: 2.2 a 2.6 m/s
			: 103.87 cm ²
Diámetro Embocadura	: 11.50 m	Área de Embocadura	

Distancia (m)	Volumen Colectado Cm ³				Altura de lluvia en mm				Pluviometría (mm/h)			
	Nor Este	Nor Oeste	Sur Este	Sur Oeste	NE	NO	SE	SO	NE	NO	SE	SO
0.15	295	290	295	300	28.40	27.92	28.40	28.88	18.93	18.61	18.93	19.26
0.71	300	295	292	290	28.88	28.40	28.11	27.92	19.26	18.93	18.74	18.61
1.41	275	270	262	255	26.48	25.99	25.22	24.55	17.65	17.33	16.82	16.37
2.12	270	265	252	250	25.99	25.51	24.26	24.07	17.33	17.01	16.17	16.05
2.83	200	198	190	182	19.26	19.06	18.29	17.52	12.84	12.71	12.19	11.68
3.54	130	124	115	110	12.52	11.94	11.07	10.59	8.34	7.96	7.38	7.06
4.24	54	48	44	41	5.20	4.62	4.24	3.95	3.47	3.08	2.82	2.63
4.95	22	12	0	0	2.12	1.16	0.00	0.00	1.41	0.77		

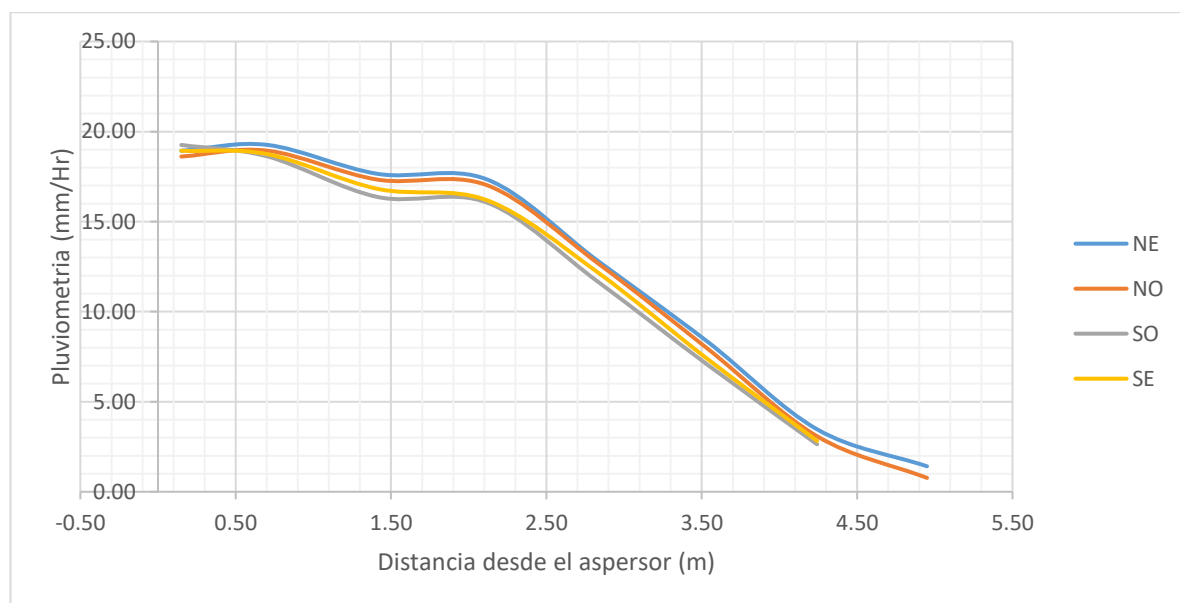
**Figura A 17.** Curva radial y/o modelo de reparto de agua valores de la tabla C 17

Tabla A 18*Valores de la pluviometria recogida en direccion de cuatro radios*

Micro aspersor	: Tipo II	Fecha	: 06/12/2017
Boquilla	: 5 mm	Inicio de prueba	: 13:00 pm
Presión	: 0.8 bar	Fin de prueba	: 14:30 pm
Altura del micro aspersor	: 1.0 m	Duración	: 90 min
Distancia entre pluviómetros	: $\sqrt{2}$ m	Velocidad del viento	: 2.2 a 3.3 m/s
Diámetro Embocadura	: 11.50 m	Área de Embocadura	: 103.87 cm ²

Distancia (m)	Volumen Colectado Cm ³				Altura de lluvia en mm				Pluviometría (mm/h)			
	Nor Este	Nor Oeste	Sur Este	Sur Oeste	NE	NO	SE	SO	NE	NO	SE	SO
0.15	290	285	290	296	27.92	27.44	27.92	28.50	18.61	18.29	18.61	19.00
0.71	290	290	293	298	27.92	27.92	28.21	28.69	18.61	18.61	18.81	19.13
1.41	240	262	262	278	23.11	25.22	25.22	26.76	15.40	16.82	16.82	17.84
2.12	244	250	260	265	23.49	24.07	25.03	25.51	15.66	16.05	16.69	17.01
2.83	185	188	195	205	17.81	18.10	18.77	19.74	11.87	12.07	12.52	13.16
3.54	115	124	120	128	11.07	11.94	11.55	12.32	7.38	7.96	7.70	8.22
4.24	18	25	35	52	1.73	2.41	3.37	5.01	1.16	1.60	2.25	3.34
4.95	0	0	16	25	0.00	0.00	1.54	2.41			1.03	1.60

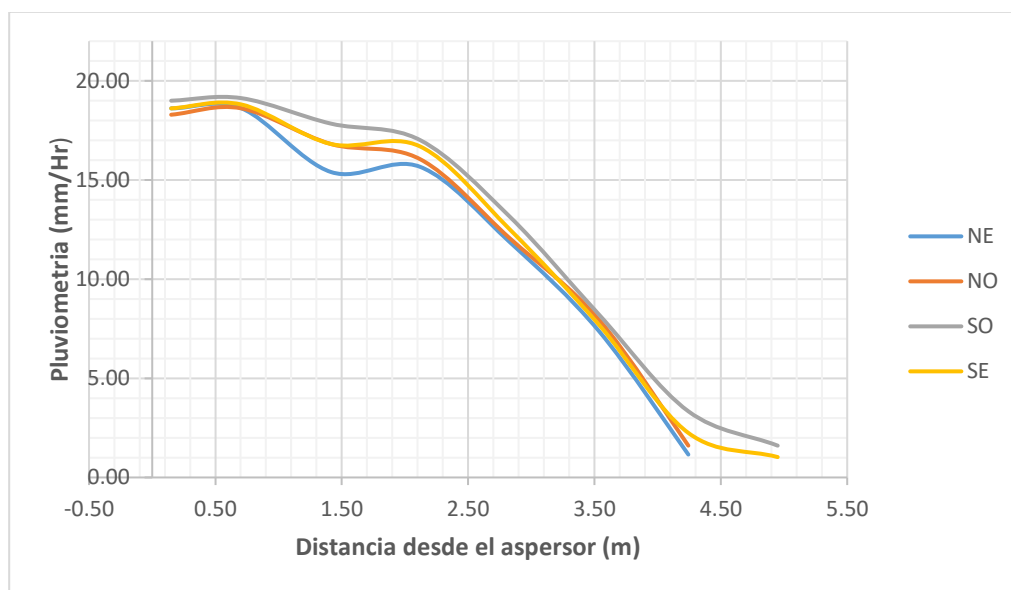
**Figura A 18.** Curva radial y/o modelo de reparto de agua valores de la tabla C 18

Tabla A 19

Valores de la pluviometría recogida en dirección de cuatro radios

Micro aspersor	: Tipo II	Fecha	: 07/12/2017
Boquilla	: 5 mm	Inicio de prueba	: 8:25 am
Presión	: 1.2 bar	Fin de prueba	: 9:55 am
Altura del micro aspersor	: 0.5 m	Duración	: 90 min
Distancia entre pluviómetros	: $\sqrt{2}$ m	Velocidad del viento	: 1.9 a 2.1 m/s
Diámetro Embocadura	: 11.50 m	Área de Embocadura	: 103.87 cm ²

Distancia (m)	Volumen Colectado Cm ³				Altura de lluvia en mm				Pluviometría (mm/h)			
	Nor Este	Nor Oeste	Sur Este	Sur Oeste	NE	NO	SE	SO	NE	NO	SE	SO
0.15	280	260	252	265	26.96	25.03	24.26	25.51	17.97	16.69	16.17	17.01
0.71	278	254	260	256	26.76	24.45	25.03	24.65	17.84	16.30	16.69	16.43
1.41	245	235	230	225	23.59	22.62	22.14	21.66	15.72	15.08	14.76	14.44
2.12	208	204	205	200	20.03	19.64	19.74	19.26	13.35	13.09	13.16	12.84
2.83	190	185	180	168	18.29	17.81	17.33	16.17	12.19	11.87	11.55	10.78
3.54	165	148	135	128	15.89	14.25	13.00	12.32	10.59	9.50	8.66	8.22
4.24	85	60	48	40	8.18	5.78	4.62	3.85	5.46	3.85	3.08	2.57
4.95	64	39	25	20	6.16	3.75	2.41	1.93	4.11	2.50	1.60	1.28
5.66	24	15	0	0	2.31	1.44	0.00	0.00	1.54	0.96		

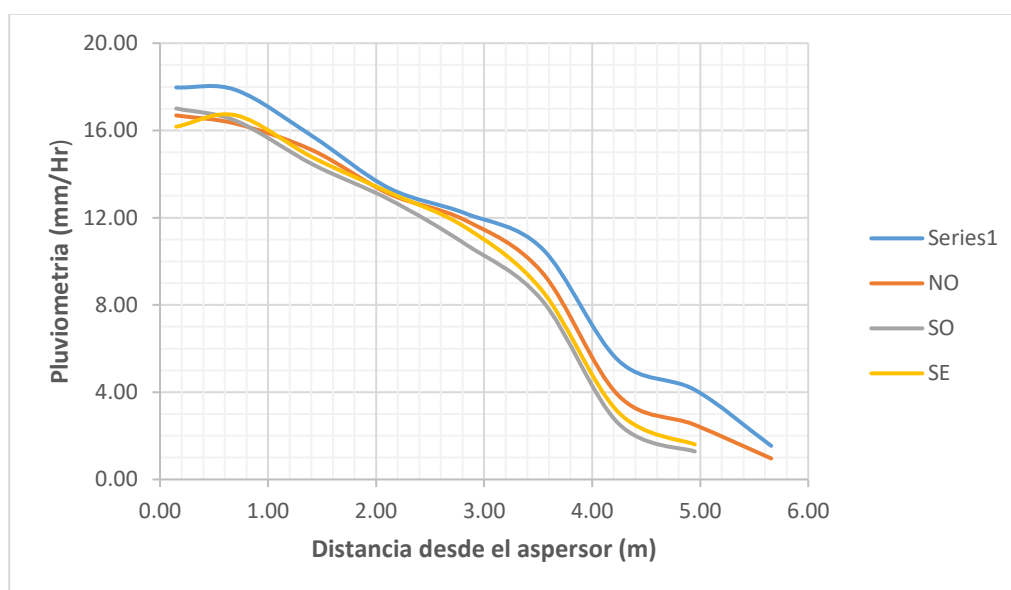


Figura A 19. Curva radial y/o modelo de reparto de agua valores de la tabla C 19

Tabla A 20

Valores de la pluviometría recogida en dirección de cuatro radios

Micro aspersor	: Tipo II	Fecha	: 07/12/2017
Boquilla	: 5 mm	Inicio de prueba	: 13:50 pm
Presión	: 1.2 bar	Fin de prueba	: 15:20 pm
Altura del micro aspersor	: 0.5 m	Duración	: 90 min
Distancia entre pluviómetros	: $\sqrt{2}$ m	Velocidad del viento	: 4.2 a 5.5 m/s
Diámetro Embocadura	: 11.50 m	Área de Embocadura	: 103.87 cm ²

Distancia (m)	Volumen Colectado Cm ³				Altura de lluvia en mm				Pluviometría (mm/h)			
	Nor Este	Nor Oeste	Sur Este	Sur Oeste	NE	NO	SE	SO	NE	NO	SE	SO
0.15	265	267	254	262	25.51	25.71	24.45	25.22	17.01	17.14	16.30	16.82
0.71	250	255	255	265	24.07	24.55	24.55	25.51	16.05	16.37	16.37	17.01
1.41	225	220	230	236	21.66	21.18	22.14	22.72	14.44	14.12	14.76	15.15
2.12	179	184	205	210	17.23	17.71	19.74	20.22	11.49	11.81	13.16	13.48
2.83	162	172	180	190	15.60	16.56	17.33	18.29	10.40	11.04	11.55	12.19
3.54	136	115	140	153	13.09	11.07	13.48	14.73	8.73	7.38	8.99	9.82
4.24	62	52	65	90	5.97	5.01	6.26	8.66	3.98	3.34	4.17	5.78
4.95	16	24	50	75	1.54	2.31	4.81	7.22	1.03	1.54	3.21	4.81
5.66	0	0	20	30	0.00	0.00	1.93	2.89			1.28	1.93

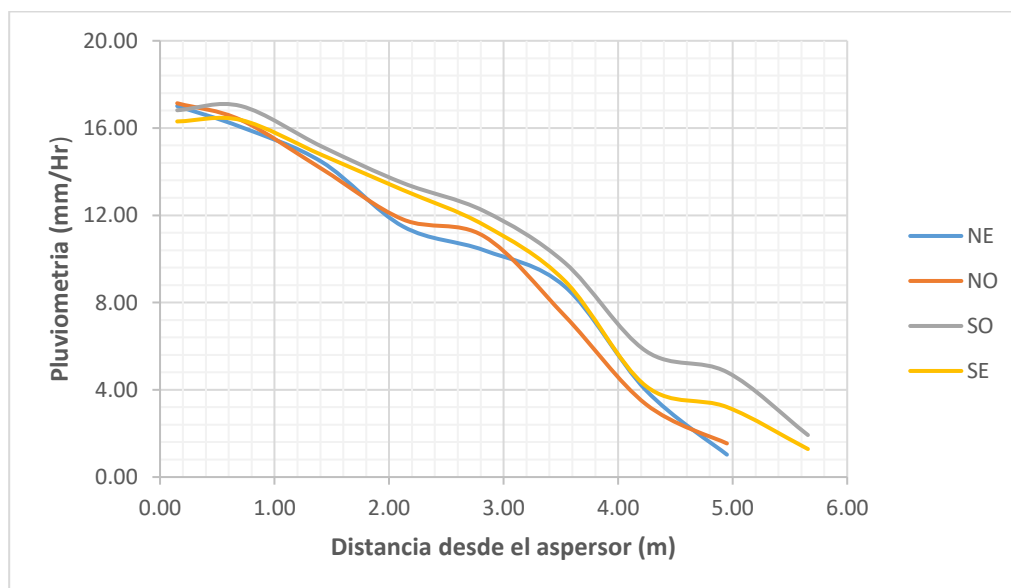


Figura A 20. Curva radial y/o modelo de reparto de agua valores de la tabla C 20

Tabla A 21*Valores de la pluviometria recogida en direccion de cuatro radios*

Micro aspersor	: Tipo II	Fecha	: 11/12/2017
Boquilla	: 5 mm	Inicio de prueba	: 8:40 am
Presión	: 1.0 bar	Fin de prueba	: 10:10 am
Altura del micro aspersor	: 0.5 m	Duración	: 90 min
Distancia entre pluviómetros	: $\sqrt{2}$ m	Velocidad del viento	0.8 a 1 m/s
Diámetro Embocadura	: 11.50 m	Área de Embocadura	: 103.87 cm ²

Distancia (m)	Volumen Colectado Cm ³				Altura de lluvia en mm				Pluviometría (mm/h)			
	Nor Este	Nor Oeste	Sur Este	Sur Oeste	NE	NO	SE	SO	NE	NO	SE	SO
0.15	298	295	290	285	28.69	28.40	27.92	27.44	19.13	18.93	18.61	18.29
0.71	295	292	292	288	28.40	28.11	28.11	27.73	18.93	18.74	18.74	18.48
1.41	282	278	280	275	27.15	26.76	26.96	26.48	18.10	17.84	17.97	17.65
2.12	270	260	260	250	25.99	25.03	25.03	24.07	17.33	16.69	16.69	16.05
2.83	195	190	185	180	18.77	18.29	17.81	17.33	12.52	12.19	11.87	11.55
3.54	152	140	135	125	14.63	13.48	13.00	12.03	9.76	8.99	8.66	8.02
4.24	84	80	76	72	8.09	7.70	7.32	6.93	5.39	5.13	4.88	4.62

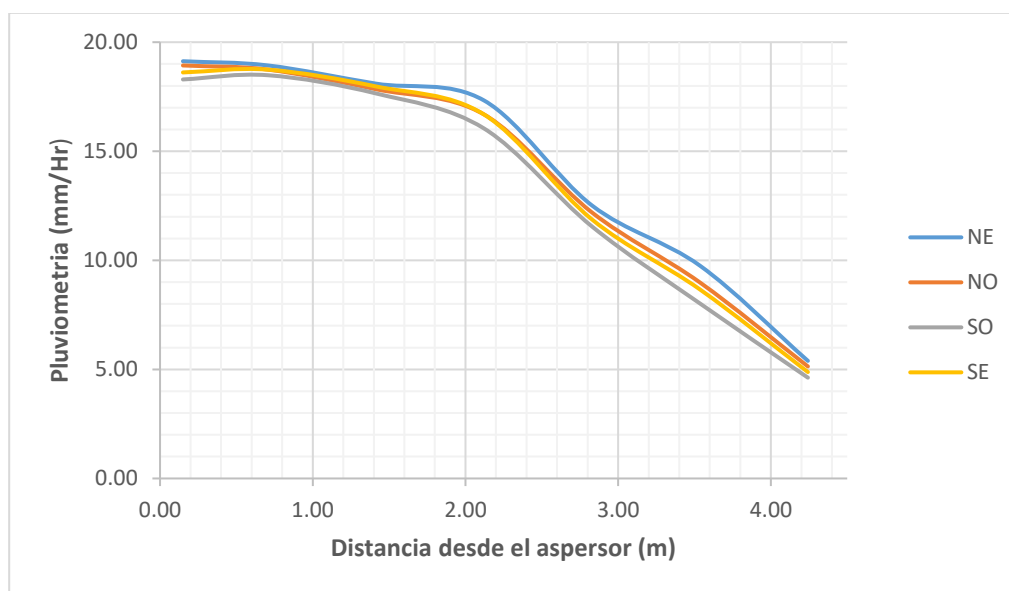
**Figura A 21.** Curva radial y/o modelo de reparto de agua valores de la tabla C 21

Tabla A 22*Valores de la pluviometria recogida en direccion de cuatro radios*

Micro aspersor	: Tipo II	Fecha	: 11/12/2017
Boquilla	: 5 mm	Inicio de prueba	: 13:45 pm
Presión	: 1.0 bar	Fin de prueba	: 15:15 pm
Altura del micro aspersor	: 0.5 m	Duración	: 90 min
Distancia entre pluviómetros	: $\sqrt{2}$ m	Velocidad del viento	: 3.2 a 3.7 m/s
Diámetro Embocadura	: 11.50 m	Área de Embocadura	: 103.87 cm ²

Distancia (m)	Volumen Colectado Cm ³				Altura de lluvia en mm				Pluviometría (mm/h)			
	Nor Este	Nor Oeste	Sur Este	Sur Oeste	NE	NO	SE	SO	NE	NO	SE	SO
0.15	288	282	293	295	27.73	27.15	28.21	28.40	18.48	18.10	18.81	18.93
0.71	280	288	283	290	26.96	27.73	27.25	27.92	17.97	18.48	18.16	18.61
1.41	270	272	280	282	25.99	26.19	26.96	27.15	17.33	17.46	17.97	18.10
2.12	218	250	223	253	20.99	24.07	21.47	24.36	13.99	16.05	14.31	16.24
2.83	168	180	205	195	16.17	17.33	19.74	18.77	10.78	11.55	13.16	12.52
3.54	147	178	153	175	14.15	17.14	14.73	16.85	9.43	11.42	9.82	11.23
4.24	85	95	85	100	8.18	9.15	8.18	9.63	5.46	6.10	5.46	6.42

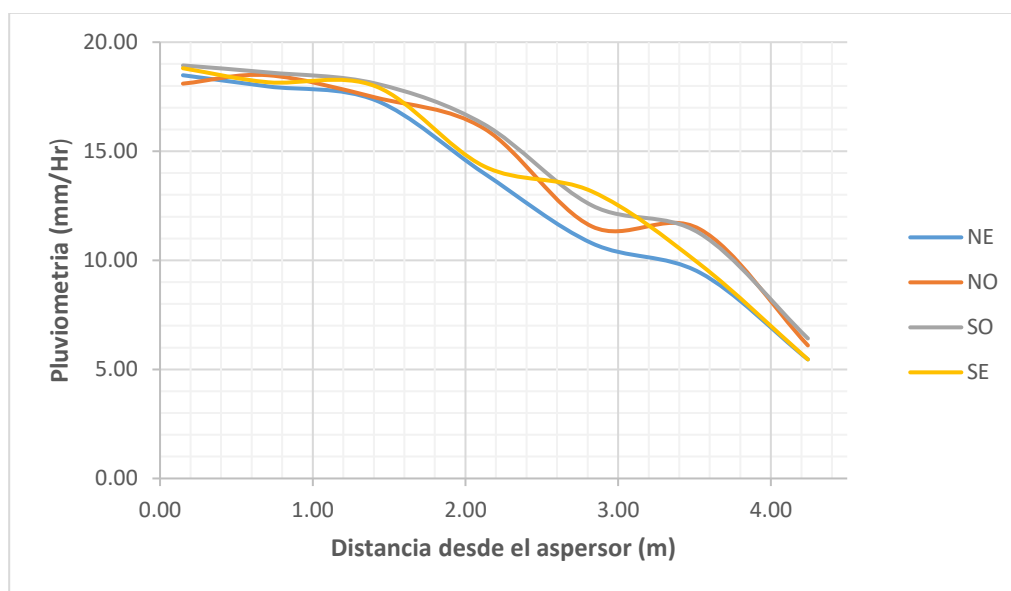
**Figura A 22.** Curva radial y/o modelo de reparto de agua valores de la tabla C 22

Tabla A 23

Valores de la pluviometria recogida en direccion de cuatro radios

Micro aspersor	: Tipo II	Fecha	: 12/12/2017
Boquilla	: 5 mm	Inicio de prueba	: 9:00 am
Presión	: 0.8 bar	Fin de prueba	: 10:30 am
Altura del micro aspersor	: 0.5 m	Duración	: 90 min
Distancia entre pluviómetros	: $\sqrt{22}$ m	Velocidad del viento	: 2 a 2.1 m/s
Diámetro Embocadura	: 11.50 m	Área de Embocadura	: 103.87 cm ²

Distancia (m)	Volumen Colectado Cm ³				Altura de lluvia en mm				Pluviometría (mm/h)			
	Nor Este	Nor Oeste	Sur Este	Sur Oeste	NE	NO	SE	SO	NE	NO	SE	SO
0.15	295	300	295	295	28.40	28.88	28.40	28.40	18.93	19.26	18.93	18.93
0.71	300	298	300	295	28.88	28.69	28.88	28.40	19.26	19.13	19.26	18.93
1.41	290	282	278	270	27.92	27.15	26.76	25.99	18.61	18.10	17.84	17.33
2.12	285	278	265	260	27.44	26.76	25.51	25.03	18.29	17.84	17.01	16.69
2.83	220	215	210	205	21.18	20.70	20.22	19.74	14.12	13.80	13.48	13.16
3.54	145	136	135	130	13.96	13.09	13.00	12.52	9.31	8.73	8.66	8.34
4.24	75	62	18	0	7.22	5.97	1.73	0.00	4.81	3.98	1.16	

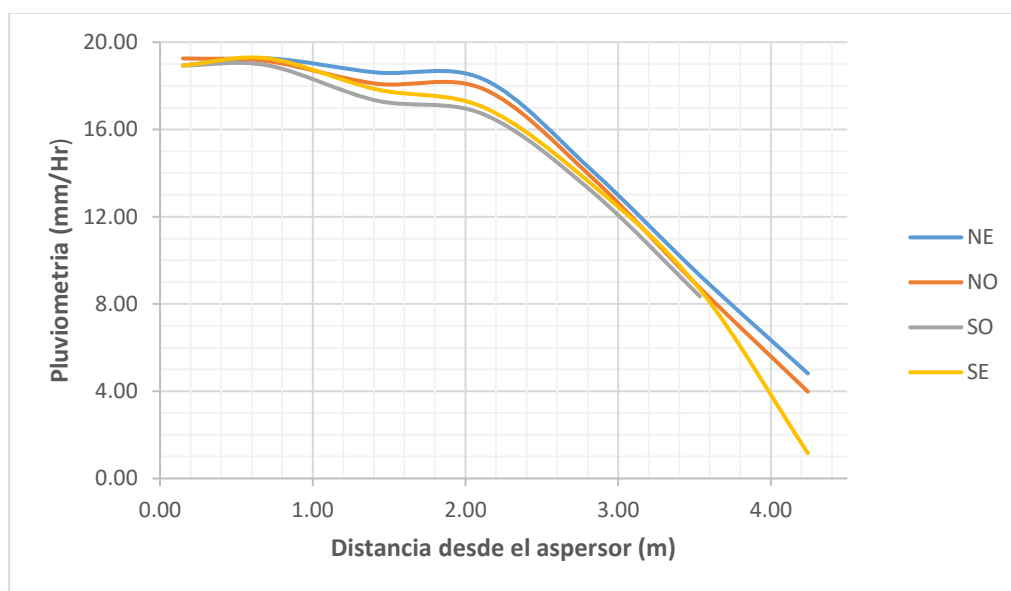


Figura A 23. Curva radial y/o modelo de reparto de agua valores de la tabla C 23

Tabla A 24

Valores de la pluviometría recogida en dirección de cuatro radios

Micro aspersor	: Tipo II	Fecha	: 12/12/2017
Boquilla	: 5 mm	Inicio de prueba	: 13:40 pm
Presión	: 0.8 bar	Fin de prueba	: 15:10 pm
Altura del micro aspersor	: 0.5 m	Duración	: 90 min
Distancia entre pluviómetros	: $\sqrt{2}$ m	Velocidad del viento	: 4.8 a 6 m/s
Diámetro Embocadura	: 11.50 m	Área de Embocadura	: 103.87 cm ²

Distancia (m)	Volumen Colectado Cm ³				Altura de lluvia en mm				Pluviometría (mm/h)			
	Nor Este	Nor Oeste	Sur Este	Sur Oeste	NE	NO	SE	SO	NE	NO	SE	SO
0.15	293	290	305	308	28.21	27.92	29.36	29.65	18.81	18.61	19.58	19.77
0.71	293	295	300	306	28.21	28.40	28.88	29.46	18.81	18.93	19.26	19.64
1.41	250	265	275	290	24.07	25.51	26.48	27.92	16.05	17.01	17.65	18.61
2.12	250	258	270	286	24.07	24.84	25.99	27.53	16.05	16.56	17.33	18.36
2.83	191	196	205	226	18.39	18.87	19.74	21.76	12.26	12.58	13.16	14.51
3.54	118	128	150	159	11.36	12.32	14.44	15.31	7.57	8.22	9.63	10.21
4.24	0	0	65	83	0.00	0.00	6.26	7.99			4.17	5.33

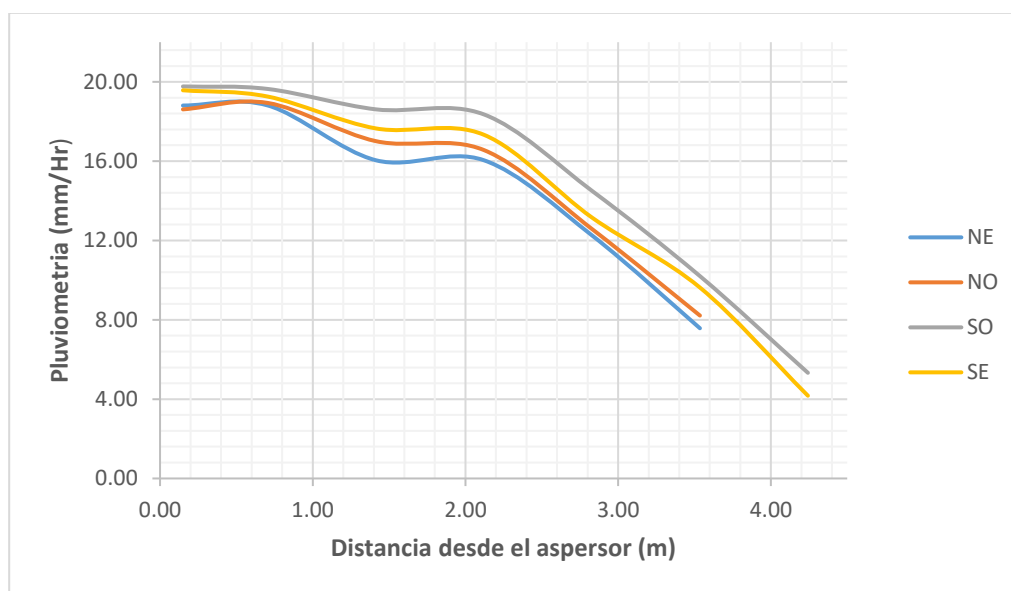


Figura A 24. Curva radial y/o modelo de reparto de agua valores de la tabla C 24

Apéndice B: Evaluación de reparto de agua sobre el suelo

Micro aspersor	: Tipo I	Fecha	: 27/11/2017
Boquilla	: 4 mm	Inicio de prueba	: 9:30 am
Presión	: 1.0 bar	Fin de prueba	: 11:00 am
Altura del micro aspersor	: 1.0 m	Duración	: 90 min
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1x1 m ²	Velocidad del viento	: 1.2 a 1.4 m/s

Volumen recogido en los pluviómetros Cm³

	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5
5	0	0	2	7	10	14	10	4	0	0
4	0	18	28	48	58	60	55	47	22	5
3	5	34	60	78	104	110	90	72	60	12
2	8	55	97	117	132	138	125	112	90	20
1	16	78	100	140	173	177	145	117	98	28
1	10	60	90	120	170	175	132	105	94	21
2	5	50	65	90	130	135	95	86	85	15
3	2	27	40	60	78	85	64	50	47	10
4	0	12	16	28	32	40	30	28	18	5
5	0	0	0	5	6	12	8	4	0	0

Figura B 1. Volúmenes (cm³) captados en la prueba de un micro aspersor individual

Micro aspersor	: Tipo I	Fecha	: 27/11/2017
Boquilla	: 4 mm	Inicio de prueba	: 13:15 pm
Presión	: 1.0 bar	Fin de prueba	: 14:45 pm
Altura del micro aspersor	: 1.0 m	Duración	: 90 min
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1x1 m ²	Velocidad del viento	: 3.1 a 5.1 m/s

Volumen recogido en los pluviómetros Cm³

	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5
5	0	0	5	13	32	18	4	2	0	0
4	12	35	45	51	68	54	31	25	15	0
3	26	70	85	102	118	100	65	50	28	0
2	43	115	120	140	140	132	105	75	56	0
1	30	107	125	148	180	175	133	85	48	0
1	26	105	113	140	175	172	112	80	38	0
2	20	95	95	100	125	125	73	53	32	0
3	10	47	55	65	73	70	55	38	18	0
4	0	24	24	25	40	31	20	15	8	0
5	0	0	2	5	12	5	2	0	0	0

Figura B 2. Volúmenes (cm³) captados en la prueba de un micro aspersor individual

Micro aspersor	: Tipo I	Fecha	: 28/11/2017
Boquilla	: 4 mm	Inicio de prueba	: 8:30 am
Presión	: 1.0 bar	Fin de prueba	: 10:00 am
Altura del micro aspersor	: 1.0 m	Duración	: 90 min
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1x1 m ²	Velocidad del viento	: 0.5 a 1.9 m/s

Volumen recogido en los pluviómetros Cm³

	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	5	30	45	49	32	20	0	0
3	0	12	35	80	105	112	95	50	20	5
2	0	30	72	120	150	155	140	95	45	12
1	0	60	100	160	190	190	170	118	72	20
1	0	62	110	165	192	195	175	120	75	28
2	0	39	98	140	160	160	156	110	49	18
3	0	20	73	92	130	138	100	85	30	8
4	0	0	25	46	70	80	68	36	18	0
5	0	0	0	5	15	20	13	8	0	0

Figura B 3. Volúmenes (cm³) captados en la prueba de un micro aspersor individual

Micro aspersor	: Tipo I	Fecha	: 28/11/2017
Boquilla	: 4 mm	Inicio de prueba	: 12:20 pm
Presión	: 1.0 bar	Fin de prueba	: 13:50 pm
Altura del micro aspersor	: 1.0 m	Duración	: 90 min
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1x1 m ²	Velocidad del viento	: 2.2 a 4 m/s

Volumen recogido en los pluviómetros Cm³

	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	2	15	15	34	28	25	12	0	0
3	0	10	45	75	112	110	72	36	8	0
2	2	29	105	148	150	138	135	95	25	0
1	20	68	120	170	190	185	146	118	38	0
1	26	93	152	175	208	200	152	145	65	0
2	18	44	115	165	170	165	152	102	35	0
3	10	30	65	105	148	130	90	48	25	0
4	5	18	40	66	75	58	35	20	0	0
5	0	0	5	10	15	14	10	5	0	0

Figura B 4. Volúmenes (cm³) captados en la prueba de un micro aspersor individual

Micro aspersor	: Tipo I	Fecha	: 29/11/2017
Boquilla	: 4 mm	Inicio de prueba	: 8:55 am
Presión	: 1.0 bar	Fin de prueba	: 10:25 am
Altura del micro aspersor	: 1.0 m	Duración	: 90 min
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1x1 m ²	Velocidad del viento	: 0.6 a 1.1 m/s

Volumen recogido en los pluviómetros Cm³

	4	3	2	1	1	2	3	4
4	0	0	0	15	18	0	0	0
3	0	20	60	125	135	75	30	0
2	0	83	130	172	180	160	95	18
1	5	117	180	220	225	200	145	50
1	15	130	190	225	230	205	150	65
2	0	95	150	182	190	165	100	30
3	0	30	80	141	150	82	50	15
4	0	0	12	28	38	20	12	0

Figura B 5. Volúmenes (cm³) captados en la prueba de un micro aspersor individual

Micro aspersor	: Tipo I	Fecha	: 29/11/2017
Boquilla	: 4 mm	Inicio de prueba	: 13:30 pm
Presión	: 1.0 bar	Fin de prueba	: 15:00 pm
Altura del micro aspersor	: 1.0 m	Duración	: 90 min
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1x1 m ²	Velocidad del viento	: 3.9 a 6.1 m/s

Volumen recogido en los pluviómetros Cm³

	4	3	2	1	1	2	3	4
4	0	5	15	32	25	10	0	0
3	10	49	98	159	140	80	34	0
2	48	115	155	196	175	136	100	0
1	89	177	210	230	222	172	122	0
1	70	166	198	225	220	165	110	0
2	22	105	136	182	165	125	88	0
3	0	42	82	142	125	62	30	0
4	0	0	5	10	10	0	0	0

Figura B 6. Volúmenes (cm³) captados en la prueba de un micro aspersor individual

Micro aspersor	: Tipo I	Fecha	: 30/11/2017
Boquilla	: 4 mm	Inicio de prueba	: 9:10 am
Presión	: 1.0 bar	Fin de prueba	: 10:40 am
Altura del micro aspersor	: 0.5 m	Duración	: 90 min
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1x1 m ²	Velocidad del viento	: 0.9 a 2.4 m/s

Volumen recogido en los pluviómetros Cm³

	4	3	2	1	1	2	3	4
4	0	8	50	60	70	57	25	0
3	0	62	77	95	110	90	87	35
2	47	93	125	140	153	135	120	90
1	65	95	145	180	185	153	127	105
1	57	85	137	180	182	145	115	95
2	37	80	117	130	145	127	105	81
3	0	50	65	90	105	75	75	37
4	0	0	33	48	55	41	12	0

Figura B 7. Volúmenes (cm3) captados en la prueba de un micro aspersor individual

Micro aspersor	: Tipo I	Fecha	: 30/11/2017
Boquilla	: 4 mm	Inicio de prueba	: 13:45 pm
Presión	: 1.0 bar	Fin de prueba	: 15:15 pm
Altura del micro aspersor	: 0.5 m	Duración	: 90 min
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1x1 m ²	Velocidad del viento	: 6 a 6.7 m/s

Volumen recogido en los pluviómetros Cm³

	4	3	2	1	1	2	3	4
4	42	52	64	80	52	29	0	0
3	77	94	107	120	77	58	44	0
2	93	127	142	155	122	110	75	9
1	112	130	157	197	192	129	77	22
1	102	122	152	190	185	120	68	15
2	75	112	134	150	117	105	62	5
3	47	82	82	112	67	50	32	0
4	0	35	52	65	30	12	0	0

Figura B 8. Volúmenes (cm3) captados en la prueba de un micro aspersor individual

Micro aspersor	: Tipo I	Fecha	: 01/12/2017
Boquilla	: 4 mm	Inicio de prueba	: 8:40 am
Presión	: 1.0 bar	Fin de prueba	: 10:10 am
Altura del micro aspersor	: 0.5 m	Duración	: 90 min
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1x1 m ²	Velocidad del viento	: 0.7 a 1.4 m/s

Volumen recogido en los pluviómetros Cm³

	4	3	2	1	1	2	3	4
4	0	0	15	25	40	28	0	0
3	0	52	80	108	112	90	60	0
2	5	100	135	154	160	144	110	36
1	20	115	155	190	192	168	122	42
1	30	125	160	190	195	172	126	48
2	15	110	140	158	165	152	120	30
3	0	60	90	115	120	100	75	0
4	0	0	25	30	45	52	0	0

Figura B 9. Volúmenes (cm3) captados en la prueba de un micro aspersor individual

Micro aspersor	: Tipo I	Fecha	: 01/12/2017
Boquilla	: 4 mm	Inicio de prueba	: 13:15 pm
Presión	: 1.0 bar	Fin de prueba	: 14:45 pm
Altura del micro aspersor	: 0.5 m	Duración	: 90 min
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1x1 m ²	Velocidad del viento	: 2.9 a 7.4 m/s

Volumen recogido en los pluviómetros Cm³

	4	3	2	1	1	2	3	4
4	0	32	45	70	65	55	0	0
3	25	75	117	132	120	92	42	0
2	49	122	158	167	159	147	87	0
1	82	127	175	197	195	157	97	0
1	70	122	172	192	188	150	92	0
2	30	112	145	157	149	135	77	0
3	0	57	95	120	105	77	35	0
4	0	0	10	20	12	0	0	0

Figura B 10. Volúmenes (cm3) captados en la prueba de un micro aspersor individual

Micro aspersor	: Tipo I	Fecha	: 02/12/2017
Boquilla	: 4 mm	Inicio de prueba	: 9:00 am
Presión	: 1.0 bar	Fin de prueba	: 10:30 am
Altura del micro aspersor	: 0.5 m	Duración	: 90 min
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1x1 m ²	Velocidad del viento	: 2 a 2.7 m/s

Volumen recogido en los pluviómetros Cm³

	3	2	1	1	2	3
3	0	100	135	145	93	0
2	92	180	195	200	194	108
1	130	200	225	228	215	146
1	140	208	230	230	220	155
2	110	185	200	215	200	125
3	0	100	145	158	110	0

Figura B 11. Volúmenes (cm³) captados en la prueba de un micro aspersor individual

Micro aspersor	: Tipo I	Fecha	: 02/12/2017
Boquilla	: 4 mm	Inicio de prueba	: 13:00 pm
Presión	: 1.0 bar	Fin de prueba	: 14:30 pm
Altura del micro aspersor	: 0.5 m	Duración	: 90 min
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1x1 m ²	Velocidad del viento	: 4.6 a 5.6 m/s

Volumen recogido en los pluviómetros Cm³

	3	2	1	1	2	3
3	63	98	145	125	85	0
2	105	205	200	185	170	70
1	150	220	230	225	190	105
1	155	225	232	228	200	112
2	135	215	215	195	186	86
3	95	120	175	155	100	0

Figura B 12. Volúmenes (cm³) captados en la prueba de un micro aspersor individual

Micro aspersor : Tipo II Fecha : 04/12/2017
Boquilla : 5 mm Inicio de prueba : 8:50 am
Presión : 1.2 bar Fin de prueba : 10:20 am
Altura del micro aspersor : 1.0 m Duracion : 90 min
Espaciamiento entre pluviómetros : 1x1 m² Velocidad del viento : 1 a 1.4 m/s

Volumen recogido en los pluviómetros Cm³

	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6
6	0	0	0	2	5	8	10	8	5	0	0	0
5	0	0	8	21	25	38	45	32	25	10	8	0
4	0	12	20	70	91	95	115	110	85	40	25	0
3	5	28	52	130	155	152	160	165	140	72	42	5
2	10	50	84	150	180	195	205	195	170	90	65	20
1	20	68	105	160	205	238	245	220	175	125	82	35
1	23	70	120	180	208	240	250	224	190	152	100	55
2	15	56	115	168	195	210	215	200	175	120	75	32
3	8	42	65	147	165	165	180	175	153	85	62	20
4	0	28	30	72	95	115	130	128	87	55	50	15
5	0	0	15	30	55	75	85	62	45	40	22	0
6	0	0	0	5	10	28	45	28	15	10	0	0

Figura B 13. Volúmenes (cm³) captados en la prueba de un micro aspersor individual

Micro aspersor : Tipo II Fecha : 04/12/2017
Boquilla : 5 mm Inicio de prueba : 13:10: pm
Presión : 1.2 bar Fin de prueba : 14:40 pm
Altura del micro aspersor : 1.0 m Duracion : 90 min
Espaciamiento entre pluviómetros : 1x1 m² Velocidad del viento : 5.1 a 6.4 m/s

Volumen recogido en los pluviómetros Cm³

	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6
6	0	0	0	8	16	18	5	0	0	0	0	0
5	0	10	18	33	40	53	25	17	13	0	0	0
4	0	30	38	85	123	108	87	83	64	7	0	0
3	10	48	80	148	170	180	124	107	139	34	2	0
2	16	73	98	178	203	213	187	172	160	76	12	0
1	43	90	143	183	228	250	238	190	152	87	32	4
1	63	108	158	208	232	260	245	192	172	107	47	6
2	40	83	128	180	208	223	202	187	162	107	25	0
3	23	70	93	161	185	192	157	147	122	57	19	0
4	12	58	63	95	136	148	112	87	62	27	10	0
5	0	25	48	53	93	100	67	32	17	7	0	0
6	0	0	12	23	36	53	22	10	5	0	0	0

Figura B 14. Volúmenes (cm³) captados en la prueba de un micro aspersor individual

Micro aspersor : Tipo II Fecha : 05/12/2017
 Boquilla : 5 mm Inicio de prueba : 8:30 am
 Presión : 1.0 bar Fin de prueba : 10:00 am
 Altura del micro aspersor : 1.0 m Duracion : 90 min
 Espaciamiento entre pluviómetros : 1x1 m² Velocidad del viento : 0.7 a 1.4 m/s

Volumen recogido en los pluviómetros Cm³

	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5
5	0	0	8	20	32	38	25	15	0	0
4	0	15	65	115	125	130	130	85	35	0
3	5	30	125	195	190	198	200	160	68	12
2	12	60	162	215	250	255	223	185	95	25
1	30	96	190	242	270	275	250	205	115	42
1	35	108	195	245	270	280	260	208	130	48
2	15	85	186	235	252	260	240	198	100	28
3	8	55	160	198	200	215	210	168	86	15
4	0	30	88	127	130	145	160	100	45	0
5	0	0	12	30	48	60	40	30	2	0

Figura B 15. Volúmenes (cm3) captados en la prueba de un micro aspersor individual

Micro aspersor : Tipo II Fecha : 05/12/2017
 Boquilla : 5 mm Inicio de prueba : 12:40 pm
 Presión : 1.0 bar Fin de prueba : 14:10 pm
 Altura del micro aspersor : 1.0 m Duracion : 90 min
 Espaciamiento entre pluviómetros : 1x1 m² Velocidad del viento : 1 a 2.9 m/s

Volumen recogido en los pluviómetros Cm³

	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5
5	0	12	18	15	40	30	10	4	0	0
4	6	39	100	125	160	140	115	92	15	0
3	18	79	155	204	225	231	204	145	55	4
2	30	100	195	242	263	249	215	190	80	8
1	55	119	218	260	282	275	242	200	114	20
1	40	130	205	260	280	272	220	189	104	18
2	24	104	190	240	254	234	210	172	100	9
3	16	84	182	212	220	215	200	129	42	0
4	0	30	65	131	155	130	100	55	16	0
5	0	0	9	20	28	25	14	9	0	0

Figura B 16. Volúmenes (cm3) captados en la prueba de un micro aspersor individual

Micro aspersor : Tipo II Fecha : 06/12/2017
 Boquilla : 5 mm Inicio de prueba : 8:20 am
 Presión : 0.8 bar Fin de prueba : 9:50 am
 Altura del micro aspersor : 1.0 m Duracion : 90 min
 Espaciamiento entre pluviómetros : 1x1 m² Velocidad del viento : 2.2 a 2.6 m/s

Volumen recogido en los pluviómetros Cm³

	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5
5	0	0	5	18	28	40	25	3	0	0
4	0	0	32	64	92	105	75	42	12	0
3	0	16	110	202	210	218	215	124	35	0
2	0	58	180	250	275	290	265	195	80	20
1	10	85	205	260	290	295	275	235	105	40
1	5	90	208	262	292	300	282	240	110	50
2	0	70	180	252	280	290	270	200	90	38
3	0	28	115	210	222	235	225	130	58	25
4	0	0	46	85	122	138	96	57	22	20
5	0	0	10	18	38	56	32	25	8	0

Figura B 17. Volúmenes (cm³) captados en la prueba de un micro aspersor individual

Micro aspersor : Tipo II Fecha : 06/12/2017
 Boquilla : 5 mm Inicio de prueba : 13:00 pm
 Presión : 0.8 bar Fin de prueba : 14:30 pm
 Altura del micro aspersor : 1.0 m Duracion : 90 min
 Espaciamiento entre pluviómetros : 1x1 m² Velocidad del viento : 2.2 a 3.3 m/s

Volumen recogido en los pluviómetros Cm³

	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5
5	0	0	25	36	65	38	22	5	0	0
4	0	25	52	95	155	138	80	40	0	0
3	0	45	128	212	245	230	218	124	25	0
2	10	100	236	265	295	280	250	210	75	0
1	38	120	262	280	298	290	270	220	95	12
1	45	105	250	278	293	290	261	210	85	10
2	20	88	215	260	280	277	244	190	68	0
3	0	25	120	200	220	218	205	115	18	0
4	0	16	44	84	140	132	62	36	0	0
5	0	0	9	20	36	25	15	0	0	0

Figura B 18. Volúmenes (cm³) captados en la prueba de un micro aspersor individual

Micro aspersor	: Tipo II	Fecha	: 07/12/2017
Boquilla	: 5 mm	Inicio de prueba	: 8:25 am
Presión	: 1.2 bar	Fin de prueba	: 9:55 am
Altura del micro aspersor	: 0.5 m	Duración	: 90 min
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1x1 m ²	Velocidad del viento	: 1.9 a 2.1 m/s

Volumen recogido en los pluviómetros Cm³

	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5
5	0	0	18	35	60	65	40	28	0	0
4	0	20	55	100	105	110	115	85	39	0
3	12	58	128	160	165	170	175	148	67	35
2	55	90	140	200	212	215	204	175	107	52
1	70	113	165	210	256	254	230	186	134	90
1	75	121	167	215	260	278	230	192	140	100
2	62	110	150	205	222	225	208	184	120	83
3	20	65	135	175	185	190	180	165	89	42
4	0	25	68	108	140	148	120	90	64	20
5	0	0	23	45	80	88	52	40	15	0

Figura B 19. Volúmenes (cm³) captados en la prueba de un micro aspersor individual

Micro aspersor	: Tipo II	Fecha	: 07/12/2017
Boquilla	: 5 mm	Inicio de prueba	: 13:50 pm
Presión	: 1.2 bar	Fin de prueba	: 15:20: pm
Altura del micro aspersor	: 0.5 m	Duración	: 90 min
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1x1 m ²	Velocidad del viento	: 4.2 a 5.5 m/s

Volumen recogido en los pluviómetros Cm³

	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5
5	0	42	65	80	95	64	29	10	0	0
4	52	75	92	128	145	119	88	65	24	0
3	63	105	153	197	204	190	144	115	61	8
2	95	140	192	210	235	205	184	157	108	15
1	120	170	200	245	265	255	189	169	115	34
1	102	160	195	240	255	250	187	149	95	18
2	85	110	180	205	225	205	179	150	80	12
3	50	92	140	182	192	170	136	136	55	0
4	8	50	78	105	120	100	78	58	16	0
5	0	0	38	50	65	32	28	8	0	0

Figura B 20. Volúmenes (cm³) captados en la prueba de un micro aspersor individual

Micro aspersor	: Tipo II	Fecha	: 11/12/2017
Boquilla	: 5 mm	Inicio de prueba	: 8:40 am
Presión	: 1.0 bar	Fin de prueba	: 10:10 am
Altura del micro aspersor	: 0.5 m	Duración	: 90 min
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1x1 m ²	Velocidad del viento	: 0.8 a 1 m/s

Volumen recogido en los pluviómetros Cm³

	4	3	2	1	1	2	3	4
4	0	25	91	118	125	100	30	0
3	15	125	200	235	240	209	140	50
2	81	200	250	255	260	260	220	99
1	103	215	268	288	292	280	230	120
1	110	221	277	292	295	288	236	128
2	88	209	260	260	265	270	230	105
3	12	135	207	240	247	220	152	65
4	0	25	100	122	130	110	50	0

Figura B 21. Volúmenes (cm³) captados en la prueba de un micro aspersor individual

Micro aspersor	: Tipo II	Fecha	: 11/12/2017
Boquilla	: 5 mm	Inicio de prueba	: 13:45 pm
Presión	: 1.0 bar	Fin de prueba	: 15:15 pm
Altura del micro aspersor	: 0.5 m	Duración	: 90 min
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1x1 m ²	Velocidad del viento	: 3.2 a 3.7 m/s

Volumen recogido en los pluviómetros Cm³

	4	3	2	1	1	2	3	4
4	0	112	139	168	148	123	100	0
3	92	175	220	239	230	212	153	0
2	112	200	253	271	257	223	190	65
1	138	226	268	290	283	250	208	100
1	127	213	260	288	280	228	197	92
2	108	195	250	264	242	218	170	55
3	87	178	212	228	223	208	147	0
4	0	92	133	160	138	108	33	0

Figura B 22. Volúmenes (cm³) captados en la prueba de un micro aspersor individual

Micro aspersor	: Tipo II	Fecha	: 12/12/2017
Boquilla	: 5 mm	Inicio de prueba	: 9:00 am
Presión	: 0.8 bar	Fin de prueba	: 10:30 am
Altura del micro aspersor	: 0.5 m	Duración	: 90 min
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1x1 m ²	Velocidad del viento	: 2 a 2.1 m/s

Volumen recogido en los pluviómetros Cm³

	4	3	2	1	1	2	3	4
4	0	20	76	102	108	78	50	0
3	0	130	210	230	245	218	136	30
2	50	190	260	282	292	278	218	90
1	95	232	263	295	298	286	258	108
1	105	240	272	300	300	290	265	116
2	70	204	265	288	298	285	230	98
3	0	135	218	237	250	225	145	45
4	0	30	90	137	145	98	50	0

Figura B 23. Volúmenes (cm³) captados en la prueba de un micro aspersor individual

Micro aspersor	: Tipo II	Fecha	: 12/12/2017
Boquilla	: 5 mm	Inicio de prueba	: 13:40 pm
Presión	: 0.8 bar	Fin de prueba	: 15:10 pm
Altura del micro aspersor	: 0.5 m	Duración	: 90 min
Espaciamiento entre pluviómetros	: 1x1 m ²	Velocidad del viento	: 4.8 a 6 m/s

Volumen recogido en los pluviómetros Cm³

	4	3	2	1	1	2	3	4
4	25	65	109	161	140	78	0	0
3	61	159	255	274	250	233	128	0
2	106	225	286	290	280	258	198	48
1	135	262	290	306	295	260	215	80
1	120	250	284	300	293	258	210	75
2	84	212	270	285	275	250	178	34
3	30	150	238	260	238	213	118	0
4	0	45	95	142	124	65	0	0

Figura B 24. Volúmenes (cm³) captados en la prueba de un micro aspersor individual

Apéndice C: Velocidad de viento

Tabla C 1

Reporte Mensual Estación EM08-Cañasbamba

Estación : EM-08
 Variable : Ws_ms Avg
 Periodo : Nov/2017
 Revisión : Ing. Yoel Ocmin

Dia\Hora	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1/11	2.1	1.8	2.2	2.5	2	2.3	2.9	1.6	1.3	1.7	2.3	3.3	5.2	6.4	7.3	6.2	5.6	4.9	3.9	2.6	0.9	0.8	1.9	2.1
2/11	1.9	2.5	2.7	2.5	1.9	2.2	1.6	1.9	1.8	1.4	1.9	3.4	5	6.5	7.1	7.2	5.7	4.8	1.7	1.2	0.7	0.5	0.5	0.8
3/11	1.7	2.4	2.8	2.8	2.6	2	2.2	1.5	1	1.7	3	3.9	5.9	6.1	6.3	5.2	4	3.4	2.6	1.5	0.5	0.6	1.4	1.8
4/11	1.5	1.1	1.3	1.8	2.1	2	1.8	1.1	1.1	2.2	3.8	5.5	6.4	6.5	6.3	6.4	5.8	5	2.9	-	0.6	0.7	1.3	2.2
5/11	1.9	1.2	1.3	1.8	1.8	2.5	1.3	1.1	1	1.6	2.9	5	6.3	6.6	6.8	6	4.9	3.6	2.9	1.5	1.9	0.9	0.4	0.4
6/11	1.1	0.5	0.9	1	1.3	1	0.9	1.5	2.2	3	3.1	4.2	5	5.3	5.9	6.3	5.9	5.4	3.4	1.7	0.7	0.6	0.7	1.5
7/11	1.1	1.7	0.7	0.4	0.8	0.9	0.9	1	0.6	0.6	1	0.8	1.1	3	2.1	2.4	2.7	2.1	1	0.6	0.3	0.5	0.5	0.9
8/11	0.6	1.3	2.2	1.9	3.3	2.3	2.9	2.2	2.3	2.1	3	3.8	6.2	6.9	6.4	6.4	5.3	4.3	3.7	2.5	0.9	0.6	0.9	0.7
9/11	1.2	1.6	1	0.9	0.9	1.8	0.8	0.6	1.1	1.4	2.8	4.3	6	6.5	6.1	6.5	6.3	5.4	3.9	1.5	1	1.5	2	1.5
10/11	1.6	2.4	1.7	1.2	1.3	1.1	1	0.8	1.4	2.1	3.4	4.3	6.3	6.9	6.5	6.6	5.8	4.7	3.6	2.1	1.3	0.4	0.7	0.8
11/11	1.4	0.9	1.2	1.8	1.1	0.8	1	1.1	1.1	1.2	2.8	4	5.9	6.8	6.6	6.9	6.5	5.3	4	2.3	2.4	0.5	0.5	1.5
12/11	1.3	1	0.9	1.2	1	0.6	1.5	0.9	2.1	1.8	2.1	1.4	4	3.4	2.8	4.7	5.8	4.2	3.6	2.1	1	0.7	0.7	1
13/11	1.7	2.4	1.3	0.8	0.7	1.2	2.1	2.2	1.5	1.6	2.6	3.5	5.6	5.7	6.4	6.4	6.5	4.3	2.9	1.2	0.6	1.1	1.8	2.2
14/11	1.9	2.1	1.8	2.5	2.4	2.3	2.6	2	2.3	1.5	2.5	3.7	5.6	6.3	6.4	5.8	6.2	5.2	2.8	2.5	0.7	0.6	0.7	1.4
15/11	1.7	0.8	0.5	0.4	1.1	1	1.8	1.9	2.1	1.2	1.7	2.7	4.6	5.8	5.8	5.7	5.6	5.1	3.9	2.3	0.7	0.6	1.4	0.9
16/11	1.3	1.4	2.3	2.6	1.9	2.7	2.4	1.5	1.2	1.4	3.4	5.3	6.7	6.8	7	6.4	5.1	4.3	2.3	1.6	0.7	0.7	1.5	1.1
17/11	0.8	1.1	0.7	1.6	0.7	0.6	1.3	0.6	1.7	2.4	2.7	4.3	5.8	5.9	5.9	5.5	5	4.4	3	0.9	0.8	0.5	0.4	1
18/11	1.5	2.3	0.8	0.8	1.2	1.5	1.3	0.7	1	1.7	1.1	1.7	2.9	5.2	6.4	5.8	5.2	4.4	2.9	1.4	0.6	0.9	2.1	2.2
19/11	2.8	2.7	2.3	2.2	1.7	1.4	1	1.3	1.6	1.9	2.6	4.2	6.1	6.1	6.5	7	6	5.1	4.4	3.3	2.3	0.6	0.9	1.4
20/11	1.4	1.1	2.5	2.1	1.5	1.1	2.2	1.1	1.6	2.3	2.6	4.7	5.9	6.5	6.5	6.9	6.2	4.9	4.5	2.8	2.1	0.8	0.5	0.5
21/11	0.9	0.8	1.2	1.1	0.8	1.4	0.7	0.9	1.5	1.7	2.1	2.7	4.9	6	6.1	6.6	4.7	1.5	0.6	1	1.4	1.3	1.2	0.5
22/11	1.4	2	2.5	2.1	2.3	2.6	2.6	3.2	2.6	1.7	1.7	2.6	4.6	4.1	3.8	3	3.2	3.5	1.3	1.4	0.8	1.4	1.9	1.6
23/11	0.6	1	1.3	1	1.1	0.8	1.2	1.8	2.2	2	3.1	4.4	5.9	6.2	6	3.2	2.1	1.5	1.3	0.4	1.4	1.4	0.7	1.4
24/11	1	0.8	1.1	0.7	0.9	0.8	0.6	0.9	1.3	2	2.8	3.2	5.2	5.4	5.7	6.1	4.5	3.8	2.3	1.9	0.8	0.5	0.4	1
25/11	1	1	0.6	1.4	0.9	0.8	0.5	1	0.9	1.2	0.8	0.7	1.5	3.4	4.3	4.5	1.7	0.6	0.8	0.9	1.6	0.8	0.9	0.6
26/11	0.7	0.7	1.1	0.8	0.9	1.1	1	0.7	1.3	1.9	1.7	4.1	4.7	6.2	6.5	5.6	3.8	3	2.6	0.9	0.7	1.3	0.9	0.7
27/11	0.3	0.4	0.7	0.5	0.8	0.8	1	1.5	1.4	1.4	1.2	1.4	3.1	5.1	6.2	7.1	6.5	4.4	3.4	2.2	0.9	1	1.6	1
28/11	0.8	0.9	0.4	0.9	0.8	0.4	0.7	0.5	0.9	1.9	2	2.2	2.7	4	3.1	2.4	3.2	2.8	0.8	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6
29/11	0.3	0.6	0.4	1.1	0.7	0.3	0.4	0.6	1.1	0.8	1.3	1.7	3.9	5.7	6.1	7.2	5.8	3.8	1.8	1.5	1.2	2.2	1.2	0.8
30/11	0.8	0.7	0.7	0.8	0.5	0.9	0.7	0.7	0.9	1.2	2.4	3.4	6	6.7	6.7	5	4	2.7	2.3	2.2	1.7	0.6	0.3	-

Tabla C 2*Reporte Mensual Estación EM08-Cañasbamba*

Estación : EM-08
 Variable : Ws_ms Avg
 Periodo : Dec/2017
 Revisión : Ing. Yoel Ocmin

Día\Hora	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1/12	0.9	0.6	0.5	0.7	0.4	0.3	0.3	0.7	0.7	1.4	1.4	2.3	2.9	6.6	7.4	5.3	1.8	1.1	1.4	0.8	0.9	0.7	0.5	0.4
2/12	0.4	0.8	0.4	0.4	0.3	0.6	0.5	1.1	2	2.2	2.7	2.5	4.6	5.9	5.6	5.8	5	3.9	3	1.3	1.1	0.7	0.7	0.4
3/12	0.2	0.4	0.3	0.5	0.6	0.3	0.6	0.9	1.1	1.8	1.4	2.1	4.2	5.1	5.4	5.5	4.3	4.5	2.8	2.1	0.9	0.6	0.5	0.7
4/12	0.6	1.1	1.3	1.7	1.6	1.3	1.4	1.4	1.3	1	1.6	2.4	5.1	6.4	6.4	4.7	2.4	3.9	1.3	1.8	3.8	2.8	2.1	1.8
5/12	1.9	1.8	1.3	1.6	0.6	1.2	0.9	1.5	2.5	2.4	1.3	1	2.4	2.9	2.2	1.8	2.6	1.6	2.5	2.3	0.8	1.7	1.4	0.9
6/12	3.3	3.6	3	1.4	2.1	1.6	1.8	2.2	2.6	2.8	3	3.2	2.2	4.4	3.3	1.7	2.3	1.3	0.9	0.7	0.8	0.7	0.6	1.2
7/12	1.1	0.6	0.8	0.9	1	0.9	1.4	1.9	2.1	1.1	1.7	2.8	4.6	5.5	4.2	2.6	1.4	2	0.5	2.3	2.3	0.7	0.6	0.9
8/12	1.6	1.2	1.3	0.4	0.9	1.1	1.6	0.7	0.9	1.4	1.6	3.7	5.4	4.2	5.2	5.7	5	2.7	0.9	1.8	1.1	0.7	0.5	1.3
9/12	0.5	0.4	0.6	0.6	0.8	0.4	1.2	2.5	3	2.5	1.8	1.6	3.5	6.8	6.7	5.8	5	2.9	1	0.9	0.5	1.2	0.4	0.7
10/12	0.6	0.6	1.4	0.7	0.5	0.4	0.3	0.8	1	2	2.4	5	6.1	6.1	6.4	6	5.9	4.8	2.7	1.2	1	0.6	0.9	0.6
11/12	0.5	0.6	0.5	0.8	0.3	0.6	0.7	1	1	0.8	1.8	2.6	3.2	3.2	3.7	4	4.2	2.6	1.4	0.7	0.5	0.6	0.7	1
12/12	1.5	1.3	0.6	0.6	0.8	1.8	1.8	1.7	2	2.1	2.7	3.8	4.8	6.2	6	6	5.5	4.6	3	2.2	0.6	0.6	1	1
13/12	0.6	1.2	0.9	0.7	0.5	1.1	0.6	0.6	1.3	1.9	2.4	2.5	4.6	5.5	4.9	5.1	3.7	2.5	1.5	0.9	0.5	0.9	0.5	0.3
14/12	0.5	0.5	0.3	0.6	2.1	2.3	1.4	1	1.1	1.3	1.4	2.2	2.9	6.2	7.5	7.3	5.6	4.5	3.3	1.9	1	1	1.6	1.8
15/12	1.1	1.4	0.9	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6	0.8	1	2.4	4.7	5.4	5.4	5.8	6.1	4.6	3.2	1	0.5	1.1	1.2	1.4	1.2
16/12	1	1.5	0.6	0.3	0.6	1	1.7	1.9	1.1	1.1	2.2	2	4.4	5.7	5.9	5.1	4.9	3	2.5	2.1	1.3	1.4	0.8	1.1
17/12	1.1	1.1	1.3	0.9	1.5	1.4	1.2	0.7	0.8	1.2	2.5	4.5	6.5	5.8	6.2	3.8	1.5	1.3	1.1	1.3	0.6	0.8	0.8	1.9
18/12	0.9	1.3	0.7	0.7	1	1.4	0.8	0.5	1	1.9	1.9	1.6	2.4	5.1	5.9	5.6	5.7	-	-	-	-	-	-	-
19/12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.8	3.6	2.4	1	1.8	1	0.7	0.5	1.8	1.4
20/12	0.7	1.5	1.9	1.8	1.2	1.5	1.2	0.8	0.9	1.3	2.2	3.7	5.4	6.1	6.3	6.6	6.8	5.2	2.7	1.7	0.8	1.3	1.4	0.8
21/12	0.5	0.5	0.2	0.6	0.3	0.6	0.5	0.7	0.7	1.4	2.5	2.7	4.5	6.5	6.5	6.4	6.1	5.2	3.6	3.5	2.7	2	1.6	0.7
22/12	0.4	0.6	0.4	0.5	0.3	0.7	0.7	0.3	1.2	1.7	2.9	4.8	5.2	6.4	6.7	7.2	6	5	3.6	3.4	2.7	0.9	1.3	0.2
23/12	0.4	0.3	0.5	0.5	0.5	0.6	0.4	0.8	1.2	1.1	1	2.4	4.4	6.3	6.3	6.4	5.4	3.7	2.9	1.9	1.3	0.6	0.8	1.2
24/12	0.6	1.1	1.6	1.8	1.8	1.9	1.6	1.9	2.9	2	2.6	3.3	5.3	6.7	6.8	6.5	6	5.3	4.2	3.3	1.4	0.5	0.7	1.2
25/12	0.6	0.2	0.6	0.5	0.4	0.5	0.2	0.5	0.5	0.9	2.1	3.3	6.2	6.4	6.9	7.3	5.9	4	4.1	2.2	1.3	1.3	0.9	0.5
26/12	0.5	0.5	0.3	0.4	0.7	0.8	1.3	0.9	1.2	1.8	1.9	2.5	5.2	5.9	6.8	6.3	5.6	5.2	3.6	2.2	0.7	0.8	0.4	0.6
27/12	0.7	0.6	0.3	0.4	0.5	0.6	1.3	1.1	1.6	1.2	1.1	1.6	4.1	6	5.6	6.1	6.3	4.5	1.6	-	-	-	-	-
28/12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29/12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30/12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31/12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Apéndice D: Fotografías



Figura D 1. Preparación del terreno para la instalación de la prueba



Figura D 2. Proceso de instalación del micro aspersor



Figura D 3. Reservorio de donde se extraerá agua para la prueba



Figura D 4. Motobomba de succión desde el reservorio



Figura D 5. Cabezal de riego

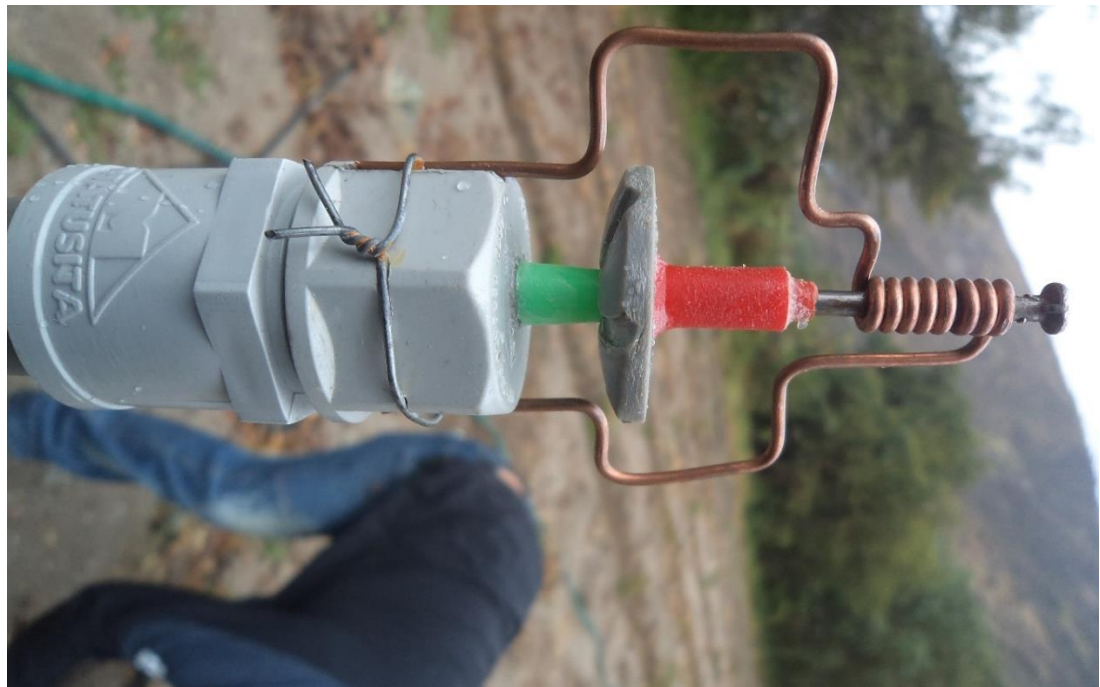


Figura D 6. Micro aspersor terminado



Figura D 7. Micro aspersor terminado



Figura D 8. Proceso de medición de caudal de los micro aspersores
Nota: Se puede apreciar el enmallado y los pluviómetros



Figura D 9. proceso de medición de radio de humedecimiento del micro aspersor



Figura D 10. Medida de altura del micro aspersor a partir del suelo



Figura D 11. Inicio de prueba de coeficiente de uniformidad



Figura D 12. Prueba de evaluación de uniformidad y curva radial



Figura D 13. Medición de agua recogida en cada pluviómetro, con probeta.